



INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE PRÉ-FABRICADOS EM CONCRETO PARA BLOCOS DE ALVENARIA

Andressa Schenato Delafiori

Relatório Final de Dissertação Apresentado à
Escola Superior de Tecnologia e Gestão
Instituto Politécnico de Bragança

Para a Obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia da Construção

Novembro 2020



INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE PRÉ-FABRICADOS EM CONCRETO PARA BLOCOS DE ALVENARIA

Andressa Schenato Delafiori

Relatório Final de Dissertação Apresentado à
Escola Superior de Tecnologia e Gestão
Instituto Politécnico de Bragança

Para a Obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia da Construção

No Âmbito da Dupla Diplomação Com a
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Orientadoras:

Professora Doutora Débora R. de Sousa Macanjo Ferreira

Professora Doutora Eduarda Cristina Pires Luso

Professora Doutora Paôla Regina Dalcanal

Novembro 2020

Dedico este trabalho aos meus pais e aos meus irmãos que sempre acompanharam meus passos com carinho e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por cuidar tão bem de cada detalhe da minha vida pessoal e acadêmica, por sempre me amparar nos momentos difíceis, pela proteção e milagres diários, e por ter me permitir chegar até aqui.

Aos meus pais, Roberto e Katia, e aos meus irmãos, Ana Julia e Thiago, que sempre estiveram ao meu lado em todas as minhas escolhas e decisões, por aguentarem a saudade junto comigo, pelo exemplo de vida, força, persistência e amor. Nunca terei palavras para agradecer por tanto.

As minhas orientadoras, Dra. Débora Macanjo, Dra. Eduarda Luso e Dra. Paola Dalcanal, que sempre estiveram presentes, mesmo nessa época tão difícil, me aconselhando, ensinando e corrigindo sempre que necessitei. E pelo exemplo feminino de grandes profissionais da área da Engenharia Civil.

À Pavimir (Belmiro&Barreira, Lda.), que me permitiu conhecer o interessante processo da fabricação de blocos de concreto e desde o início demonstrou muito apoio, esclarecendo todas as dúvidas, através da Dra. Anabela Carlão e da Eng. Sonia Mendonça, que sempre foram muito solícitas, assim como forneceu os materiais para essa pesquisa.

À Carolina Siqueira, que além de sempre demonstrar amizade e parceria ao longo do desenvolvimento desta dissertação, me auxiliou em todos os experimentos do laboratório, assim como os técnicos do laboratório do IPB, Sr. João e Sr. Otávio.

Ao meu namorado, Gabriel, por ler diversas vezes este trabalho, pela paciência, carinho e motivação todos os dias para que eu desse o meu melhor. Obrigada por tudo!

Aos meus amigos, Adriane e Fabiano, que estiveram presentes todos os dias durante minha estadia em Portugal, por todos os momentos que passamos juntos, bons e ruins, por serem minha família nesse momento, quero vocês na minha vida para sempre.

A UTFPR, por me permitir fazer parte do programa de Dupla Diplomação, e assim me conceder a realização de um sonho, além de grande aprendizado e crescimento todos esses anos.

A todos que me acompanharam neste período, meus amigos, parentes e professores, que sempre me apoiaram, motivaram, ensinaram e alegraram meus dias.

RESUMO

O crescimento acelerado das zonas urbanas propicia um elevado consumo de energia e de matérias-primas, bem como uma produção excessiva de resíduos gerados pelas atividades humanas. O principal caminho para minimizar os danos causados ao meio ambiente pelos resíduos produzidos é a ação preventiva visando sua reutilização, reciclagem e redução, os denominados *3 Rs*.

As obras de engenharia ao longo do tempo causaram um grande impacto ambiental devido ao elevado consumo de matérias-primas e contribuíram negativamente para a preservação do planeta. A diminuição dos resíduos de construção e demolição (RCD) é uma preocupação mundial, sendo prioridade em alguns países, como Bélgica, Reino Unido e Dinamarca.

Dentro deste contexto, a presente pesquisa traz um panorama sobre o potencial uso de resíduos de concreto (RC) na confecção de blocos para alvenaria não-estrutural e sua aplicabilidade em um programa experimental realizado em parceria com uma fábrica de pré-fabricados portuguesa. Os resíduos desta fábrica, após breve tratamento, foram caracterizados em laboratório através de diversos ensaios, que resultaram em uma ficha técnica do produto, apresentando-os como uma opção viável para a substituição de um agregado natural (areia). Como a elaboração de blocos em escala laboratorial não seria possível, foram utilizados provetes cúbicos para auxiliar a confecção de um traço de concreto semelhante ao utilizado na fábrica, todavia, variando a quantidade de água, buscando atender os principais requisitos estabelecidos em norma para o concreto seco, no estado fresco e endurecido. Posteriormente, foram elaborados quatro novos traços, substituindo 25%, 50%, 75% e 100% da areia pelo agregado reciclado (resíduo), e ensaiados à compressão. A substituição total de agregado reciclado (100%) alcançou valores mínimos de resistência à compressão, sendo o traço escolhido para a realização de novos ensaios no concreto fresco e endurecido. Os resultados destes ensaios foram adequados, sendo sugerido, para um próximo passo, a confecção de blocos vazados na empresa utilizando esta substituição.

Palavras-chave: Resíduos de construção e demolição, concreto seco, blocos de concreto.

ABSTRACT

The enhanced development of urban areas provides a high energy and raw materials consumption, as well as an excess waste production. The main way to minimize the damage caused to the environment is by applying the 3R's, reusing, recycling and reducing the waste, as a preventive act.

Over time, the engineering works caused a great environmental impact due to the high consumption of raw materials and contributed negatively to the planet's preservation. The reduction of construction and demolition waste (CDW) is a worldwide concern, being a priority in some countries, such as Belgium, United Kingdom and Denmark

The present research provides an overview of the potential use of concrete waste (CW) in the manufacture of blocks for non-structural masonry and its applicability in an experimental program carried out in partnership with a Portuguese prefabricated factory. The factory residues, after a brief treatment, were characterized in the laboratory, providing a technical data sheet, showing that the material produced is a viable option as a replacement of natural sand aggregate. Since blocks preparation on a laboratory scale would not be possible, cubic specimens were used to assist the production of a concrete trace, similar to the one used in the factory, however, varying the amount of water, to attend the main requirements defined by the standard for dry concrete, in fresh and hardened state. Subsequently, four new compositions of concrete were prepared, replacing 25%, 50%, 75% and 100% of the sand by recycled aggregate (waste), and tested for compaction. The total substitution of recycled aggregate (100%) reached minimum values of compressive strength, being the trace chosen for new tests on fresh and hardened concrete. The results of these tests were acceptable, suggesting, for a next step, produce hollow blocks in the company using this composition.

Keywords: Construction and demolition waste, dry concrete, concrete blocks.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	II
ABSTRACT	III
ÍNDICE	IV
TERMINOLOGIA	VII
LISTA DE FIGURAS	X
SIMBOLOGIA	XI
ABREVIATURAS	XII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Organização da tese	3
2. RESÍDUOS	5
2.1. Origem e gestão	5
2.1.1. Gestão de Resíduos.....	6
2.2. Tipos de Resíduos	7
2.2.1. Resíduos Orgânicos	9
2.2.2. Resíduos Inorgânicos.....	10
2.3. Resíduos e a Construção Civil	11
3. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)	13
3.1. Classificação dos RCD	13
3.2. Reciclagem.....	15
3.3. Enquadramento Legal e aplicações dos RCD em Portugal	17
3.3.1. Aplicações do uso de RCD.....	19
3.4. Caracterização dos RCD	20
3.4.1. Método utilizado por Silva e Arnosti (2005) [41]	20
3.4.2. Método utilizado por Mesquita <i>et al.</i> (2005) [42]	21
3.4.3. Método utilizado por Segantine e Wada (2011) [2]	23
4. RESÍDUOS DE PRÉ-FABRICADOS	24

4.1. Utilização de resíduos como agregados de concreto	24
4.1.1. Agregados	24
4.1.2. Propriedades Gerais	25
4.1.3. Propriedades Mecânicas e Físicas	26
4.1.4. Propriedades Térmicas e Químicas	26
4.1.5. Classes de agregados reciclados	27
5. BLOCOS DE CONCRETO PRÉ-FABRICADOS	30
5.1. Histórico.....	30
5.2. Metodologias de dosagem	31
5.2.1. Método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) [50]	32
5.2.2. Método do American Concrete Institute (ACI) [53]	33
5.3. Fabricação dos blocos	33
5.4. Requisitos dos blocos.....	34
5.4.1. Dimensões dos blocos	35
5.4.2. Porcentagem de furação dos blocos.....	36
5.4.3. Massa volúmica dos blocos	37
5.4.4. Absorção de água por imersão e por capilaridade	37
5.4.5. Resistência à compressão dos blocos	38
5.4.6. Trabalhabilidade do concreto	38
5.5. Blocos de concreto com agregados reciclados	40
5.5.1. Procedimento utilizado por de Paula (2007) [74].....	40
5.5.2. Procedimento utilizado por Albuquerque (2005) [75]	40
5.5.3. Procedimento utilizado por Souza, Bauer e Sposto (2002) [76]	41
5.5.4. Procedimento utilizado por Mesquita (2015) [42]	42
6. PROGRAMA EXPERIMENTAL E RESULTADOS	44
6.1. Traço do concreto dos blocos da empresa	48
6.2. Definição do traço do concreto em laboratório	48
6.2.1. Confeção dos provetes de concreto	49
6.2.2. Caracterização do C_{ref} no estado fresco	52
6.2.3. Caracterização do C_{ref} no estado endurecido	53
6.3. Os Resíduos produzidos pela Pavimir	54

6.3.1. Caracterização dos Resíduos da Empresa Pavimir.....	56
6.3.2. Análise granulométrica.....	57
6.3.3. Baridade.....	61
6.3.4. Determinação da Massa volúmica, Absorção de água e Volume de vazios.....	62
6.3.5. Determinação do teor de finos: Azul de metileno.....	65
6.4. Concreto com substituição de resíduos.....	66
6.5. Resultados.....	67
6.5.1. Resistência à compressão simples.....	67
6.5.2. Caracterização do C_{R100} no estado fresco.....	68
6.5.3. Caracterização do C_{R100} no estado endurecido.....	69
6.5.4. Comparação entre os traços.....	69
7. CONCLUSÕES.....	70
7.1. Proposta para trabalhos futuros.....	71
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
9. ANEXOS.....	81

TERMINOLOGIA

A lista de termos disposta abaixo tem o propósito de facilitar o entendimento de alguns termos técnicos utilizados na dissertação, que divergem entre Portugal e Brasil, em que é exposto o termo utilizado em português de Portugal e sua respectiva nomenclatura em português do Brasil.

PT - Portugal

Abaixamento

Eurocódigo

Betão

Gravilha

Baridade

Provetes

Tempo de presa

Massa volúmica

Rotura

Paredes Divisórias

Estaleiro/Armazenamento

Camada de regularização

PT - Brasil

Abatimento

Eurocode

Concreto

Brita

Densidade

Corpos-de-prova

Tempo de pega

Massa específica

Ruptura

Alvenaria de Vedação

Canteiro de Obras

Contrapiso

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação dos resíduos sólidos de acordo com sua origem, em Portugal. ...	8
Tabela 2. Exemplos de classificação dos RCD.	13
Tabela 3. Caracterização percentual da composição média dos RCD na União Europeia	14
Tabela 4. Geração, reciclagem e aplicação dos resíduos de construção e demolição. ...	15
Tabela 5. Uso potencial para materiais de construção reciclados.	16
Tabela 6. Normas da ABNT utilizadas para caracterização do agregado de RCD.	22
Tabela 7. Caracterização dos agregados.	22
Tabela 8. Ensaio das propriedades geométricas dos agregados.	25
Tabela 9. Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados.	26
Tabela 10. Ensaio das propriedades térmicas e químicas dos agregados.	27
Tabela 11. Exigências para os agregados reciclados destinados a produção de concreto não-estrutural.	29
Tabela 12. Classe dos agregados reciclados de concreto e campos de aplicação.	29
Tabela 13. Classes para blocos de concreto.	35
Tabela 14. Tolerância das dimensões exteriores.	36
Tabela 15. Porcentagem de furação.	36
Tabela 16. Tipos de trabalhabilidade e meios de compactação.	39
Tabela 17. Classes de Consistência.	39
Tabela 18. Composição dos traços em massa (kg).	42
Tabela 19. Resistência característica para cada traço.	43
Tabela 20. Especificações dos agregados.	45
Tabela 21. Traço padrão Pavimir em massa para confecção de 1 m ³ de concreto.	48
Tabela 22. Composição dos provetes.	51
Tabela 23. Resistência à compressão para o C _{ref}	52
Tabela 24. Teor de finos e sua porcentagem.	60
Tabela 25. Baridade (pb)	61
Tabela 26. Classificação dos agregados.	62
Tabela 27. Massa volúmica e absorção de água do R0/4 e da Areia 0/4.	64
Tabela 28. Volume de vazios.	64
Tabela 29. Valores ensaio azul de metileno.	66
Tabela 30. Traços para concreto com substituição de agregados.	67

Tabela 31. Resultados resistência à compressão para todos os traços. 67

Tabela 32. Coeficiente de Variação de todos os traços. 67

Tabela 33. Comparação entre os traços 69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Produção de resíduos, em porcentagem, por atividades econômicas incluindo a dos agregados familiares na UE em 2016.	11
Figura 2. Máquina de blocos do século XIX a), do início do século XX b), e vibro-prensa moderna c).	31
Figura 3. Produtos de concreto produzidos pela Pavimir.	44
Figura 4. Agregados utilizados na confecção dos blocos.	45
Figura 5. Curva Granulométrica da Gravelha 4/8.	46
Figura 6. Curva Granulométrica da Areia 0/4.	46
Figura 7. Curva Granulométrica do Pó de Areia.	47
Figura 8. Produção dos blocos de concreto a). Armazenamento dos blocos b).	47
Figura 9. Confecção dos provetes: a) compactados manualmente, b) vibrados em mesa vibratória.	50
Figura 10. Exemplares de provetes C_{ref}	52
Figura 11. Ensaio Vêbê.	53
Figura 12. Resíduos de concreto: a) após a compactação, b) após a transferência das peças.	55
Figura 13. Resíduos de concreto no exterior da fábrica.	56
Figura 14. Porção de resíduo em estado bruto.	56
Figura 15. Curva Granulométrica do resíduo bruto.	57
Figura 16. Sobreposição das Curvas Granulométricas.	58
Figura 17. Curva Granulométrica R0/4.	59
Figura 18. Sobreposição das Curvas Granulométricas (Areia e R0/4).	59
Figura 19. Resíduo R0/4.	61
Figura 20. Ensaio massa volúmica e absorção de água.	63
Figura 21. Teste da mancha - Azul de metileno.	65
Figura 22. Determinação da resistência à compressão.	68

SIMBOLOGIA

$f_{ck,cube}$	Resistência à compressão, quando utilizados provetes cúbicos
$f_{ck,clv}$	Resistência à compressão, quando utilizados provetes cilíndricos
$f_{ck\ est}$	Resistência característica à compressão estimada
f_{ck}	Resistência característica à compressão aos 28 dias.
ρ_a	Massa volúmica do material impermeável das partículas
ρ_{rd}	Massa volúmica do material das partículas secas em estufa
ρ_{ssd}	Massa volúmica do material das partículas saturadas com a superfície seca
ρ_b	Baridade

ABREVIATURAS

RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RC	Resíduos de Concreto
UE	União Europeia
EUA	Estados Unidos da América
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
PERSU	Plano Estratégico de Resíduos Sólidos Urbanos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
LER	Lista Europeia de Resíduos
CER	Código Europeu de Resíduos
PERH	Plano Estratégico de Resíduos Hospitalares
PESGRI	Plano Estratégico de Gestão dos Resíduos Industriais
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil português
COMASP	Comitê de Meio Ambiente, Segurança e Produtividade do Sinduscon – SP
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
RCA	Agregado Reciclado de Concreto
MCA	Agregado Misturado de Concreto
SSS	Saturada Superfície Seca
MPa	Mega Pascal (Unidade de resistência)
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DL	Decreto Lei
D_{max}	Dimensão Máxima
a/c	Relação água/cimento
EC	Eurocódigo
NP	Norma Portuguesa
Vv	Volume de vazios
MF	Módulo de Finura
COV	Coefficiente de variação

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

Segundo o Conselho Internacional de Construção (CIB), a indústria da construção é a que mais explora e consome recursos naturais, em estimativas que variam entre 40% a 75% para que o setor se mantenha ativo, e, por estas razões, é de fundamental importância o desenvolvimento de materiais alternativos que atendam a essa atividade [1].

Além do grande consumo, há também como consequência enormes desperdícios de materiais nobres, como areia, pedra, madeira e cimento. Isto pode vir a se tornar um problema ambiental sério, sobretudo pela atual escassez de locais para a deposição deste grande volume de materiais, em geral, rejeitado nas construções [2].

Três alternativas podem ser consideradas quando se busca a redução dos custos de deposição e tratamento de resíduos: a redução do volume de resíduos produzidos, a reciclagem dos resíduos e a sua reutilização [3]. Como os resíduos são gerados em todos os setores industriais, pesquisas que visam o reaproveitamento destes resíduos têm sido estimuladas para transformá-los em subprodutos utilizados em diversas aplicações, entre elas, o retorno ao processo gerador do resíduo ou na fabricação de produtos ou materiais para as diversas áreas da atividade humana.

Alternativas sustentáveis têm sido avaliadas em relação à utilização dos resíduos de construção e demolição (RCD) reciclados. Nos entulhos de construção são encontrados normalmente restos de argamassa, concreto, materiais cerâmicos, materiais metálicos, madeiras, vidros e materiais plásticos. Os restos de argamassa, concretos e materiais cerâmicos, encontrados em maior volume, podem ser adicionados às matrizes de concreto ou solo-cimento, e a grande maioria dos outros resíduos podem ser reciclados e utilizados como agregados em obras de pavimentação, na produção de argamassas, blocos e artefatos de concreto, em sistemas de drenagem e muros de arrimo em obras de contenção, entre outros. Assim, a reciclagem seria a melhor alternativa para reduzir os impactos ambientais [4].

No entanto, uma das grandes dificuldades encontradas para a utilização de RCD como agregado reciclado, refere-se a grande heterogeneidade do material. A variabilidade na composição pode ser considerada um fator limitante na utilização desses agregados em concretos. Observa-se que, mesmo em países considerados exemplares com relação à

gestão de resíduos, apenas 1% do mercado das empresas de demolição empregam a demolição seletiva com a finalidade de separar a fração representada pelo concreto das demais fases [5]. Por isso, a caracterização estrutural, geométrica e ambiental do RCD constitui uma etapa fundamental na sua gestão, pois visa maximizar a sua produção e a utilização [6].

Em fábricas de pré-moldados, grandes contribuintes na criação de produtos utilizados na construção civil, existem uma maior qualidade e homogeneidade do resíduo desperdiçado, por se tratar de um resíduo de concreto (RC). Este resíduo é considerado limpo, visto que o concreto desperdiçado é proveniente de elementos rejeitados pelo controle de qualidade, final de linhas de produção e sobras de concreto ao final do processo, e não há contato com muitos outros materiais.

Diante destes fatos, em virtude do surgimento de resoluções disciplinando a deposição e a utilização de resíduos, torna-se importante o desenvolvimento de pesquisas voltadas para a produção de produtos de concreto, como blocos de alvenaria, que empreguem em sua composição agregados reciclados de concreto.

1.2. Objetivos

O objetivo desse trabalho é analisar a viabilidade técnica da utilização de agregados de resíduos de concreto, produzidos pela empresa de pré-fabricados Pavimir, sediada no concelho de Bragança, Portugal, na produção de concreto para blocos vazados de concreto simples. Para atingir o objetivo principal, foram elencados os seguintes objetivos específicos:

1. Desenvolvimento de um amplo trabalho teórico-experimental, que contribua para o avanço do conhecimento sobre a utilização dos agregados reciclados de concreto, na produção de blocos de concreto, baseando-se nos resultados de estudos recentes de diversos autores sobre o tema em questão;
2. Estabelecer um traço para o concreto seco produzido em laboratório, de forma que o mesmo possua características mecânicas e físicas semelhantes à do bloco de concreto da fábrica de pré-fabricados, utilizando o auxílio de provetes cúbicos;

3. Realizar a caracterização das propriedades geométricas e físicas dos agregados reciclados de concreto, através de ensaios experimentais e produção de uma ficha técnica do produto;
4. Propor traços para o concreto com substituição dos agregados naturais, por porcentagens dos agregados reciclados de concretos, baseando-se nos conhecimentos científicos existentes;
5. Ensaiar os provetes de concreto com agregados reciclados para a caracterização do comportamento do mesmo.

Devido à pandemia que assolou a todos neste ano, não foi possível confeccionar os blocos de concreto com incorporação de resíduo na empresa, que anteriormente era um dos objetivos deste trabalho. Fica então, como sugestão para próximos trabalhos, dar sequência à essa importante etapa e produzi-los em fábrica, para futuros ensaios e comprovação dos resultados encontrados nos provetes.

1.3. Organização da tese

O trabalho está organizado em sete capítulos. O primeiro é a presente introdução, que faz uma contextualização geral da problemática e expõe os objetivos almejados com o estudo.

O capítulo 2 explana o problema mundial da geração de resíduos, sua origem e gestão, os tipos de resíduos existentes, dentre eles os orgânicos e inorgânicos, onde se encontram os resíduos de construção e demolição (RCD). Ademais, evidencia dados sobre a produção de resíduos na construção civil.

O capítulo 3 é dedicado para a apresentação, descrição, classificação e legislação dos RCD. Bem como apresenta aplicações do uso de RCD na construção civil, assim como métodos de caracterização dos resíduos utilizados por diversos autores.

O capítulo 4 trata dos resíduos de pré-fabricados, sua utilização como agregados de concreto e as propriedades geométricas, físicas e químicas que um agregado deve possuir para ser utilizado na produção do concreto.

Em seguida, no capítulo 5, são apresentados dados importantes sobre blocos de concreto, como seu histórico, metodologias de dosagem, fabricação, requisitos estabelecidos aos blocos, de acordo com normas brasileiras e portuguesas, assim como

procedimentos utilizados por diversos autores que utilizaram agregados de resíduos de concreto em blocos de concreto.

No capítulo 6 são apresentados os blocos de alvenaria de vedação da fábrica de pré-fabricados Pavimir e suas características, onde através das informações obtidas, há a definição do traço do concreto utilizado em laboratório, assim como a caracterização dos resíduos da fábrica através de ensaios experimentais. Assim como uma proposta para o programa experimental, onde é definido, baseado na literatura existente, novos traços para o concreto, utilizando como agregado os resíduos de concreto da empresa e os resultados alcançados.

No capítulo 7 são apontadas as principais conclusões alcançadas com o estudo e sugestões de assuntos para serem investigados futuramente, a fim de que se tenha uma melhor compreensão do comportamento desse bloco com agregados reciclados.

2. RESÍDUOS

2.1. Origem e gestão

Quanto a origem dos resíduos, esta surgiu em tempos antigos junto com o homem, que abandonava o lixo produzido em qualquer local. No entanto, os primeiros problemas surgem com a sua sedentarização, quando este começa a agregar-se em comunidades e a quantidade de lixo produzido aumenta. Assim, se tornou indispensável encontrar soluções para a eliminação desses resíduos que ele necessariamente produz, como resultado das suas atividades fisiológicas, domésticas, agrícolas, entre outras [7].

O termo resíduo deriva do latim “*residuum*” e significa resto. Os resíduos sólidos, uma das formas da poluição industrial, indicam ineficiência do processo produtivo, representando, quase sempre, perdas de matérias-primas e outros elementos [8].

A tomada de medidas iniciais inadequadas, tais como descarga voluntária e incontrolada de resíduos nas ruas e terrenos sem ocupação, conduziram ao aparecimento de diferentes tipos de poluição, como a poluição hídrica, a poluição do solo, bem como a aproximação de seres vivos indesejáveis que viriam a pôr em risco a saúde humana. Com o desenvolvimento das sociedades, nasce a Revolução Industrial, que contribuiu positivamente para o desenvolvimento econômico e industrial, mas, em simultâneo, aumentou o problema da gestão de resíduos, em maior quantidade e com novas características. No final do século XIX, surgem na Inglaterra e nos Estados Unidos da América (EUA), disposições legais regulamentando a deposição de resíduos no solo ou no meio hídrico [7].

Os métodos utilizados, para a eliminação de resíduos até ao início do século XX, consistiam na deposição sobre o solo e/ou no seu interior, descarga no meio hídrico, alimento para animais e a sua queima [7]. Qualquer civilização, independentemente da sua complexidade estrutural, utilizou estes métodos em simultâneo.

Hoje, o resíduo, apesar de causar tantos problemas, tem sido visto como fonte de materiais para diversos ramos da sociedade, que, ao ver as consequências que anos de descuido têm gerado no planeta, começaram a se importar com a sua utilização, reutilização e destinação final.

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) (2020) [9], a sua gestão adequada contribui para a preservação dos recursos naturais, encarado nas suas vertentes ambientais, assim como setor de atividade econômica.

Os resíduos representam uma enorme perda de recursos materiais e energéticos. Além disso, a gestão e a eliminação de resíduos podem ter impactos ambientais graves. Os aterros ocupam espaço, ficando sobrelotados, e podem causar poluição atmosférica, da água e do solo, enquanto a sua incineração pode resultar em emissões de poluentes atmosféricos perigosos, se esta não for adequadamente controlada [10].

É possível ver que, atualmente, a produção de resíduos é encarada de diversas formas. Além da questão econômica (desperdício de material), existe grande consideração na questão ambiental, pois se procuram soluções cada vez mais equilibradas no tratamento e destino dos resíduos. Pode-se afirmar, no entanto, que não há soluções isentas de impacto ambiental, e mesmo sendo positivas em termos ambientais, muitas vezes já não são tanto em termos econômicos. Assim sendo, procurar o equilíbrio entre o custo ambiental e o custo econômico sem prejudicar o desenvolvimento é a grande aposta da evolução dos sistemas integrados de gestão de resíduos [11].

2.1.1. Gestão de Resíduos

Em matéria de tratamento de resíduos, segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) (2020) [9], a sua gestão adequada contribui para a preservação dos recursos naturais, encarado nas suas vertentes ambientais, assim como setor de atividade econômica.

Nos países desenvolvidos e em vias de desenvolvimento, vêm-se efetuando estudos de viabilidade de aplicação de novos processos de tratamento e eliminação de resíduos de forma a encontrar a melhor tecnologia na perspectiva econômica e ambiental.

Entende-se por gestão de resíduos as atividades de recolha, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação de resíduos, bem como as operações de descontaminação de solos, incluindo a supervisão dessas operações e o acompanhamento dos locais de eliminação após encerramento [9].

Em Portugal, até à década de 90, os resíduos sólidos urbanos produzidos eram encaminhados para lixeiras a céu aberto, depositados sobre solo não protegido onde iam sendo queimados para redução do seu volume sem qualquer controle ambiental e de saúde pública. Os únicos materiais a serem recolhidos seletivamente a nível municipal eram às embalagens de vidro, mas nem todo o território se encontrava abrangido por estes dispositivos de deposição, recolha, transporte e encaminhamento final [11].

Ao decorrer de 1996, se iniciam os trabalhos do Grupo de Tarefa responsável pela elaboração do Plano Estratégico de Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU), previsto no Decreto-Lei n.º 310/95 de 20 de Novembro [12] e que viria a ser aprovado a 13 de Novembro de 1997. Este plano insere-se na doutrina da Diretiva Quadro de Resíduos (Diretiva 75/442/CEE, de 15 de Julho) [11], na qual é exigida a atenção para algumas questões:

- Caracterização dos resíduos produzidos;
- Gestão de resíduos de acordo com as condicionantes geográficas;
- Garantia de uma rede de destinos finais adequados.

Assim, as políticas de gestão de resíduos da União Europeia (UE) têm como objetivo reduzir os impactos dos resíduos no ambiente e na saúde e melhorar a eficiência de seus recursos. O objetivo a longo prazo é reduzir a quantidade de resíduos produzidos e, quando a produção dos mesmos for inevitável, promovê-la como um recurso de forma a conseguir níveis mais elevados de reciclagem e com uma eliminação segura [13].

Nesta visão, a reciclagem de resíduos é fundamental para uma sociedade apoiada no desenvolvimento sustentável [14], capaz de satisfazer as necessidades do conjunto da população do presente sem comprometer a capacidade de sobrevivência de gerações futuras. Dessa forma, como alternativas de diminuir os custos finais dos setores industriais geradores, o desenvolvimento de estudos voltados para a reciclagem e/ou reutilização dos resíduos contribui para a redução do uso de matérias-primas, além de preservar o ambiente.

2.2. Tipos de Resíduos

O aumento na produção de resíduos conduz a uma evolução na sua própria terminologia e definição. Até 1997, não existia nenhuma regulamentação que definisse que tipos de resíduos existiam. A Lei Quadro dos Resíduos (Decreto-Lei n.º 239/97, de 9 de Setembro), por ter como objeto estabelecer as regras a aplicar para a gestão de resíduos, necessitou redefinir o conceito de “Resíduo” considerando ser importante classificá-lo de acordo com sua origem, natureza, quantidade produzida diariamente e propriedades [11].

Nesta regulamentação, estes são classificados em cinco categorias:

- Resíduos Perigosos;
- Resíduos Industriais;
- Resíduos Urbanos;

- Resíduos Hospitalares;
- Outros tipos de resíduos.

Como as características dos resíduos são distintas a solução de gestão a aplicar terá de ser adequada em conformidade com essas mesmas diferenças. Conhecendo-se a fonte geradora de desperdícios e a natureza destes, torna-se mais acessível a sua quantificação e análise das melhores soluções disponíveis à sua recolha, tratamento e eliminação [11]. Em Portugal, os resíduos sólidos existentes encontram-se agrupados na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação dos resíduos sólidos de acordo com sua origem, em Portugal.
Fonte: Cruz (2005) [11].

FONTE	TIPO	EXEMPLO
Domésticos (Residências, variável em função dos hábitos de consumo e do desenvolvimento dos cidadãos).	Não perigosos	Papéis, jornais, embalagens de plástico e de metal, restos alimentares, resíduos de jardinagem.
	Perigosos	Pilhas, baterias, lâmpadas fluorescentes.
Comércio e serviços (Estabelecimento de serviço público).	Não perigosos	Hotéis e restaurantes: restos de comidas; Supermercados e lojas: Embalagens de cartão; Escritório/Serviços administrativos: Papéis.
	Perigosos	Pilhas, baterias, lâmpadas fluorescentes.
Público (Atividade humana no espaço público).	Não perigosos	Varrimento de ruas e áreas de uso público: Papéis, putrescíveis, plásticos, excrementos animais; Recolha de entulhos de obras: Inertes; Mercados: Resíduos verdes e alimentares.
Industrial (Industriais Banais, Industriais Perigosos).	Não perigosos	Têxtil/Calçado: Restos tecidos, couro, borracha, filme e cartão; Alimentar: orgânicos putrescíveis.
	Perigosos	Regeneração de óleos; processos hidro metalúrgicos de metais não ferrosos; Indústria eletrônica; resíduos contendo mercúrio; Pilhas, baterias, lâmpadas fluorescentes.
Hospitalar (Equiparados Urbanos - Grupo I, Não perigosos - Grupo II, Risco Biológico - Grupo III, Específicos - Grupo IV).	Não perigosos	Papéis usados; Restos alimentares; Resíduos não contaminados e sem vestígios de sangue.
	Perigosos	Contaminados ou suspeitos de contaminação; Resíduos de incineração obrigatória.

Apesar das diversidades encontradas em cada tipo de resíduo, muito se pode compreender separando-os em dois grandes grupos, os Resíduos Orgânicos e Inorgânicos, que estão apresentados a seguir.

2.2.1. Resíduos Orgânicos

Dentre os principais tipos de resíduos gerados, os orgânicos representam aproximadamente 44% do total e, por isso, assumem um importante papel na busca por um gerenciamento eficaz. Os resíduos orgânicos são biodegradáveis, constituídos basicamente de restos de origem animal ou vegetal descartados de atividades humanas. São provenientes, por exemplo, de residências ou do meio urbano em geral (restos de comida), da agricultura ou indústrias (resíduos da agroindústria alimentícia, indústria madeireira) e do saneamento básico (lodos de estações de tratamento de esgoto). Dessa forma, são gerados de maneira inevitável e tendem a aumentar progressivamente com o aumento populacional [15].

Para preservar a sua função natural nos ciclos dos nutrientes, uma forma de gestão que pode ser adotada consiste em separar os resíduos em três frações: recicláveis secos, orgânicos e rejeitos. Essa triagem atende às necessidades atuais de separação dos resíduos e apresenta-se adequada à valorização dos orgânicos, uma vez que facilita a sua reutilização e diminui a contaminação dos recicláveis secos, além de permitir que sejam encaminhados ao aterro apenas os rejeitos, ou seja, os materiais que realmente não podem ser reaproveitados [16].

O lixo orgânico não pode ser visto simplesmente como rejeito a ser eliminado em aterros ou incineradores, pois tais práticas não são congruentes às necessárias soluções ambientais que devem ser consideradas. Ao contrário, a matéria orgânica gerada assume o papel de um recurso valioso através da aplicação de abordagens e tecnologias inovadoras para a reutilização em energia, fertilizantes, ração animal, entre outros [17].

No Brasil, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2020) [16], quando separados na fonte (ou seja, quando os resíduos orgânicos não são misturados com outros tipos de resíduos) a reciclagem dos resíduos orgânicos e sua transformação em adubo ou fertilizante orgânico pode ser feita em várias escalas e modelos tecnológicos. Pequenas quantidades de resíduos orgânicos podem ser tratadas de forma doméstica ou comunitária, enquanto grandes quantidades podem ser tratadas em plantas industriais. Os processos mais comuns de reciclagem de resíduos orgânicos são a compostagem (degradação dos resíduos com presença de oxigênio) e a biodigestão (degradação dos resíduos com ausência de oxigênio).

2.2.2. Resíduos Inorgânicos

Os resíduos gerados pelas atividades industriais crescem em importância no cenário ambiental, uma vez que são produzidos por vários tipos de indústria, tais como a metalúrgica, a química, a petroquímica, a papelreira e a alimentícia. Tais resíduos são bastante variados, podendo ser representados por cinzas, lodo, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plástico, papel, madeira, fibras, borracha, metais, escórias, vidro, cerâmica e outros [18].

Segundo Lucas e Benatti (2008) [19], a responsabilidade da destinação final dos resíduos também é da empresa, havendo a necessidade de se ter um plano de gerenciamento destes resíduos, buscando-se soluções por meio da implantação de tecnologias capazes de minimizar os impactos causados pela disposição desses resíduos no ambiente e de reduzir os custos envolvidos nesta atividade.

Os resíduos inorgânicos devem ser isolados com segurança do ambiente, em aterros específicos para esse tipo de resíduo, ou encaminhados para reuso ou reciclagem. Outras formas de tratamento e destinação final de resíduos industriais incluem o co-processamento, a incineração, a estabilização e solidificação e, no caso de resíduos não perigosos, a fertilização ou landfarming [19].

Simplificando, a prática de ecologia industrial implica em reciclar os resíduos produzidos por uma indústria para que substituam matérias-primas necessárias a outras indústrias, reduzindo assim o impacto ambiental de ambas. Além disso, uma boa parte dos resíduos gerados possui valor comercial se forem adequadamente tratados, e poderão ser considerados matéria-prima potencial noutros processos de produção, isto é, subproduto [10].

Dentro dos resíduos inorgânicos, se encontram os Resíduos de Construção e Demolição (RCD), que são encontrados em grande quantidade em todas as cidades e que possuem enorme potencial de reutilização. Além do grande volume, o RCD é responsável por um grande impacto ambiental, pois, frequentemente, é disposto de maneira clandestina, em terrenos baldios e outras áreas públicas, ou em “bota fora” e aterros.

Apesar desta prática ainda ser presente na maioria dos centros urbanos, pode-se dizer que, felizmente, nos últimos anos ela tem diminuído em decorrência do avanço das políticas de gerenciamento de resíduos sólidos e das leis cada vez mais restritivas. Assim sendo, existe uma parcela das indústrias que se dedicam a reciclagem de RCD, para serem

usados, por exemplo, em bases e sub-bases de rodovias, ou na confecção de blocos e tijolos, que serão tratados com mais detalhe no próximo capítulo desta dissertação.

2.3. Resíduos e a Construção Civil

Uma das linhas de pesquisas dentro da engenharia do meio ambiente e do setor da construção civil, é a valorização e utilização de resíduos industriais no desenvolvimento de materiais de construção. Outra é a da valorização, desenvolvimento e utilização de materiais de construção alternativos provenientes de recursos renováveis e de baixo consumo de energia que tenham baixa toxicidade e que não gerem poluentes [3].

O gráfico apresentado (Figura 1), mostra a porcentagem de cada atividade econômica incluindo a dos agregados familiares na produção total de resíduos na UE em 2012. O setor da construção e demolição contribuiu para 33% do total (com 821 milhões de toneladas), seguido do setor das indústrias extrativas (29% ou 734 milhões de toneladas), indústrias transformadoras (11% ou 270 milhões de toneladas), agregados familiares (8% ou 213 milhões de toneladas) e setor da energia (4% ou 96 milhões de toneladas), os restantes 15% foram resíduos gerados por outras atividades econômicas [13].

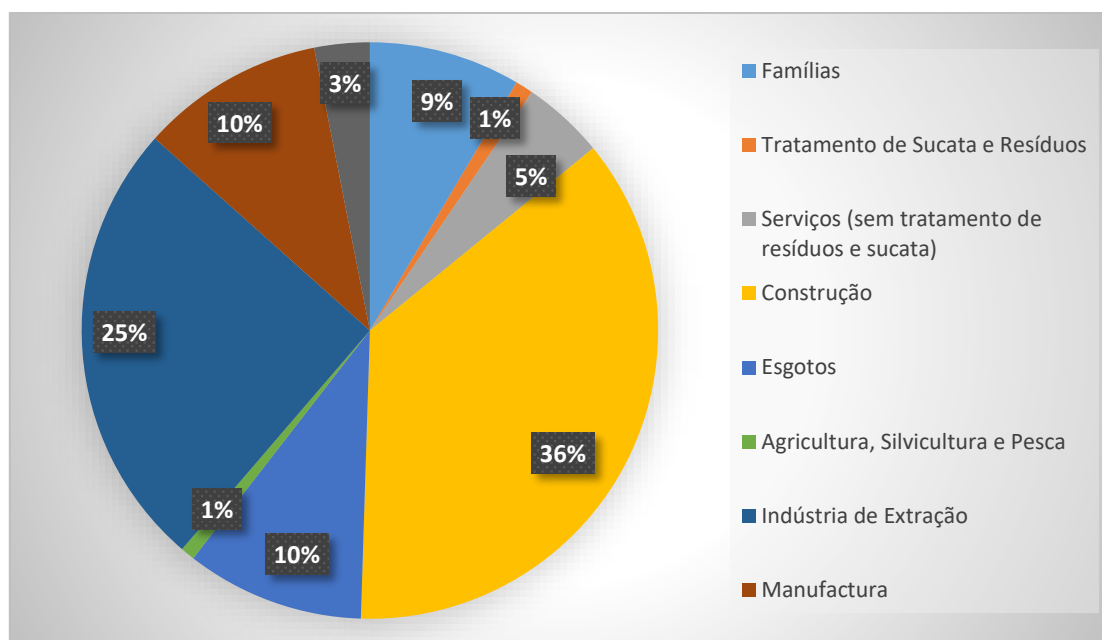


Figura 1. Produção de resíduos, em porcentagem, por atividades econômicas incluindo a dos agregados familiares na UE em 2016.

Fonte: EUROSTAT (2016) [13].

Como é possível verificar no gráfico, o setor da construção civil, apesar de ser um dos mais importantes para atender as necessidades de toda a sociedade, fornecendo abrigo, infraestrutura e construindo edifícios, é o responsável por uma parcela significativa do consumo de recursos naturais, além de gerar a maior parte dos resíduos sólidos e emissão de gases [20]. Dessa forma, a indústria da construção civil pode ter um papel relevante como receptora de resíduos sólidos no tocante à sua disposição final. A incorporação desses resíduos em matrizes cerâmicas e cimentícias com o objetivo de produção de artefatos para a construção civil, se feita de maneira criteriosa, permite dar um destino sustentável e ambientalmente correto para os resíduos [19].

Quanto a sustentabilidade, a primeira definição conhecida do conceito de Construção Sustentável surgiu em 1994, na Conferência Internacional sobre Construção Sustentável, realizada em Tampa, Flórida [21]. Nesta conferência foi apresentado um conjunto de vetores fundamentais, aos quais foram chamados de “Os sete princípios para a Construção Sustentável”, sendo eles:

1. Redução do consumo de recursos;
2. Reutilização dos recursos o máximo possível;
3. Reciclar os resíduos da demolição e sempre que possível utilizar materiais reciclados;
4. Proteger os sistemas naturais e o funcionamento de todas as suas atividades;
5. Eliminar todos os materiais tóxicos em todas as fases do ciclo de vida;
6. Incorporar o custo total nas decisões econômicas;
7. Promover a qualidade em todas as fases do ciclo de vida do ambiente construído.

3. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

3.1. Classificação dos RCD

O Decreto Lei (DL) nº 178/2006 de 5 de setembro [22], define resíduo de construção e demolição, o resíduo proveniente de obras de construção, reconstrução, ampliação, alteração, conservação e demolição e da derrocada de edificações, demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2. Exemplos de classificação dos RCD.
Fonte: DL nº 178/2006 de 5 de setembro [23].

Classificação de acordo com o tipo de obra	<ul style="list-style-type: none"> • Resíduos de construção – Terra, argamassas, tijolos, telhas, alvenaria, etc.; • Resíduos de demolição - Resíduos provenientes de obras de demolição de edifícios ou infraestruturas; • Resíduos de reparação - Resíduos resultantes de obras de remodelação e reparação de edifícios e infraestruturas.
Classificação segundo o tipo de material que se encontra presente	<ul style="list-style-type: none"> • Resíduos inertes - Resíduos provenientes de obras novas de construção de edifícios e infraestrutura; • Resíduos não inertes – Embalagens diversas, plásticos, madeiras, vidros, metais, etc.; • Resíduos perigosos – Óleos usados, latas de tintas ou solventes, amianto, etc.;
Classificação segundo o destino final dos resíduos	<ul style="list-style-type: none"> • Resíduos reutilizáveis – Resíduos que podem ser utilizados diretamente no local da obra ou noutras; • Resíduos recicláveis – Resíduos que podem ser reciclados; • Resíduos não recicláveis – Resíduos que devido as características, ou por se encontrarem contaminados, não podem ser reciclados.

Para efeitos legais, os RCD devem ser classificados de maneira mais específica de acordo com a Lista Europeia de Resíduos (LER) [24], a qual foi criada com o objetivo de uniformizar e facilitar a identificação dos RCD em toda a União Europeia. A LER veio substituir o anterior Código Europeu de Resíduos (CER), e surge como uma Decisão da Comissão da UE (Decisão 2000/532/CE). Os resíduos de construção e demolição

encontram-se no capítulo 17 deste documento. No Anexo A, encontram-se os códigos e descrições associadas aos RCD que fazem parte integrante da LER.

Assim, é possível ver que os RCD são resíduos bastante heterogêneos, podendo ser constituídos por qualquer material que faça parte de um edifício ou infraestrutura e, ainda, por restos de embalagens ou outros materiais utilizados durante a concepção da obra [25].

A composição dos RCD é fundamental no estudo das suas potencialidades de reciclagem ou de reutilização. É evidente que, os resíduos obtidos da demolição de um edifício de estrutura de concreto armado, são muito distintos dos obtidos de um outro construído com materiais tradicionais (paredes de alvenaria de pedra ordinária, pavimentos e cobertura de madeira) e mais ainda dos obtidos na construção de uma estrada. Assim, quando se fala da composição dos RCD, é fundamental a identificação da sua origem (por exemplo, ela pode diferir significativamente de país para país em função das suas tradições construtivas), da época da infraestrutura demolida e até do critério de medição utilizado, pois é frequente ver estatísticas que excluem os solos e as lamas dos RCD e também o caso contrário onde estes são incluídos [26].

A seguir, na Tabela 3, encontra-se a caracterização percentual da composição média dos RCD na UE.

Tabela 3. Caracterização percentual da composição média dos RCD na União Europeia
Fonte: Brito (2010) [27].

Materiais	% do peso total
Concreto, Alvenaria e Argamassa	50
Madeira	5
Papel, cartão e outros combustíveis	1-2
Plásticos	1-2
Metais (aço incluído)	5
Solos de escavação, britas de restauração de pavimento	20-25
Asfalto	5-10
Lamas de dragagem e perfuração	5-10

Através da análise da tabela, verifica-se que os materiais maioritariamente desperdiçados são o concreto, a alvenaria e a argamassa com cerca de 50% do peso total. Nesse contexto, devem ser procurados métodos que visem a minimização da sua produção

através da reutilização, bem como vias que permitam a sua reciclagem ou outras formas de valorização.

3.2. Reciclagem

A forma mais difundida de tratamento dos RCD consiste na segregação da fração mineral, que é triturada até a granulometria desejada e utilizada na própria indústria da construção civil.

Na UE, apesar de existirem países com elevadas taxas de reciclagem (superiores a 80%), há nações que reciclam menos de 20% dos resíduos gerados, tais como, Espanha, Irlanda, Itália e Noruega. Na Tabela 4, se apresentam alguns dados tratando da geração, reciclagem e aplicação de RCD em alguns países europeus [28].

Tabela 4. Geração, reciclagem e aplicação dos resíduos de construção e demolição.
Fonte: Alaejos et al. (2004) [28].

País	Produção anual (x10 ⁶ t)	Porcentagem reciclada	Aplicação da porcentagem reciclada	
Bélgica	7,0	87%	Agregados p/ concreto: 19,5%	Estradas: 80,5%
França	24,0	15%	Agregados p/ concreto: 10%	Estradas: 54,5% Contenções e aterros: 35,5%
Reino Unido	30,0	45%	Agregados p/ concreto: 4,5%	Estradas: 20% Contenções e aterros: 75,5%
Espanha	38,5	10%	Bases e sub-bases de rodovias: 30%	Base de solos: 35% Aterros: 35%

Além da Bélgica e do Reino Unido, outros países possuem grandes porcentagem de reciclagem de RCD, como a Holanda (92%), a Áustria (48%) e a Dinamarca (81%) [29].

Para Portugal, Brito (2006) [26] refere um montante de 6 a 10 x10⁶ toneladas de produção anual de RCD. Segundo Pereira (2002) [30], cerca de 76% do RCD são depositados em aterros, 11% é reutilizado, 9% é reciclado e 4% incinerado, totalizando 20% a quantidade de RCD reciclado no país.

Existem muitas oportunidades e desafios no campo da reciclagem de resíduos da construção civil, que emergem a partir de um potencial ganho ambiental e econômico,

que esses novos materiais podem proporcionar. A tendência pelo uso de materiais reciclados ganha força porque sua utilização não demanda mudança nas práticas de construção antigas e novas tecnologias [31]. A Tabela 5 apresenta usos em potencial para os resíduos de materiais de construção reciclados.

Tabela 5. Uso potencial para materiais de construção reciclados.
Fonte: Horvath (2004) [31].

Material	Uso Potencial
Madeira	Reutilização, combustível, forração, para leito animal, produtos para construção, composto para plantas.
Tijolos	Reutilização, trituração para agregados.
Asfalto	Novo piso de asfalto, substrato de base para estrada.
Concreto	Trituração para agregados de asfalto ou concreto, fundações, enchimento, base para estrada.
Gesso Cartonado	Gesso para acerto de solo, drywall.
Telhado	Telhas de asfalto para piso de asfalto, reutilização de telhas de barro.
Metais	Sucata para novo processamento.
Plástico	Objetos de plástico, barreiras de auto estrada, cones de sinalização.

Para que os materiais possam ser aproveitados, deve ser feita uma seleção criteriosa nos canteiros de obras, separando os diferentes tipos de entulho. No caso da demolição, além da separação deve-se ter o cuidado de separar peças que possam ser reaproveitadas diretamente (portas, janelas, tubulação, etc.) ou que necessitem de pequenos reparos para serem novamente utilizadas [3].

Os resíduos metálicos são recicláveis se for possível separá-los por tipo. Com a atual tecnologia de reciclagem do aço é possível reduzir entre 50% a 70% o consumo energético e emissão de gases poluentes na sua produção. Os elementos de construção em aço e em alumínio possuem elevado potencial de reciclagem. O alumínio é também 100% reciclável e com a sua reciclagem é possível diminuir a energia incorporada e a emissão de gases poluentes em cerca de 90% na sua produção [32].

A maior parte dos plásticos podem ser granulados e reciclados na produção de novos produtos de plástico. No entanto, as taxas atuais de reciclagem são bastante baixas. Esta situação deve-se principalmente à elevada variedade de plásticos e à dificuldade que existe em os separar [33].

Os produtos de vidro podem ser reciclados se devidamente separados e não contaminados. O vidro pode ser diretamente reutilizado ou reciclado, por exemplo, como agregado, depois de granulado, para a execução do concreto [34].

Os elementos em concreto, tal como os produtos cerâmicos, depois de britados podem ser reciclados em agregados para a fabricação de concreto, ou podem ser utilizados na execução de caixas de pavimento em pisos térreos ou nas bases de estradas.

As estruturas em madeira e metálicas são exemplos de elementos construtivos que poderão ser reutilizados num novo ciclo de vida, caso o seu estado de conservação o permita.

Na fase de projeto, existe uma série de prioridades que deverão ser consideradas pelos projetistas de modo a maximizar o potencial de reciclagem e de reutilização dos materiais/elementos construtivos prescritos para um edifício, destacando-se as seguintes [35]:

- Evitar a utilização de materiais compósitos que não podem ser separados;
- Evitar ligações inseparáveis entre os diversos elementos de construção, assim como projetar os edifícios prevendo o seu futuro desmantelamento e não apenas a sua demolição.

De entre os benefícios da utilização de resíduos da construção, pode-se citar [36]:

- Redução do impacto sobre o meio ambiente quanto à extração, transporte e processamento dos materiais;
- Redução no custo de projetos para áreas de disposição dos resíduos e compra de novos materiais;
- Melhora a imagem pública das empresas e organizações que reduzem a geração de resíduos;
- Conservação do espaço que seria destinado à disposição dos resíduos para outro tipo de resíduo que não possa ser reciclado.

3.3. Enquadramento Legal e aplicações dos RCD em Portugal

Em Portugal, de acordo com a APA (2020) [9], as orientações estratégicas para os resíduos foram consagradas em vários planos específicos, nomeadamente o Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos (PERSU), o Plano Estratégico de Resíduos Hospitalares (PERH) e o Plano Estratégico de Gestão dos Resíduos Industriais (PESGRI).

A gestão sustentável dos resíduos necessita, no entanto, da formalização de uma estratégia integrada e abrangente que garanta a eficácia de uma política nacional de resíduos, numa ótica de diminuição dos impactos associados à utilização dos recursos naturais, de forma a melhorar a eficiência da sua utilização e a proteção do ambiente e da saúde humana.

O regime geral de gestão de resíduos, aprovado pelo Decreto-Lei (DL) n.º 178/2006 [22], na redação dada pelo DL n.º 73/2011 [37], (diploma RGGR), transpõe para a ordem jurídica interna a diretiva n.º 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro, relativa aos resíduos.

Este diploma é aplicável às operações de gestão de resíduos destinadas a prevenir ou reduzir a produção de resíduos, o seu caráter nocivo e os impactos adversos decorrentes da sua produção e gestão, bem como a diminuição dos impactos associados à utilização dos recursos, de forma a melhorar a eficiência da sua utilização e a proteção do ambiente e da saúde humana definindo também as exclusões do seu âmbito. Também estabelece aos RCD um valor mínimo de reciclagem em massa, o qual deverá ser no mínimo 70%, até o ano atual de 2020.

Atualmente, os RCD dispõem de um quadro legislativo específico, publicado no DL n.º 46/2008 [38], apresentados no Anexo B.

Por solicitação do Instituto dos Resíduos, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), elaborou um conjunto de documentos técnicos, que constituíssem guias para a aplicação de RCD, enquanto agregados reciclados, em diversos campos de aplicação. As especificações LNEC relativas à utilização de RCD apresentam recomendações sobre as práticas a serem adotadas durante o processamento e armazenamento destes resíduos, bem como os requisitos mínimos para os materiais reciclados e respetivos campos de aplicação. Uma preocupação especial em relação à proteção do meio ambiente é evidenciada em todas estas especificações, ao exigir a avaliação da libertação de substâncias perigosas, à semelhança do que sucede noutros Estados-Membros europeus. Após uma versão inicial em 2006 estas especificações foram revistas em 2009 [39].

- LNEC E 471 - Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em concreto;
- LNEC E 472 - Guia para a reciclagem de misturas betuminosas a quente em central;

- LNEC E 473 - Guia para a utilização de agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos;
- LNEC E 474 - Guia para a utilização de materiais reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição em aterro e camada de leito de infraestruturas de transporte.

3.3.1. Aplicações do uso de RCD

Em Portugal, existem alguns casos de obra na qual se produziram agregados reciclados resultantes de operações de demolição, cujos materiais foram reintegrados na própria obra, no seu todo ou em parte (na fase de construção) [40]:

- Demolição da Portucel Recicla, em Mourão (2001) – A demolição da fábrica levou à remoção de cerca de 267.000 toneladas de resíduos e “solos da interface”, onde 113.000 toneladas correspondem a lamas provenientes das lagoas de tratamento e das bacias de armazenamento, e 10.000 toneladas dizem respeito a solos e concreto. Relativamente ao processamento “in situ” do concreto, este foi utilizado em trabalhos de terraplanagem, já no que toca as lamas provenientes das lagoas de tratamento e das bacias de utilização, foram utilizadas para a cobertura diária de aterro e selagem de lixeiras;
- Demolição da Antiga Fábrica de Gás da Matinha, em Cabo Ruivo (2006) - Foram extraídas cerca de 54.000 toneladas de resíduos, dentro os quais, materiais cerâmicos, pedra, concreto. Após a triagem, os materiais inertes foram triturados no local (97% do total) e utilizados em aplicações distintas, reaproveitando a quase totalidade em obra. Os resíduos não inertes, foram encaminhados para entidades recicladoras. Apenas 0,5% do total foram eliminados;
- Demolição do Hotel Estoril Sol, em Cascais (2007) – Desta demolição resultaram 80.000 toneladas de resíduos, dos quais 97% são inertes. Os materiais não inertes, triados manualmente durante a fase de desconstrução, apresentavam baixos níveis de contaminação, fruto da estratégia de demolição selecionada, permitindo a reciclagem da quase totalidade dos mesmos. A taxa de reutilização dos resíduos na ordem dos 97% (como exemplo temos o reaproveitamento de 800 portas);

- Parque das Nações – Foram reciclados e aplicados nas obras de construção, 812.000 toneladas de concreto, 190.000 toneladas de alvenarias de tijolo ou pedra e 60.000 toneladas de pavimentos de concreto e betuminosos.

3.4. Caracterização dos RCD

A caracterização de resíduos sólidos é um processo que busca identificar e quantificar os materiais e componentes presentes nos resíduos.

Assim, nos próximos itens serão descritas algumas metodologias utilizadas por autores que classificaram RCD na literatura como Silva e Arnosti (2005) [41] que ensaiaram resíduos cerâmicos reciclados, através de ensaios físicos e químicos, evidenciando umas das principais diferenças entre materiais reciclados e naturais: a absorção de água, Mesquita et al. (2005) [42] que recolheram resíduos de construção e demolição de vários entulhos de obras, para ensaiar e estudar o material quanto agregado reciclado e Segantine e Wada (2011) [2] que através da obtenção do resíduo por empresas coletoras, o caracterizaram em laboratório e verificaram a atuação do mesmo em solo-cimento.

3.4.1. Método utilizado por Silva e Arnosti (2005) [41]

Os autores classificaram resíduos de RCD reciclado, proveniente da central de reciclagem de cidade de Piracicaba, localizada no estado de São Paulo, Brasil. O resíduo é do tipo cerâmico, com diâmetro médio inferior a 0,0036 m.

Para obtenção e preparação de amostras, se fez coletas diárias de aproximadamente 4 kg durante 15 dias, representando assim um lote quinzenal de 60 kg. Foram obtidos 6 lotes quinzenais, levando em consideração a escala temporal na amostragem, durante o período de realização do trabalho.

Os autores realizaram ensaios tanto físicos quanto químicos no material. Dos físicos ressaltam-se as análises granulométricas por peneiramento e por sedimentação, o limite de consistência através dos ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade, assim como ensaios para a determinação da massa específica dos grãos que passam na peneira 4,8 mm e por último, os ensaios para determinação da absorção de água em agregados miúdos. Para determinação das propriedades químicas, foram necessárias as preparações dos extratos de massa bruta, solubilização e lixiviação.

Todos os testes de caracterização química, foram realizados em triplicata para cada lote de RCD reciclado analisado, sendo que as análises dos compostos químicos como Fluoreto, Cloreto, Nitrato, Sulfato e o Cádmio (solubilizado) foram realizadas somente com uma cota de cada lote do material.

Os autores concluíram que o RCD reciclado, neste local, é um material predominantemente arenoso, com partículas finas não plásticas, com massa específica igual de uma partícula de agregado natural e que a propriedade física que mais diferencia o agregado de RCD reciclado e o agregado natural, é a absorção de água.

Em todas as propriedades físicas houve baixa variabilidade entre os lotes, pois as amostras foram obtidas após a etapa de homogeneização de cada lote, o que minimiza a heterogeneidade original de resíduos provenientes de construção civil, melhorando a qualidade das propriedades físicas para o uso desse resíduo em blocos de concreto para vedação, base e sub-base de pavimentos. Quanto às propriedades químicas, o RCD reciclado apresentou grande variabilidade em alguns parâmetros, mostrando assim a necessidade de um melhor estudo sob o ponto de vista da aplicabilidade.

3.4.2. Método utilizado por Mesquita *et al.* (2005) [42]

Os resíduos de construção e demolição foram coletados aleatoriamente de entulhos de obras espalhados na região de Muriaé, no Estado de Minas Gerais, Brasil, que apresentavam em sua composição parcelas de material cinza (argamassas e concretos) e vermelho (cerâmicas, telhas e tijolos), além de restos de tinta, solventes, pregos e outros, que foram descartados. Desses resíduos, foram separadas amostras para caracterização física e o restante foi encaminhado a uma empresa de pré-moldados, localizada no mesmo município de coleta dos resíduos, onde foram transformados em agregados por meio de seu processamento em britador de mandíbula.

Os mesmos foram ensaiados de acordo com as normas apresentadas na Tabela 6:

Tabela 6. Normas da ABNT utilizadas para caracterização do agregado de RCD.
Fonte: Mesquita (2005) [42].

Ensaio	Norma Brasileira utilizada
Caracterização Granulométrica	NBR 7211/2009 NBR NM 248/2003
Amostragem dos Agregados	NBR NM 26/2001 NBR NM 27/2001
Dimensão máxima características e módulo de finura	NBR NM 248/2003
Teor de material pulverulento	NM ISSO 3310-1/1997
Determinação da massa específica	NBR NM 52/2003 NBR NM 53/2003
Teor de impurezas orgânicas	NBR NM 49/2001
Análise dimensional, espessura mínima das paredes e dimensões dos furos das amostras	NBR 12118/2011
Absorção de água	NBR 12118/2011

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados obtidos da caracterização do agregado de RCD.

Tabela 7. Caracterização dos agregados.
Fonte: Mesquita (2005) [42].

Material	Massa Específica Aparente (g/cm ³)	Massa Específica Seca (g/cm ³)	Massa Específica Saturada Superfície Seca (g/cm ³)	Teor de Material Pulverulento (%)	Módulo de Finura	Absorção (%)	Diâmetro Máximo Característico (mm)
Agregado de RCD	-	-	-	5,60	3,99	-	12,50
Fração Miúda de RCD	2,11	2,57	2,30	-	-	8,5	-
Fração Graúda de RCD	1,99	2,57	2,22	-	-	10,72	-

O valor encontrado para a dimensão máxima característica do agregado de RCD, utilizado na confecção dos blocos, foi de 12,5 mm. Para o Módulo de Finura (MF) obteve-se o valor de 3,99 que corresponde à classe de areia grossa/pedrisco [43].

O valor encontrado, para o teor de material pulverulento nos agregados de RCD, foi determinado a partir de duas amostras, sendo maior do que aquele estabelecido pela norma técnica NBR 7221 [44] que define em 5% o valor máximo para agregado oriundo de pedra britada ou seixo, para uso em concretos com acabamento superficial, e em 3% para concretos submetidos a desgaste superficial.

Com base nos resultados, verifica-se que os valores da massa volúmica nas condições das partículas saturadas com a superfície seca (ρ_{ssd}), e da massa volúmica

aparente, divergiram entre as frações miúda e graúda. Como se trata do mesmo material, os valores deveriam ser aproximadamente os mesmos. A diferença pode ser atribuída à perda de pequena parte de material mais fino do agregado graúdo, ao longo do processo de caracterização, pela facilidade que tem o material de se transformar em pó. Como as massas específicas na condição das partículas saturadas com a superfície seca e aparente para a fração graúda do agregado são menores do que para a fração miúda, a absorção é consequentemente maior.

O autor também utilizou 2 frascos com a solução de hidróxido de sódio a 3%, colocada em contato com o agregado de RCD, e com a solução referência de ácido tânico a 2%. A comparação colorimétrica entre as duas soluções, mostra que a solução com agregado de RCD apresentou tonalidade mais clara, indicando que o teor de material orgânico presente no agregado de RCD, está dentro da faixa permitida em norma.

3.4.3. Método utilizado por Segantine e Wada (2011) [2]

O resíduo caracterizado pelos autores era constituído por restos de argamassa, solo, agregados, concreto, tijolos e telhas, obtido por intermédio de empresas coletoras de resíduos, foi triturado em um britador de facas e peneirado, de modo a ficar com diâmetro máximo de 4,8 mm, com aspecto visual similar à de uma areia grossa de construção. Esse resíduo visava substituir agregados naturais em tijolos de solo cimento.

Foram realizados ensaios de laboratório, visando a caracterização dos materiais, compreendendo ensaios de: compactação com determinação da umidade ótima e da massa volúmica aparente seca máxima, determinação dos limites de consistência, análise granulométrica e retração linear. Foram também realizados ensaios de compressão simples e absorção de água em tijolos.

A adição dos RCD, melhorou as propriedades granulométricas do solo, tornando-o mais arenoso e mais apropriado para a confecção do solo-cimento. Nota-se que o RCD do estudo possuía 92% de areia em sua composição, sendo, portanto, uma excelente alternativa para melhorar o solo visando a confecção do solo-cimento. Assim, a adição de apenas 20% de RCD já foi suficiente para promover sensível redução tanto no limite de liquidez (de 27,7 para 20,9%) quanto no limite de plasticidade (de 18,3 para 16,2%), contribuindo positivamente para a melhoria das características de plasticidade e trabalhabilidade do material.

4. RESÍDUOS DE PRÉ-FABRICADOS

Os resíduos de concreto (RC) podem ser reciclados por processos simplificados devido à sua grande homogeneidade, principalmente se tratando de resíduos de fábricas de pré-fabricados e usinas de concreto pré-misturado.

Em fabricas de pré-fabricados, os resíduos são basicamente provenientes de elementos rejeitados pelo controle de qualidade, final de linhas de produção e sobras de concreto fresco ao término do processo. As usinas de concreto pré-misturado são outra fonte de resíduos, sendo que grande parte destes são gerados pelo retorno de sobras de concreto dos caminhões betoneira, bombas de lançamento de concreto, lavagem dos caminhões e instalações da central. O processamento desses resíduos pode ser realizado em plantas de reciclagem de primeira geração, uma vez que a presença de contaminantes pode ser considerada desprezável [4].

4.1. Utilização de resíduos como agregados de concreto

4.1.1. Agregados

Entende-se por agregado o material granular, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades adequadas para o uso em obras de engenharia. As propriedades dos agregados são fundamentais na produção de blocos de concreto, pois interferem na aderência com a pasta de cimento, alterando a homogeneidade e a resistência do concreto [45].

Pode se classificar os agregados quanto à origem, à massa unitária e às dimensões de suas partículas. Quanto à origem, os agregados se dividem em naturais e artificiais. Com relação à massa unitária, os agregados podem se classificar como leves, normais e pesados. Quanto ao tamanho de partícula dos agregados, estes recebem denominações especiais de acordo com a peneira que passam, como: fíller ($75 \mu\text{m}$), areia (natural $\leq 4 \text{ mm}$), pó de pedra (artificial $\leq 4 \text{ mm}$), seixo rolado (natural $\geq 4 \text{ mm}$) e britas (artificial $\geq 4 \text{ mm}$) [45].

A classificação dos agregados, em relação à sua forma e dimensão, é importante para garantir um bom arranjo no concreto, de forma que se possa obter um material com menor índice de vazios, melhorando assim as suas propriedades físicas e mecânicas. Além dos requisitos físicos, devem-se considerar os aspectos econômicos: o concreto deve ser

produzido com materiais que tenham custo compatível com a vida útil prevista para a obra.

Como visto anteriormente, é possível que os resíduos sejam utilizados como agregados, no entanto, para isso acontecer, eles devem estar em conformidade com as normativas estabelecidas para agregados de concreto, além de serem classificados como tais.

A Norma Portuguesa NP EN 12620 [46], classifica os agregados para concreto, e remete para diversas outras normas, apresentando assim os ensaios necessários para definir as propriedades gerais, físicas, mecânicas, químicas e térmicas dos mesmos. A necessidade de reduzir os ensaios e de declarar todas as características definidas na NP EN 12620, varia em função do emprego ou da origem dos agregados. Dentro do proposto, nos próximos itens estão apresentados os principais ensaios para realizar a caracterização dos resíduos de pré-fabricados como agregados para concreto.

Posteriormente serão apresentados os ensaios realizados com algumas dessas normativas dentro do programa experimental, com maior detalhamento.

4.1.2. Propriedades Gerais

Os ensaios para a determinação das propriedades geométricas dos agregados, que a NP EN 12620 [46] seleciona, estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Ensaios das propriedades geométricas dos agregados.
Fonte: NP EN 12620 [46].

Ensaio	Descrição
Análise granulométrica	Através do método de peneiração, determina-se a distribuição granulométrica por meio da dimensão nominal das aberturas das peneiras e se encontra melhor detalhada na EN 993-1
Determinação da forma das partículas	Será determinada pelo índice de achatamento e/ou índice de forma nas EN 933-3 e EN 933-4
Determinação do teor de finos	Será determinado através dos ensaios de Equivalente de areia, azul de metileno e/ou granulometria dos fileres (peneiração por jato de ar) nas NP EN 933-8 e NP EN 933-9
Classificação dos agregados grossos reciclados	Serão classificados de acordo com a EN 933-11

4.1.3. Propriedades Mecânicas e Físicas

Os ensaios especificados que devem ser feitos para determinar as propriedades mecânicas e físicas apropriadas dos agregados, quando requerido, estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados.
Fonte: NP EN 12620 [46].

Ensaio	Descrição
Determinação da baridade e do volume de vazios.	Serão determinados de acordo com a EN 1097-3 e EN 1097-6 e os resultados declarados sob pedido;
Massa volúmica real e absorção de água	Serão determinadas de acordo com a EN 1097-6 e os resultados declarados sob pedido, indicando os meios de determinação e aos cálculos utilizados
Determinação do teor de finos	Será determinado através dos ensaios de Equivalente de areia, azul de metileno e/ou granulometria dos fíleres (peneiração por jato de ar) nas NP EN 933-8 e NP EN 933-9
Determinação do teor de humidade por secagem em estufa ventilada	Será classificado de acordo com a EN 1097-5
Ensaio de polimento acelerado	Será classificado de acordo com a EN 1097-8
Resistência ao esmagamento	Será classificado de acordo com a NP 1039

4.1.4. Propriedades Térmicas e Químicas

Quanto a determinação das as características térmicas e química, quando requerido, devem ser feitos os ensaios apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Ensaios das propriedades térmicas e químicas dos agregados.
Fonte: NP EN 12620 [46].

Ensaio	Descrição
Determinação da retração por secagem	Quando o concreto apresentar fissuração por retração imputável às propriedades dos agregados usados, a retração por secagem dos agregados para um concreto estrutural não deve, quando requerido, exceder 0,075% quando o ensaio é feito de acordo com a EN 1367-4.
Resistência ao choque térmico e Ensaio de Sonnenbrand	Determinados de acordo com a EN 1367-5
Determinação da resistência ao gelo / degelo	Quando for requerido o uso de agregados resistentes ao gelo em concretos a empregar em ambientes sujeitos a ciclos gelo-degelo, a resistência ao gelo determinada de acordo com a EN 1367-1 ou EN 1367-2
Reação álcali - sílica	Será avaliada de acordo com a regulamentação em vigor do local de utilização e os resultados serão declarados, encontra-se na EN 1367-4 (LNEC E 461).
Determinação de cloretos solúveis em água utilizando o método de Volhard	O teor de íons cloro solúveis em água dos agregados para o concreto será determinado de acordo com a seção 7 da EN 1744-1
Determinação do teor de sulfatos solúveis em água.	Determinado na seção 10 da 1744-1
Determinação do teor total de enxofre	Quando requerido, o teor total de enxofre (S) dos agregados e dos fíleres, determinado de acordo com a secção 11 da EN 1744-1, não deve exceder: a) 2% S em massa para as escórias de alto-forno arrefecidas por ar; b) 1% S em massa para os agregados com exclusão das escórias de alto-forno arrefecidas por ar.
Determinação do teor de sulfatos solúveis em ácido	O teor de sulfatos solúveis em ácido dos agregados e dos fíleres que fazem parte da composição do concreto, determinado de acordo com a seção 12 da EN 1744-1
Determinação do teor de sulfuretos solúveis em ácido	O teor de sulfuretos solúveis em ácido é determinado na seção 13 da EN 1744-1
Exame da presença de partículas reativas de sulfureto de ferro	Devem ser tomadas precauções especiais quando no agregado se verificar a existência de pirrotite (forma instável do sulfureto de ferro FeS). Se a presença deste mineral for confirmada, o teor total máximo de enxofre (S) deverá ser reduzido para 0,1% feito de acordo com a EN 1744-1 na seção 14.1
Determinação dos contaminantes leves.	Determinados de acordo com a EN 1744-1 na seção 14.2
Determinação do teor de húmus	Determinados de acordo com a EN 1744-1 na seção 15.1
Determinação dos contaminantes orgânicos pelo método da argamassa	Determinados de acordo com a EN 1744-1 na seção 15.3
Determinação da solubilidade na água	Determinada de acordo com a EN 1744-1 na seção 16
Determinação da perda ao fogo	Determinada de acordo com a EN 1744-1 na seção 17
Reatividade potencial com os sulfatos em presença do hidróxido de cálcio	Determinada de acordo com a LNEC E 251

4.1.5. Classes de agregados reciclados

No Brasil, a NBR 15116 [47], permite o emprego de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição, em pavimentos e preparação de concreto sem função

estrutural, nas classes mínimas de resistência à compressão C10 e C15 (que corresponde uma resistência característica do concreto à compressão de $f_{ck} = 10$ MPa e de $f_{ck} = 15$ Mpa, respectivamente).

A resolução brasileira nº 307 do CONAMA [48], classifica os resíduos de construção e demolição (fração mineral) e os resíduos de concreto como sendo da Classe A, significando, portanto, que são passíveis de serem reutilizáveis ou recicláveis como agregados. Também classifica os agregados reciclados em dois tipos:

- RCA (agregado reciclado de concreto) – agregados reciclados obtidos do beneficiamento de resíduos da Classe A, constituídos de uma fração gráuda mínima de 90%, em massa, de fragmentos compostos por cimento Portland e rochas;
- MRA (agregado reciclado misturado) – agregados reciclados obtidos do beneficiamento de resíduos da Classe A, constituídos de uma fração gráuda, em massa, inferior a 90% de fragmentos compostos por cimento Portland e rochas.

Para o preparo de concreto reciclado sem função estrutural, deve ser realizada a pré-saturação do agregado reciclado, considerando-se valores próximos a 80% da absorção total do agregado. As principais exigências, para os agregados reciclados destinados a produção de concreto sem função estrutural, estão apresentadas na Tabela 11.

No estudo de Tomosawa e Noguchi (2000) [49], é proposta uma classificação para os agregados reciclados de concreto, bem como possíveis aplicações para esses materiais. Essa classificação baseia-se na absorção dos agregados reciclados. Geralmente, valores elevados de absorção indicam grande quantidade de argamassa aderida, que conduzem a uma diminuição da resistência e durabilidade, aumento das deformações e retração do concreto. Na Tabela 12, são enumerados alguns pontos fundamentais dessa classificação.

Tabela 11. Exigências para os agregados reciclados destinados a produção de concreto não-estrutural.
Fonte: NBR 15116 [47].

Propriedades	Agregado Reciclado - Classe A				Normas	
	RCA		MRA		Agregado graúdo	Agregado miúdo
	Miúdo	Graúdo	Miúdo	Graúdo		
Proporção de fragmentos compostos por cimentos e rochas	-	≥90%	-	≥90%	-	Anexo B da NBR 15116
Absorção (%)	≤12%	≤7%	≤17%	≤12%	NBR NM 30	NBR NM 53
Contaminantes (proporção máxima em relação a massa de agregado reciclado)	Cloretos		≤1%		NBR 9917	
	Sulfatos		≤1%		NBR 9917	
	Materiais não-minerais*		≤2%		Anexo A da NBR 15116	Anexo B da NBR 15116
	Partículas de argila		≤2%		NBR 7218	
	Máxima proporção de contaminantes		≤3%		-	
Materiais passando na peneira 0,075 mm	≤15%	≤10%	≤20%	≤10%	NBR NM 46	

Tabela 12. Classe dos agregados reciclados de concreto e campos de aplicação.
Fonte: Tomosawa e Noguchi (2000) [49].

Classe dos agregados reciclados	Agregado Graúdo	Agregado Miúdo	Resistência recomendada (Mpa)	Campos de aplicação
C1	Agregado reciclado tipo C1 - Absorção ≤ 3,0%	Agregado miúdo natural	18 a 24	Concreto simples ou armado, paredes de contenção, infraestrutura de pontes, etc.
C2	Agregado reciclado tipo C2 - Absorção ≤ 5,0%	Natural ou reciclado - Absorção ≤ 5,0%	16 a 18	Concreto simples, unidades de alvenaria, bases de rodovias, dispositivos de drenagem, etc.
C3	Agregado reciclado tipo C3 - Absorção ≤ 7,0%	Ag. Miúdo reciclado - Absorção ≤ 10,0%	≤16	Radiers, enchimentos, nivelamento, etc.

5. BLOCOS DE CONCRETO PRÉ-FABRICADOS

5.1. Histórico

Os primeiros blocos vazados de concreto surgiram no EUA e na Inglaterra, a partir de meados da década de 1880, quando unidades maciças se tornaram impopulares na construção civil, por conta do seu peso excessivo. Tais blocos não eram fabricados com métodos industriais, mas sim moldados em fôrmas de madeira. Por volta de 1866, iniciaram os primeiros esforços para o desenvolvimento de técnicas de moldar blocos vazados. Antes do início do século XX, várias máquinas para fabricação de blocos foram desenvolvidas nos Estados Unidos da América. Estas máquinas não eram nada mais que uma caixa com as faces laterais, copos e paletes removíveis (Figura 2.a) [45].

A partir de meados da década de 1910, o adensamento manual foi substituído por processos mecânicos, melhorando a densidade, resistência e uniformidade dos blocos. De acordo com Salvador Filho (2007) [45], provavelmente o maior avanço no maquinário para fabricação de blocos tenha sido nesta época, com a introdução da primeira máquina “*strip-teaser*”, que permite a utilização de paletes que não precisam ser perfilados com as paredes dos moldes (Figura 2.b). Neste tipo de máquina, o bloco é retirado, automaticamente, por baixo do molde, exatamente igual às máquinas modernas.

O autor também relata que, nesta mesma época, foram concebidas as máquinas semiautomáticas com capacidade de produzir até 2000 blocos por dia, com o mesmo número de trabalhadores necessários para fazer cerca de 200 blocos com as máquinas antigas. Durante esse período, foram gradualmente unificadas as dimensões dos componentes, conduzindo à coordenação modular completa de hoje.

Na década de 1940, foi introduzida a vibro prensagem no processo de fabricação, promovendo melhoria na aparência do bloco, assim como na resistência. Estas máquinas podiam fazer 5000 blocos por dia. A partir de então, houve melhorias progressivas em produtividade e qualidade de produto, resultado, inicialmente, da introdução de controles automáticos para regular altura e densidade do bloco, e depois da automatização dos demais equipamentos para controlar matérias-primas, pesagem e mistura. Operações como alimentação da máquina, colocação dos paletes e retirada do bloco recém moldado puderam ser automatizadas nesse tipo de maquinário (Figura 2.c) [45].

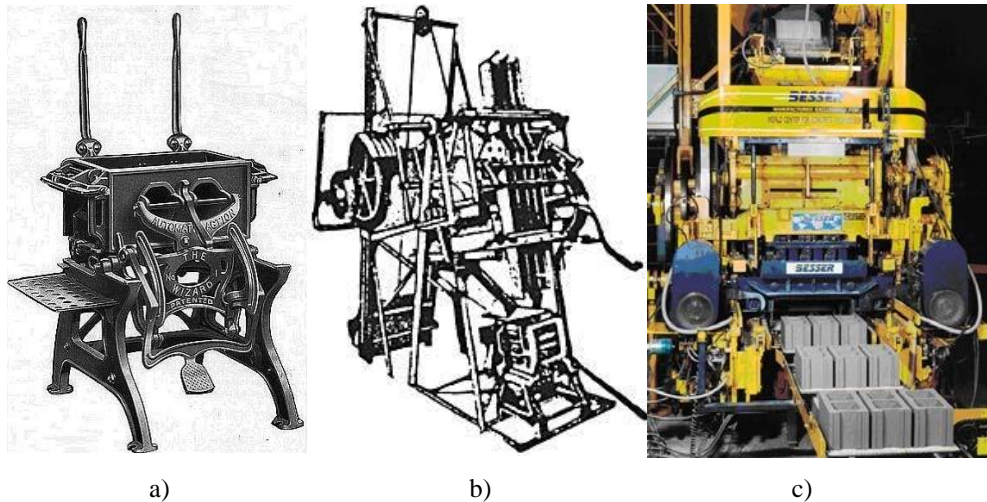


Figura 2. Máquina de blocos do século XIX a), do início do século XX b), e vibro-prensa moderna c).
Fonte: Salvador Filho (2007) [45]

Melhorias de produtividade foram promovidas pelo desenvolvimento de equipamentos automáticos, para remover blocos recém moldados da máquina, colocá-los em prateleiras ou diretamente nas câmaras de cura.

A partir de então, surgiram diversos esforços para a modernização e fabricação de blocos de concreto, assim como da sua utilização na alvenaria. Entretanto, os materiais utilizados, procedimentos de dosagem e o esquema do processo produtivo são ainda basicamente os mesmos.

5.2. Metodologias de dosagem

O concreto pode ser descrito como uma mistura de materiais em quantidades pré-fixadas, estes componentes são os aglomerantes, água e agregados graúdos e miúdos. Com esta união forma-se uma massa homogênea, com consistência plástica que endurece e ganha resistência com o tempo. Os aglomerantes são o cimento e a cal, já os agregados graúdos e miúdos, a brita e a areia, respectivamente.

A fabricação de blocos utiliza a dosagem de concreto com consistência seca para que estes, após o adensamento mediante compactação, possam ser desmoldados rapidamente, possibilitando a reutilização imediata do molde. A coesão deste concreto no estado fresco é muito importante, devido à sua consistência rija, o que impede que os blocos recém moldados sofram variações dimensionais, durante as operações de transporte após a fabricação, cura, etc. O concreto deve ser dosado cuidadosamente, e, sua consistência controlada, para obter as propriedades físicas desejadas, tais como textura, cor, regularidade dimensional, etc. [45].

Um dos primeiros passos para a dosagem dos concretos secos, é a composição ideal entre os agregados. Esse procedimento baseia-se na formulação de uma mistura, com uma busca por um menor volume de vazios, visando encontrar uma proporção entre agregados que resulte em uma mistura mais compacta, por ter relação direta com a resistência à compressão.

Nos próximos itens, serão descritas metodologias de dosagem de concreto da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e do American Concrete Institute (ACI).

5.2.1. Método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) [50]

O método sugerido pela ABCP (2000), baseia-se na determinação de proporções entre areia e brita, que resultem na máxima compactidade da mistura e, conseqüentemente, na maior resistência. O método consiste na comparação de massas que cabem em um recipiente padronizado e de volume conhecido.

A quantidade de água utilizada na mistura é determinada na moldagem de blocos com diferentes teores de umidade. Faria (2001) [51], comenta que a quantidade ideal de água para a moldagem de blocos em vibro-prensas, é um pouco inferior à quantidade que proporciona maior compactação do bloco. Com o teor ideal de água na mistura, é possível observar pequenos veios de pasta de cimento na lateral do bloco.

A quantidade de cimento utilizada na mistura, também é determinada moldando-se blocos com diferentes traços, até se conseguir alcançar o desempenho mecânico esperado nos blocos.

Este método é bastante interessante para a dosagem de concreto com consistência rija, pois considera o agrupamento dos agregados. Além disso, por determinar o fator água/aglomerante (a/agl) e o traço a partir da fabricação dos blocos, leva em consideração as propriedades dos materiais utilizados (tais como forma, empacotamento, granulometria), assim como dos equipamentos utilizados, pois as diferentes vibro-prensas possuem diferentes frequências e amplitudes de vibração, que influenciam diretamente o produto final [45].

A quantidade de água necessária para a moldagem pode ser determinada variando-se a umidade e pesando-se o bloco após a moldagem. A quantidade ótima será a que propiciar o bloco com maior compactidade e melhor aparência [52].

5.2.2. Método do American Concrete Institute (ACI) [53]

O American Concrete Institute, sugere um método de dosagem para concretos de consistência extremamente rija a concretos fluidos - ACI 211.3-75. Neste método, baseado em ábacos de dosagem, a quantidade de água utilizada na mistura é determinada em função do tipo de trabalhabilidade desejada, de acordo com diversos ensaios, tais como de abatimento pelo tronco de cone, VêBê, mesa de abatimento, etc. A água necessária para as misturas é determinada em função da dimensão máxima do agregado graúdo, e a quantidade de cimento a ser utilizada nas dosagens depende da resistência desejada [45].

5.3. Fabricação dos blocos

Os blocos de concreto podem ser classificados a partir de diferentes parâmetros, nomeadamente quanto ao material (concreto convencional ou concreto leve), quanto às dimensões, quanto à furacão vertical e horizontal e quanto à classe de resistência [54].

O concreto utilizado na produção de blocos apresenta, portanto, uma consistência bastante seca (levemente umedecido) e não plástica, como os convencionalmente utilizados nas estruturas de concreto armado. De acordo com Tango (1994) [55], no concreto convencional a pasta (cimento mais água) ocupa praticamente todos os espaços deixados pelos agregados, enquanto que no concreto para blocos, existe quantidade apreciável de ar num volume significativo na mistura. Isto significa que, o fator água/cimento, não tem a mesma relação do que o apresentado para concreto estrutural convencional, que regula a sua resistência.

De acordo com a ABCP (2000) [50], a umidade da mistura deve estar entre 5% a 8% para que as unidades não se desagreguem na altura de desmoldar. A vibração e compactação do concreto no molde assumem-se como variáveis fundamentais para o controle da forma, densidade e particularmente na resistência à compressão dos blocos. Se a vibração não for adequada, existem diferenças significativas em termos de densidade, que traduz a textura das unidades de concreto.

Já a resistência dos blocos é proporcional à energia de compactação utilizada na vibração, sendo a eficiência da vibração a responsável direta pela qualidade final das unidades produzidas. Sendo assim, a qualidade do maquinário e a do processo produtivo, são fundamentais para o alcance da resistência e da qualidade desejada [56]. A quantidade

de cimento é reduzida ao mínimo que assegure uma adequada resistência e minimize o custo, e também está intimamente ligada à eficiência da vibração, sendo que os equipamentos mais eficientes exigem menores teores de cimento, considerando-se uma mesma dosagem e materiais.

A cura é também um dos processos chave na produção de blocos de concreto. De acordo com Nakamura (2005) [57], o método mais indicado é o da cura a vapor, que reduz a possibilidade de surgimento de fissuras de retração por secagem. Se a cura for somente úmida, os blocos só poderão ser utilizados 28 dias após a sua produção. Existe ainda o processo de cura em autoclave sob uma alta pressão, que possibilita que o processo de cura ocorra entre 4 a 12 horas.

A produção em série de blocos de concreto, contribuiu de forma considerável para a diminuição dos seus custos e melhoria da qualidade. Em suma, o processo de fabricação dos blocos envolve a moldagem de concreto de consistência rija em moldes com as dimensões pré-estabelecidas do bloco, compactados e vibrados por máquinas automáticas, depois levados para cura e armazenagem até o momento da entrega. Em muitas fábricas de blocos, algumas das fases do processo de produção são totalmente automatizadas.

5.4. Requisitos dos blocos

Os blocos de concreto são as unidades de alvenaria mais utilizadas no Brasil e nos Estados Unidos. A preferência pelo bloco de concreto está relacionada com a sua precisão dimensional, diversidade de peças que possibilitam a adequação de passagens de instalações elétricas e hidráulicas na obra, possibilidade de dosagem racional para obtenção de resistências especificadas em projeto, e compatibilidade bloco-argamassa [55].

A norma brasileira NBR 6136 [58], utilizada para blocos vazados de concreto simples para alvenaria, estabelece alguns requisitos para a confecção e utilização dos blocos. Os mesmos devem ser fabricados e curados, por processos que assegurem a obtenção de um concreto suficientemente homogêneo e compacto. Os lotes devem ser identificados pelo fabricante segundo sua procedência, e transportados preferencialmente cubados ou paletizados, para não terem sua qualidade prejudicada.

De acordo com a norma brasileira, os blocos são divididos em três classes, onde existem valores mínimos estabelecidos para resistência característica, absorção média, e retração para cada classe, estando apresentados na Tabela 13.

Há também requisitos mínimos, para as dimensões e espessuras dos blocos, encontrados nas tabelas 1 e 2 da norma. As menores dimensões dos furos variam de acordo com a classe estabelecida para o concreto, assim como o tamanho da amostra a ser avaliada para a quantidade de blocos.

Os ensaios para executar aos blocos, conforme a NBR 12118 [59], são:

- Resistência à compressão;
- Análise dimensional, absorção de água e área líquida;
- Retração linear por secagem.

Tabela 13. Classes para blocos de concreto.
Fonte: NBR 6136 [58].

Classe	Resistência Característica f_{bk} MPa	Absorção Média %				Retração %
		Agregado normal		Agregado leve		
		Individual	Media	Individual	Media	
A - Com função estrutural para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do solo	≥ 8	$\leq 9\%$	$\leq 8\%$			
B - Com função estrutural para uso em elementos de alvenaria acima do solo	$4 \leq f_{bk} \leq 8$	$\leq 10\%$	$\leq 9\%$	$\leq 16\%$	$\leq 13\%$	$\leq 0,065\%$
C - Com ou sem função estrutural para uso em elementos de alvenaria acima do solo	≥ 3	$\leq 11\%$	$\leq 10\%$			

Já em Portugal, utiliza-se a norma europeia EN 771-3 [60] utilizada para blocos de concreto para alvenaria. Esta norma apresenta alguns critérios para os blocos, descritos nos tópicos abaixo.

5.4.1. Dimensões dos blocos

Para definição de critérios de seleção de blocos, é tomado por base a recomendação estabelecida pela EN 771-3 [60], a qual indica que os blocos deverão apresentar reentrâncias ou dispositivos de encaixe nas juntas. A espessura mínima dos septos interiores e exteriores na face de apoio, não deve ser inferior a 20 mm, ou a 1,5 vezes a máxima dimensão do agregado. Este documento fixa ainda exigências para as

arestas e para a ortogonalidade das faces e a sua regularidade plana, admitindo dois tipos de tolerâncias para as dimensões exteriores, apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14. Tolerância das dimensões exteriores.
Fonte: EN 771-3 [60].

Tipo de tolerância	Dimensão resultante da superfície do molde	Dimensão resultante do molde
Normal	4 mm	5 mm
Fina	2 mm	3 mm

A norma europeia EN 772-16 [61], define o procedimento a utilizar na definição das dimensões dos blocos, bem como o número mínimo de blocos em cada amostra e a apresentação de valores a efetuar.

5.4.2. Porcentagem de furação dos blocos

A norma europeia refere-se ainda a seguinte classificação dos blocos, em função da porcentagem de furação:

- Blocos maciços ou equivalentes – furação vertical limitada a 25%;
- Blocos perfurados – furação vertical entre 25% e 50%;
- Blocos vazados – furação vertical superior a 50%;
- Blocos furados horizontalmente – furação horizontal não superior a 50%.

Também o Eurocódigo 6 [62], estabelece uma classificação dos blocos através de grupos em função da furação, apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Porcentagem de furação.
Fonte: Eurocódigo 6 [62].

Grupo	Porcentagem de furação
1	≤25%
2a	>25% e ≤50%
2b	>50% e ≤60%
3	≤70%

5.4.3. Massa volúmica dos blocos

A obtenção da massa volúmica é feita através do quociente entre a massa do bloco e o volume de concreto que o compõe. A norma europeia EN 772-13 [63], descreve métodos de determinação da densidade em blocos para alvenarias.

De acordo com Oliveira (1995) [64], os blocos de concreto normal deverão possuir uma massa volúmica de 2200 kg/m³ a 2500 kg/m³ e os blocos de concreto leve uma massa volúmica de 400 kg/m³ a 1800 kg/m³.

Smith e Andres (1989) [65] afirmam que os blocos de concreto normal possuem uma densidade maior ou igual a 2000 kg/m³, enquanto os blocos de concreto leve possuem uma densidade inferior a 1680 kg/m³. Os blocos com densidade intermédia são designados por blocos de concreto de média densidade.

5.4.4. Absorção de água por imersão e por capilaridade

A absorção máxima de água por imersão dos blocos é função da massa específica seca do concreto constituinte e a sua apresentação pode ser feita em percentagem ou em massa por volume, desde que seja conhecido o volume dos respectivos blocos. Para determinação da absorção de água por imersão dos blocos é seguida a norma europeia EN 772-8 [66].

De acordo com Smith e Andres (1989) [65], os blocos de concreto normal apresentam uma capacidade de absorção entre 112 kg/m³ e 160 kg/m³.

Já a absorção de água por capilaridade dos blocos, serve de indicador da umidade possível de ser absorvida, quer pelos elementos, quer pela própria parede, para além de permitir estudar o comportamento da ligação, nomeadamente a aderência, entre a argamassa e os blocos. Esta característica, usada também no estudo de concretos com outras finalidades, depende da porosidade do bloco e está, por isso mesmo, associada ao conceito de massa volúmica. Para determinação da absorção de água por capilaridade dos blocos, segue-se a norma europeia EN 772-11 [67].

Oliveira (1995) [64], considera que uma aderência entre os blocos e a argamassa é razoável para valores de absorção de água por capilaridade entre 0,5 kg/m².min e 1,5 kg/m².min e é boa para valores entre 0,8 kg/m².min e 1,2 kg/m².min.

5.4.5. Resistência à compressão dos blocos

Para determinação da resistência à compressão dos blocos, segue-se a norma europeia EN 772-1 [68]. Este documento especifica que a determinação da resistência à compressão da amostra seja feita em dez blocos desde que a variação de resultados seja inferior a 15 %. Caso esta condição não se verifique, podem considerar-se um número de blocos inferior, mas nunca menos de seis blocos, sob pena de se anular a amostra [69].

Para o calcular os valores médios de cada amostra da tensão de rotura, é efetuado o quociente entre a carga de compressão e a área de bloco carregada, determinada para cada bloco a partir das suas dimensões. De acordo com a norma, os valores obtidos deverão ser retificados através do fator de forma, a fim de obter a resistência normalizada por amostra.

A resistência à compressão é um valor declarado pelo fabricante, não havendo valores estabelecidos pela norma. Em fichas técnicas de várias empresas portuguesas, os valores são superiores a 2 MPa (para concreto leve) e a 3,5 MPa (para concreto normal), variando pela forma de compactação utilizada, geometria dos agregados, e se possui função estrutural ou não.

5.4.6. Trabalhabilidade do concreto

De acordo com Coutinho (1988) [70], a trabalhabilidade é a maior ou menor facilidade com que um concreto é transportado, colocado, adensado e acabado e a maior ou menor facilidade com que se desagrega ou segrega durante estas operações.

Essa característica pode ser determinada indiretamente através de quatro ensaios de consistência (ensaio de abaixamento pelo cone de Abrams, ensaio de espalhamento, ensaio VêBê e ensaio de Compactabilidade), classificando cada concreto com uma determinada Classe de Consistência. Cada ensaio é mais ou menos adequado a cada concreto, consoante este é mais fluido, seco ou de consistência plástica.

Conforme a NP EN 12350-2 [71], procura-se verificar a influência da quantidade de água da amassadura sobre consistência do concreto. Por exemplo, no caso do ensaio de abaixamento, pode-se analisar se há um aumento do teor de umidade – ocorrência de um aumento brusco no abaixamento da massa moldada, ou se há uma variação inesperada na granulometria do agregado, como deficiência no teor de areia ou aumento do seu

módulo de finura – ocorrência de diminuição no abaixamento ou alteração no aspecto do cone [69].

O ensaio VêBê (adequado a concretos secos ou para pré-fabricação) mede o tempo de vibração necessário para compactar o molde obtido através do cone de Abrams, até que se verifique a saída de todo o ar existente entre um disco transparente de 24 cm de diâmetro e 20 cm de altura, colocado de forma envolvente e centrado com o cone, e o concreto. Este tempo de vibração, em segundos, mede a trabalhabilidade, expressa em número de graus VêBê [69].

Em seu estudo, Coutinho (1988) [70] apresenta a Tabela 16, onde se classifica a trabalhabilidade do concreto e a indicação dos meios de compactação correspondentes.

Tabela 16. Tipos de trabalhabilidade e meios de compactação.
Fonte: Coutinho (1988) [70].

Trabalhabilidade	Meios de compactação que se pode empregar	Métodos de medição da trabalhabilidade	
		Abaixamento - cone de Abrams (mm)	Grau VêBê
Terra úmida	Vibração potente e compressão (pré-fabricação)	-	>30
Seca	Vibração potente (pré-fabricação)	-	30 a 10
Plástica	Vibração normal	0 a 40	10 a 2
Mole	Apiloamento	40 a 150	-

De acordo com a NP EN 206 [72], apresentam-se na Tabela 17 as classes de consistência relativas aos ensaios de abaixamento e VêBê.

Tabela 17. Classes de Consistência
Fonte: NP EN 206 [72].

Classes de Consistência			
Classe	Abaixamento (mm)	Classe	Graus VêBê (s)
S1	10 a 40	V0	≥31
S2	50 a 90	V1	30 a 21
S3	100 a 150	V2	20 a 11
S4	≥160	V3	10 a 5
O abaixamento medido deve ser arredondado para os 10 mm mais próximos		V4	≤4

5.5. Blocos de concreto com agregados reciclados

Para tornar a indústria de construção sustentável, é necessário aplicar a ecologia industrial, e investigar a aplicação de resíduos e subprodutos com potencial aplicação, sobretudo no concreto, o material de construção mais usado no mundo [73].

Nos próximos itens, serão descritos procedimentos utilizados por diversos autores, que investigaram e confeccionaram blocos de concreto com agregados reciclados.

5.5.1. Procedimento utilizado por de Paula (2007) [74]

O autor analisou a viabilidade de confecção de blocos, com uso de agregados miúdos reciclados, para uso em alvenaria de vedação, com uma relação entre a quantidade cimento e agregado miúdo de 1:6. Os resultados indicaram, que, a substituição de 25%, 50%, 75% e 100% da areia natural por agregados miúdos reciclados, não afetou significativamente as propriedades mecânicas dos blocos, cujos valores de resistência à compressão foram de 3,67 MPa, 2,63 MPa, 2,44 MPa e 2,03 MPa, respectivamente.

Os ensaios mostraram que, de acordo com a quantidade de agregado reciclado adicionado, a resistência dos blocos diminui, sendo justificado pelo fato de que 35,5% da fração pétreo do entulho ser formado por material cerâmico e, por seu maior teor de material pulverulento. Salienta-se a dificuldade em estabelecer um valor limite para a relação água/cimento, que leve à máxima resistência, e para qual a consistência seja adequada para o processo de prensagem dos blocos. De acordo o autor, misturas de concretos com agregados reciclados necessitam de mais água que os concretos convencionais, em virtude da alta taxa de absorção apresentada pelo material reciclado.

5.5.2. Procedimento utilizado por Albuquerque (2005) [75]

O autor demonstrou que com uma relação entre o cimento e o agregado igual a 1:11, a substituição integral de areia natural por areia reciclada de RCD misto foi tecnicamente possível apenas para produzir blocos vazados (14×19×39 cm), com resistência média à compressão de 2,3 MPa. Conclui-se então, que o uso de agregados de RCD mistos em blocos de vedação, sem aumentar demasiadamente o consumo de cimento (o que implicaria maiores custos e impactos ambientais) e de acordo com a norma

vigente, é viável tecnicamente, substituindo parcialmente agregados naturais por reciclados mistos (< 50% da massa).

5.5.3. Procedimento utilizado por Souza, Bauer e Sposto (2002) [76]

Os autores investigaram a incorporação de agregados reciclados de RCD na produção de blocos de concreto. A definição dos parâmetros de mistura e avaliação das propriedades, foi realizado em provetes cilíndricos (10×20 cm), moldados em uma mesa vibratória, em condições de adensamento similares a da vibro-prensa utilizada na moldagem dos blocos de concreto. Posteriormente, para as séries que apresentaram os melhores resultados, foram produzidos blocos de concreto, sendo avaliadas as propriedades de massa específica, de absorção de água e de resistência à compressão. Como considerações finais, os autores citam a influência dos agregados reciclados nas propriedades dos blocos; para substituições de 30% a 50% de agregados reciclados (gráudo + miúdo), em relação à quantidade total de materiais, os resultados de resistência à compressão e absorção de água não estiveram em acordo com as recomendações normativas para blocos de vedação; já para a série com substituição de 40% do material natural por agregado gráudo reciclado, os resultados apresentaram-se dentro dos limites especificados.

Anteriormente, Souza (2001) [77] analisou a substituição do agregado natural por agregados de RCD de natureza mista (com presença de partículas cimentícias e de cerâmica vermelha) na confecção de blocos de vedação de concreto por vibro-prensagem manual. Em razão da porosidade do agregado reciclado, teores crescentes de substituição do agregado natural pelo reciclado acarretaram redução da massa específica fresca do concreto seco. Além disso, esse teor crescente causou um aumento da umidade ótima necessária para se compactar o concreto seco (traço 1:10 em massa), que variou de 5% a 9%. Os teores crescentes de substituição diminuíram a resistência à compressão, assim como o aumento da proporção de agregados, em relação ao cimento.

Através do uso de vibro-prensa, produziu-se corpos de prova cilíndricos (10×20 cm) de concretos secos com resistência média à compressão de até 13 MPa (ou blocos vazados (10×19×39 cm) com resistência média à compressão de até 2,6 MPa), substituindo agregados naturais por reciclados entre 30% e 50% da massa e proporção cimento:agregados igual a 1:10 (usual nas fábricas de blocos).

5.5.4. Procedimento utilizado por Mesquita (2015) [42]

A partir de um traço padrão, utilizado pela empresa de pré-moldados parceira, foram produzidos cinco novos traços em que se variou a relação entre os agregados naturais (areia artificial e areia lavada) e os agregados de RCD. Os traços foram dosados em massa e a água de amassamento foi acrescentada empiricamente, de forma a se obter uma consistência adequada para o processo de prensagem. Na Tabela 18, apresentam-se os seis traços de concreto ensaiados.

Tabela 18. Composição dos traços em massa (kg).
Fonte: Mesquita (2015) [42].

	Cimento	Água	Areia Artificial	Areia Lavada	RCD
Traço 1	20	25	180,8	172,8	84,2
Traço 2	20	22	90,4	172,8	168,4
Traço 3	20	22	90,4	86,4	252,6
Traço 4	20	18	-	86,4	336,8
Traço 5	20	16	-	-	421
Traço 6	20	25	271,2	172,8	-

Os blocos de vedação em concreto, tinham as seguintes dimensões: 14×19×36 cm, de acordo com a NBR 6136 [58]. Os materiais de cada um dos seis diferentes traços de concreto, cinco com agregado de RCD e um padrão, foram misturados em um misturador e prensados em uma vibro-prensa semiautomática.

A cura dos blocos, para os seis traços de concreto ocorreu ao ar livre, com proteção contra o vento e a chuva, e com irrigações periódicas de suas superfícies nas primeiras 24 horas. Posteriormente, os blocos foram deixados em um pátio externo da empresa por 14 dias, para a conclusão do processo.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado em conformidade com a NBR 12118 [59]. Os valores de resistência característica, se mostraram superiores ao mínimo definido na NBR 6136 [58], para a classe D ($\geq 2,0$ MPa). Valores menores de resistência à compressão eram esperados, para os blocos produzidos com maiores percentuais de agregados de RCD. Entretanto, devido a sua menor relação água/cimento (a/c), verificou-se maior resistência característica para estes blocos.

Na época da pesquisa do autor, a NBR 6136 ainda não havia sido atualizada, e por isso se classifica como classe D os concretos sem função estrutural. Atualmente, a mesma

é apresentada como na Tabela 13, sendo agora a classe C a correspondente para concretos sem função estrutural.

Assim, a resistência mecânica à compressão, aos 28 dias para os blocos produzidos com diferentes traços, apresentaram resistência característica superior a 2,0 MPa, apresentadas na Tabela 19, e absorção de água inferior a 16%, resultados em conformidade com o que estabelece a NBR 6136 [58].

Tabela 19. Resistência característica para cada traço.
Fonte: Mesquita (2015) [42].

Resistência (MPa)	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4	Traço 5	Traço 6
$F_{ck\ est}$	3,1	2,9	4,2	2,8	4,8	2,5
$f_{(c1)\Psi}$	2,9	2,9	3,6	2,8	4,3	2,5
F_{ck}	2,9	2,9	3,6	2,8	4,3	2,5

6. PROGRAMA EXPERIMENTAL E RESULTADOS

No programa experimental desenvolvido e a seguir apresentado, verifica-se a possibilidade de substituição de uma parte da matéria-prima dos blocos de concreto, fabricados na empresa Pavimir, pelos seus próprios resíduos de produção ou proveniente de elementos rejeitados pelo controle de qualidade, colaborando, assim, para aumentar o ciclo de vida de seus materiais e reduzir o impacto ambiental de sua produção.

A empresa Pavimir (Belmiro e Barreira, LTDA) localizada na cidade de Mirandela, no norte de Portugal, produz diversos produtos de pré-fabricados de concreto, que são amplamente aplicados na construção civil, em vigotas, abobadilhas, blocos furados, além de arranjos exteriores, saneamento, drenagem, entre outros (Figura 3).



Figura 3. Produtos de concreto produzidos pela Pavimir.
Fonte: Pavimir, 2019 [78].

Os blocos furados fabricados na empresa, objeto de estudo, são utilizados em alvenarias revestidas, não estruturais, de uso corrente em edifícios ou obras de construção civil. São adequados para paredes simples ou duplas, interiores ou exteriores, paredes divisórias ou de suporte. Suas características geométricas, mecânicas e físicas como espessuras, massa volúmica aparente seca, percentagem de furação, variam para cada modelo de bloco produzido e se encontram na ficha técnica nos Anexo C.

Os blocos são constituídos de concreto de massa volúmica normal, sem adição de aditivos na composição. Apresentam uma resistência à compressão média maior ou igual a 3,5 MPa, de acordo com a Norma Europeia NP EN 772-1 [67]. O cimento utilizado para confecção dos blocos é o Cimento Portland de Calcário CEM II/ A-L 42,5 R, cujas especificações se encontram no Anexo D.

Os agregados utilizados são a gravilha, a areia grossa e o pó de areia (Figura 4). A gravilha utilizada possui dimensão nominal d/D: 4/8, a areia: 0/4 e o pó: 0/6. Esses materiais são fornecidos pela Empresa Nordareias, e estão especificados na Tabela 20.



Figura 4. Agregados utilizados na confecção dos blocos.

Tabela 20. Especificações dos agregados.
Fonte: Nordareias (2019) [79].

		Gravilha 4/8	Areia 0/4	Pó de areia 0/6
Baridade (kg/m ³)		1250	1530	1614
Teor de finos (<i>f</i>)		<i>f</i> 4	<i>f</i> 10	<i>f</i> 3
Massa Volúmica (kg/m ³)	Material Impermeável	2650 ± 50	2680 ± 50	2680 ± 50
	Partículas secas em estufa	2659 ± 50	2640 ± 50	2610 ± 50
	Partículas saturadas	2620 ± 50	2650 ± 50	2630 ± 50
Absorção de água (%)		≤ 1	≤ 1	1,20 ± 0,20
Retração por secagem (%)		< 0,075	< 0,075	< 0,075

Em laboratório, foram feitas as análises granulométricas dos materiais, segundo a NP EN 933-1 [80], uma vez que a granulometria, que é a distribuição das partículas de um dado agregado segundo as suas dimensões, possui muita influência nas propriedades do concreto, como a compacidade e a trabalhabilidade.

As curvas granulométricas da gravilha, areia e pó de areia estão apresentadas, respectivamente, nos gráficos apresentados nas Figuras 5, 6 e 7.

O Módulo de Finura (MF) do material foi calculado para a areia 0/4 e para o pó de areia 0/6, segundo a NP EN 12620 [46], e apresentaram-se $MF = 3,45$ e $MF = 4,14$ respectivamente, classificando-as como areias grossas.

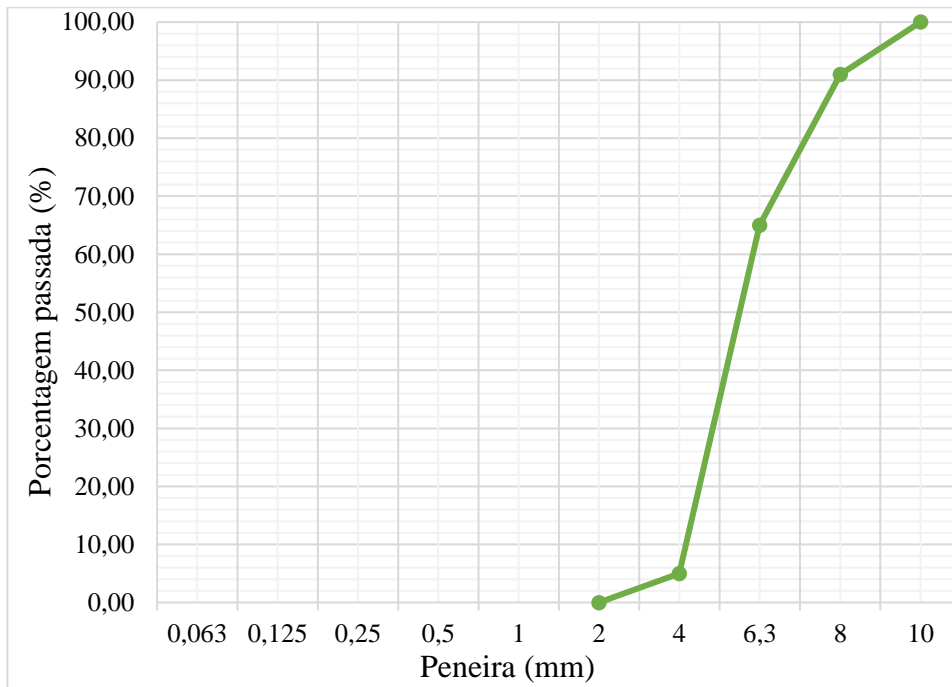


Figura 5. Curva Granulométrica da Gravilha 4/8.

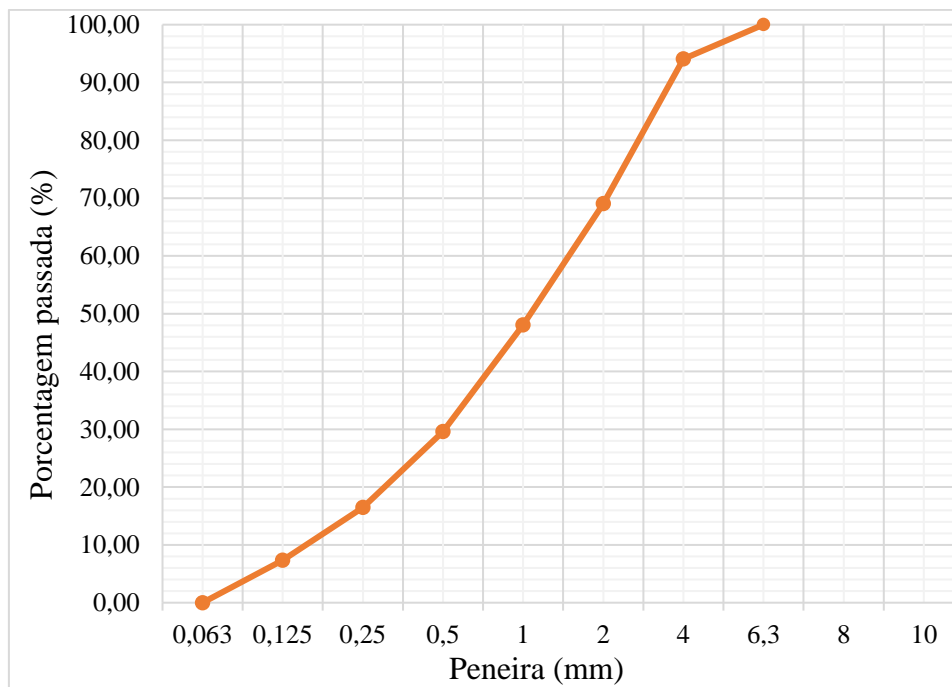


Figura 6. Curva Granulométrica da Areia 0/4.

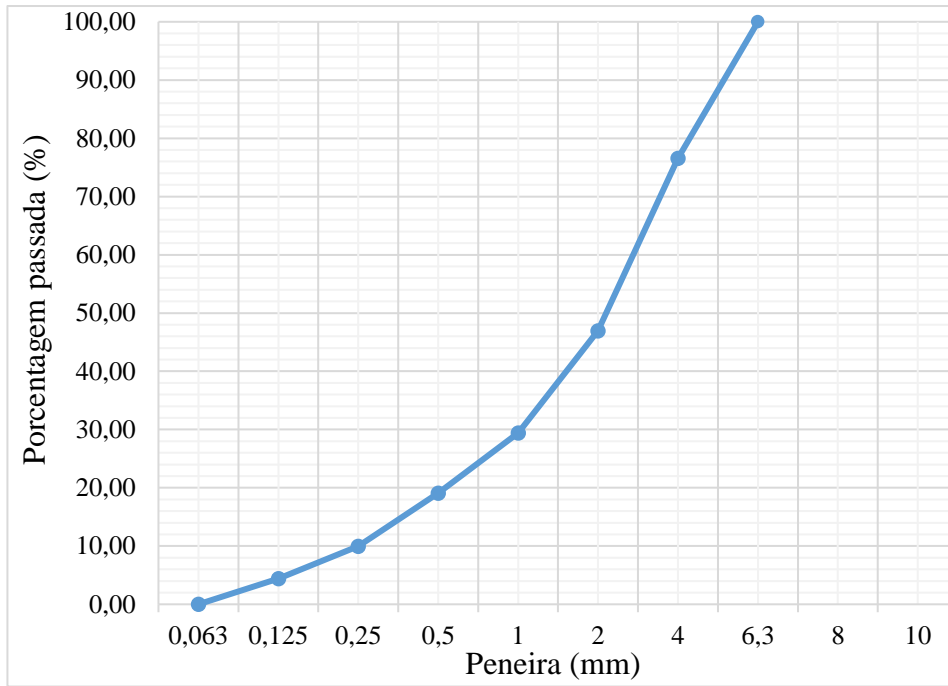


Figura 7. Curva Granulométrica do Pó de Areia.

A produção dos blocos em fábrica é feita através de compactação pesada e com equipamento automático (Figura 8.a). A compactação, como visto anteriormente, influencia na resistência dos blocos produzidos, e a automatização dos processos, na qualidade do produto final. Após a confecção os blocos, estes são armazenados em pilhas agrupadas no exterior da fábrica (Figura 8.b).



a)



b)

Figura 8. Produção dos blocos de concreto a). Armazenamento dos blocos b).

6.1. Traço do concreto dos blocos da empresa

A composição do traço em massa (kg), utilizado para a confecção de 1 m³ de concreto para blocos de vedação, fornecidos pela empresa, é apresentada na Tabela 21.

Tabela 21. Traço padrão Pavimir em massa para confecção de 1 m³ de concreto.

	Cimento	Gravilha 4/8	Areia 0/4	Pó de areia
Traço Padrão	160 kg	839 kg	700 kg	70 kg

A quantidade de água, por não possuir um valor fixo, varia de 30 a 40 litros, de acordo com o aspecto visual que o concreto aparenta e conforme a umidade dos agregados, que ficam expostos às condições atmosféricas locais.

6.2. Definição do traço do concreto em laboratório

A principal característica do concreto seco é o reduzido teor de água, aspecto farelento e baixa coesão no estado fresco, necessitando de energia de compactação e vibração para a eliminação de vazios e o concreto assumir a forma desejada.

Os concretos secos prensados, como os dos blocos de concreto, são menos estudados em escala de laboratório que os concretos plásticos, porque suas características dependem do tipo de equipamento de prensagem utilizado [81]. A energia de prensagem dos equipamentos industriais não é facilmente reprodutível em laboratório.

Além disso, diferentemente de toda literatura e metodologias de dosagem encontradas para o concreto plástico, o concreto seco encontra barreiras técnicas para a aplicação de metodologias que otimizem sua dosagem, por possuir, em sua grande maioria, apenas formulações empíricas [82].

Devido ao número de variáveis envolvidas no estudo e da importância de cada uma delas, seria praticamente impossível a produção de blocos de concreto, visando avaliar a influência de todos esses parâmetros. O processo seria extremamente cansativo, oneroso e de difícil reprodução. Além disso, por se tratar de um processo industrial (produção de blocos), e que geralmente apresenta inúmeras fontes de variabilidade, ao serem confeccionados em laboratório os resultados e as análises provavelmente não seriam fiéis à realidade. Diante desse contexto, buscou-se correlacionar as propriedades do material do bloco com o emprego de provetes cúbicos.

6.2.1. Confeção dos provetes de concreto

Com as limitações apresentadas, foi necessário, primeiramente, definir o traço ideal para a confecção de um concreto em laboratório com características aproximadas ao do bloco produzido na empresa, através do uso de provetes cúbicos (10×10×10 cm). A escolha destes provetes cúbicos, menores que os habituais moldes normalizados de (15×15×15 cm), deve-se ao fato de serem mais fáceis de manusear, diminuir o consumo de materiais e possibilitarem a produção de uma maior quantidade de provetes. Além disso, a norma NP EN 12390-1 [83], que especifica os requisitos para a forma, dimensões e tolerâncias dos provetes de concreto e respectivos moldes, indica que a menor dimensão dos provetes deve ser igual ou superior a três vezes e meia ao valor da máxima dimensão do agregado do concreto ($D_{máx}$). Sendo no caso $D_{máx} = 8$ mm, as dimensões do molde de 10 cm cumprem os requisitos normativos.

Barbosa (2004) [84], relata que a correlação entre as propriedades mecânicas de blocos e provetes é dificultada, devido às diferentes formas geométricas de blocos e exemplares existentes, efeito de confinamento e o próprio processo de adensamento, que é função de cada máquina e dos tempos de produção pré-estabelecidos. O pesquisador produziu provetes cilíndricos de diferentes dimensões (5×10 cm; 10×20 cm e 15×30 cm) e blocos utilizando concreto de consistência plástica, em condições semelhantes de moldagem e adensamento; os resultados indicaram que não houve um fator fixo de correlação entre os provetes e os blocos.

Sendo assim, a presente pesquisa não terá como objetivo principal o estabelecimento de um fator de correlação fixo entre as propriedades dos blocos e provetes. Mas pretende buscar um intervalo de valores que permitam aferir, com razoável precisão, por meio dos provetes cúbicos, a composição do concreto dos blocos que são produzidos na fábrica. Além disso, a produção dos exemplares, sob uma determinada energia de compactação, permitirá uma comparação imediata das propriedades dos provetes com agregados reciclados como os fabricados com agregados naturais.

Estudos anteriormente apresentados foram adaptados para o desenvolvimento do presente programa experimental. Assim, para encontrar a composição ideal a ser utilizada, foram confeccionados 32 provetes cúbicos de concreto de 10×10×10 cm, mantendo-se o traço padrão utilizado pela empresa (Tabela 16), variando-se a quantidade de água (relação a/c) e o modo de compactação, entre compactação manual e mesa

vibratória. Segundo Frasson Junior [85], a mistura deve possuir uma coesão adequada, para que não ocorram problemas durante a desforma e transporte dos provetes.

A umidade da mistura influencia a prensagem, pois a água atua como plastificante dos aglomerados, facilitando o processo. Porém, em excesso, a água aumenta o grau de saturação da mistura reduzindo a efetividade da carga aplicada, pois parte da carga aplicada passa a aumentar a pressão da água nos poros e não a aumentar a tensão de contato entre as partículas [86]. A intenção destes ensaios, foi encontrar a relação a/c e uma pressão de compactação que alcançasse a melhor resistência à compressão, compactidade e aparência semelhante à dos blocos em estudo. Diferentemente do modo que são utilizados na empresa, todos os materiais foram secos em estufa, justamente para haver maior controle dessa relação.

Assim sendo, foram produzidos concretos no laboratório com quatro tipos de relação água/cimento, sendo elas: 0,25, 0,50, 0,75 e 1,00. Para cada relação, foram confeccionados oito provetes, que foram compactados manualmente com auxílio de um compactador com massa de $\pm 5,0$ kg, com uma série de 10 golpes divididos em três camadas de espessuras praticamente iguais, visando assegurar a regularidade, distribuição do material em camadas e manter o mesmo grau de energia de adensamento (Figura 9.a), assim como provetes vibrados em mesa vibratória, também em três camadas (Figura 9.b).

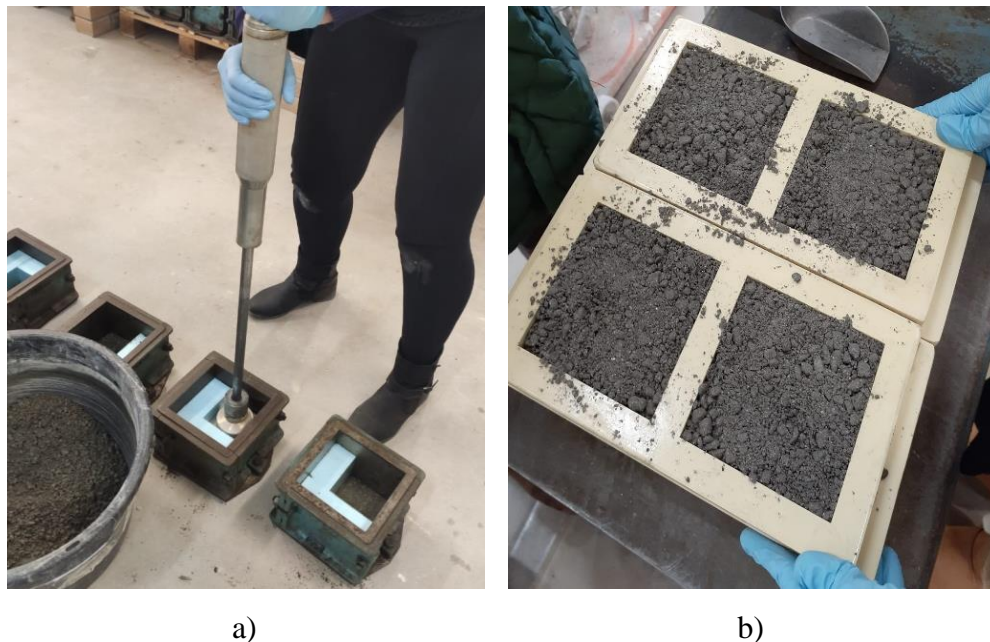


Figura 9. Confeção dos provetes: a) compactados manualmente, b) vibrados em mesa vibratória.

Os provetes foram curados em câmara úmida com 95% de umidade e temperatura de 20 ± 2 °C e ensaiados à compressão simples após 7 e 28 dias, em uma máquina de ensaio universal, em conformidade com os requisitos da NP EN 12390-3 [87]. Deve-se alcançar, como resistência à compressão mínima para 28 dias, um valor correspondente a $f_{ck, cube} = 10$ MPa, de acordo com a NP EN 206-1 [72], que trata sobre a especificação, desempenho, produção e conformidade do concreto.

A relação a/c que alcançou maior resistência à compressão foi a de 0,75 e a forma de compactação com melhor desempenho foi a compactação manual.

Depois de escolhida a compactação manual como melhor opção, foi modificada a energia de adensamento, variando-se o número de golpes por camada, para verificar se as propriedades físicas e a resistência à compactação se alteravam. Buttler (2007) [4] ensaiou provetes de concreto para blocos em laboratório utilizando como energia de adensamento 10, 15 e 20 golpes por camada em seus provetes, por meio de um compactador. O autor concluiu que haviam grandes diferenças no comportamento físico e mecânico do concreto entre 10 e 15 golpes, e pouca diferença entre 15 e 20, escolhendo 15 golpes como melhor opção. Tal como Buttler, para a presente pesquisa, a energia de adensamento de 15 golpes por camada se demonstrou eficiente na compactação do concreto, para a mesma relação a/c anteriormente definida, e não apresentou problemas para retirá-lo da forma, assim como a melhor resistência à compressão.

Deste modo, a composição do concreto definida neste trabalho como referência (C_{ref}), para confecção de um provete, assim como as resistências características à compressão encontradas ($f_{ck, cube}$) são apresentadas nas Tabelas 22 e 23. E os provetes confeccionados com essa composição na Figura 10.

Pode-se dizer que a energia de adensamento adotada, embora distante da utilizada nos métodos industriais para a produção dos blocos, promoveu uma boa compacidade da mistura.

Tabela 22. Composição dos provetes.

	Cimento	Gravilha 4/8	Areia 0/4	Pó de areia	Água
C_{ref}	0,160 kg	0,839 kg	0,700 kg	0,070 kg	0,134 L

Tabela 23. Resistência à compressão para o C_{ref} .

Tempo	Mesa Vibratória (MPa)	Compactado manualmente (10 golpes) (MPa)	Compactado manualmente (15 golpes) (MPa)
7 dias	4,38	8,05	9,74
	4,56	8,37	9,23
	3,88	8,46	10,04
	4,26	8,64	9,39
28 dias	5,88	10,22	13,07
	6,14	11,63	12,10
	5,97	12,89	11,94
	6,13	12,90	14,61

Figura 10. Exemplos de provetes C_{ref} .

Após a definição da composição em laboratório e dos ensaios de compressão dos provetes de C_{ref} , novos ensaios foram realizados com o propósito de verificar se o traço escolhido cumpria os demais requisitos, nomeadamente no estado fresco (determinação da Classe de Consistência e medição da umidade) e no estado endurecido (determinação da massa volúmica e absorção de água por imersão).

6.2.2. Caracterização do C_{ref} no estado fresco

Quanto a caracterização do C_{ref} no estado fresco, foram realizados os ensaios de consistência e umidade. Para determinação da classe de consistência do concreto, realizaram-se os ensaios de abaixamento (ou Slump Test) e o ensaio VêBê, em conformidade com as normas NP EN 12350-2 [71] e NP EN 12350-3 [88], respetivamente. A classificação da consistência correspondente a um ensaio VêBê é V0,

pois apresentou um Grau VêBê de 35 segundos, e abaixamento nulo no Slump Test, de acordo com a Tabela 17. Assim, é considerado como concreto terra-úmida (Figura 11).



Figura 11. Ensaio VêBê.

A umidade do C_{ref} foi determinada através da Equação (1), utilizando os valores encontrados para a massa da amostra úmida (m_u) e a massa da mesma amostra seca em estufa (m_s).

$$u = \frac{m_u - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad (1)$$

O resultado da média de dois ensaios de umidade, se apresentou com o valor de $u_{med} = 5,13\%$, o que, de acordo com Fernandes (2008) [89] e a ABCP (2000) [50], deve variar entre 5 e 8% para um concreto seco, estando dentro do intervalo proposto.

6.2.3. Caracterização do C_{ref} no estado endurecido

Para caracterização do C_{ref} no estado endurecido, foram realizados ensaios de massa volúmica seca e absorção de água.

O método de determinação da massa volúmica consta no Projecto de Norma Europeu EN 771-3 [60]. A obtenção da massa volúmica seca é feita através do quociente entre a massa do bloco e o volume de betão que o compõe. Essa determinação foi feita e,

após o período de 7 dias, a média de quatro provetes foi de 2289 kg/m³, cumprindo os valores requisitados apresentados anteriormente no tópico 5.4.3.

A absorção por imersão é o processo pelo qual a água é conduzida, e tende a ocupar, os poros permeáveis de um corpo sólido poroso, massa seca em estufa e a massa saturada com superfície seca segundo o procedimento da norma EN 772-8 [66].

Os provetes foram secos primeiramente em estufa à temperatura de 105 ± 5°C para determinar a massa seca da amostra (m_s), foram depois submersos em água durante 48 horas em temperatura constante. Decorrido esse tempo, foram retirados e procedeu-se à secagem, com toalha, da superfície de modo a se obter a massa saturada com superfície seca (m_{sat}).

Assim, a absorção de água por imersão do concreto C_{ref} em laboratório é dada pela Equação (2).

$$A_i = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad (2)$$

Aplicando os valores obtidos das massas na Equação (2), obtêm-se a absorção do concreto sendo $A_i = 4,56\%$.

O resultado encontrado está de acordo com o que foi apresentado anteriormente na Tabela 12, limitando a absorção do concreto normal sem função estrutural em um valor menor ou igual a 11%.

6.3. Os Resíduos produzidos pela Pavimir

Os resíduos usados neste trabalho provêm da fábrica Pavimir e englobam o material desperdiçado no processo de produção, especialmente de blocos, (Figura 12.a), bem como na transferência das peças (Figura 12.b). Outra parcela é constituída por materiais desperdiçados no transporte entre o fabrico e a armazenagem. Portanto, há uma grande parcela dos resíduos de concreto dentro e fora do local de fabricação dos produtos.



a)

b)

Figura 12. Resíduos de concreto: a) após a compactação, b) após a transferência das peças.

Por se tratar de uma fábrica de pré-fabricados de grande porte, e com o objetivo de englobar a maior parte dos artefatos comumente produzidos para o mercado consumidor (blocos de concreto, abobadilhas e vigotas pré-moldadas), os resíduos de concreto são coletados durante o processo de fabricação das peças e colocados posteriormente no exterior da fábrica (Figura 13), de onde foi retirada a amostragem usada nesta investigação. A parte dos resíduos que provém de produtos que não passaram no controle de qualidade, são primeiramente triturados e depois dispostos junto com os demais, no exterior da fábrica.

Assim, com base na informação obtida pela empresa foi constatado que os resíduos são oriundos de concretos que possuem elevado consumo de cimento e boa qualidade, pois apresentam uma percentagem de contaminantes inferior a 1% (apenas pequenas lascas de madeira).



Figura 13. Resíduos de concreto no exterior da fábrica.

6.3.1. Caracterização dos Resíduos da Empresa Pavimir

Os resíduos sólidos, de origem industrial ou comercial, podem ser facilmente caracterizados quantitativamente e qualitativamente. As matérias-primas, utilizadas nos processos sistemáticos que dão origem aos subprodutos, não são alteradas, e conduzem a resíduos com uma natureza muito estruturada e homogênea.

As amostras de resíduos usadas neste estudo foram retiradas do depósito existente no exterior da fábrica (Figura 13) e apresentam uma coloração cinza e partículas de várias dimensões (Figura 14). No entanto, como se deseja utilizar os resíduos como agregados, os mesmos devem obedecer aos requisitos para agregados de concreto, dispostos na norma portuguesa NP EN 12620 [46].



Figura 14. Porção de resíduo em estado bruto.

Os ensaios realizados na caracterização dos resíduos foram a análise granulométrica por peneiração, a determinação da baridade e da massa volúmica, a absorção de água, o volume de vazios e o ensaio do valor azul de metileno.

6.3.2. Análise granulométrica

Assim como para os agregados naturais da empresa, a análise granulométrica do resíduo foi realizada segundo a NP EN 933-1 [80].

O ensaio consiste na peneiração do material, por meio de um conjunto de peneiras, de diversas dimensões, posicionadas, de cima para baixo, por ordem decrescente, através do auxílio de uma máquina de vibração horizontal.

O material passado na peneira 0,063 mm (*filler*), foi retirado, conforme a normativa indica. Em seguida, o material foi seco em estufa até massa constante e procedeu-se ao ensaio. Como nenhuma outra alteração foi feita no material, ele foi denominado como Resíduo Bruto. O gráfico da análise granulométrica deste resíduo pode ser observado na Figura 15.

O Módulo de Finura (MF) e a dimensão do material foram calculados segundo a NP EN 12620 [46], resultando em um MF = 4,90, sendo classificado como uma areia grossa e uma dimensão 0/8.

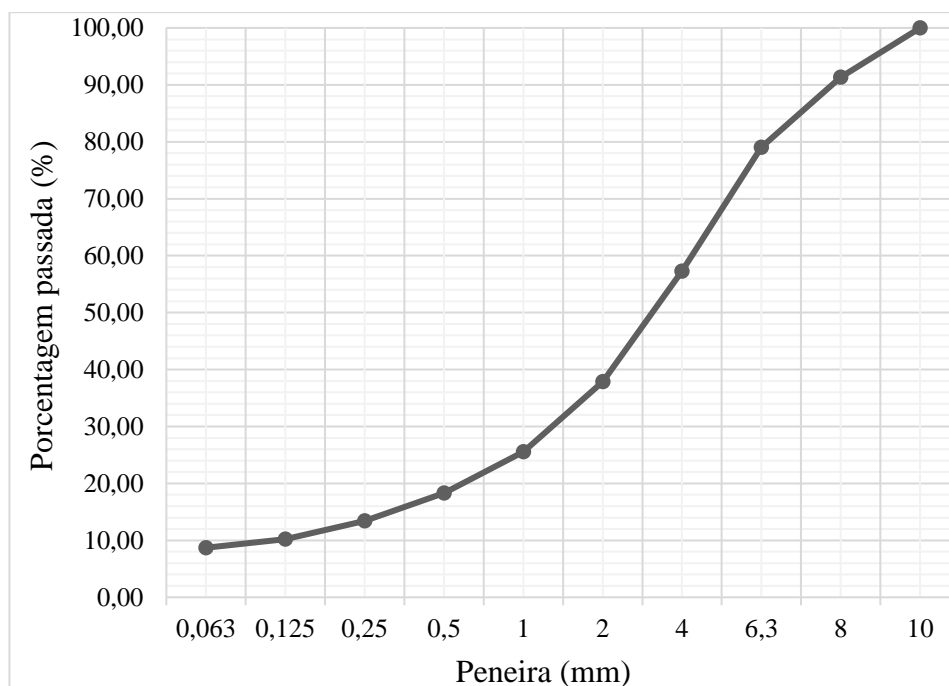


Figura 15. Curva Granulométrica do resíduo bruto.

Com a curva granulométrica do resíduo encontrada, fez-se uma sobreposição das curvas granulométricas dos outros agregados (Figura 16), verificando-se, assim, qual agregado possui maior semelhança com a granulometria do resíduo bruto.

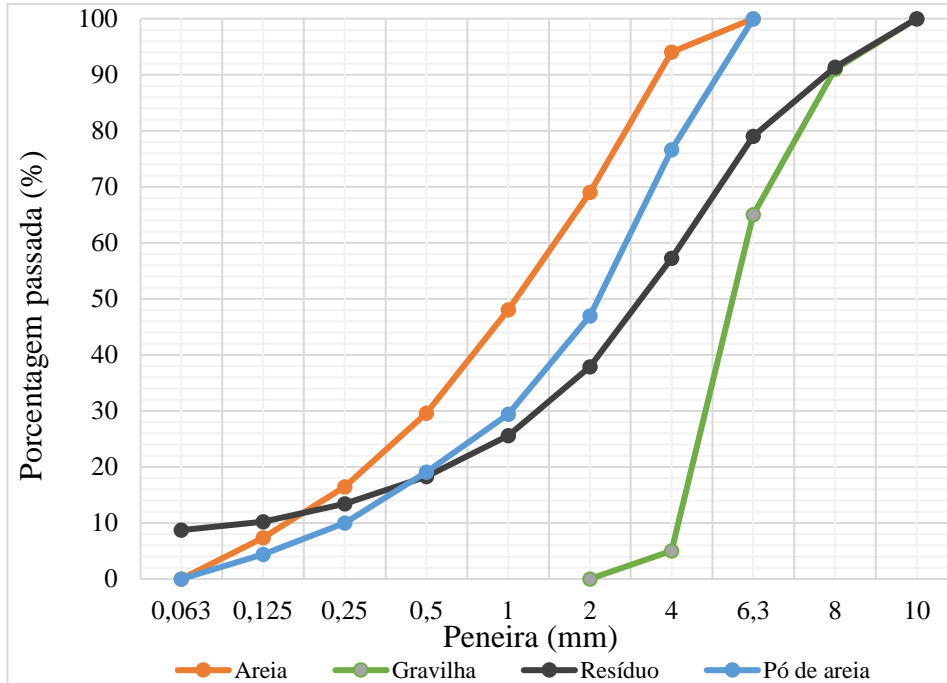


Figura 16. Sobreposição das Curvas Granulométricas.

A partir da análise do gráfico, nota-se que os agregados que mais possuem semelhança com o resíduo bruto são a areia e o pó de areia, mesmo com a dimensão do resíduo sendo maior que das demais, a partir da peneira de 4 mm a distribuição granulométrica é mais parecida. Quanto à substituição da gravilha, o resíduo não poderia ser utilizado pois as partículas graúdas do resíduo não apresentam conformidade em seus formatos, sendo indesejáveis para a fabricação de concreto.

Assim, como a quantidade de pó de areia utilizada para a fabricação do bloco é mínima, e não apresentaria grandes diferenças nos resultados dos ensaios, escolheu-se a areia para ser substituída pelo resíduo na composição do traço do bloco, para um melhor aproveitamento do material e melhor investigação do comportamento do concreto após essa alteração.

A fim de que o desempenho dessa substituição ocorresse com êxito, o resíduo recebeu um simples tratamento para coincidir um pouco mais com a granulometria da areia 0/4, sendo lavado e peneirado na peneira 0,063 mm para remover o excesso de finos, e peneirado na peneira 6,3 mm para assim utilizar apenas o que passou na peneira de 4

mm. A curva granulométrica do resíduo após a peneiração, denominado R0/4, está apresentada no gráfico da Figura 17.

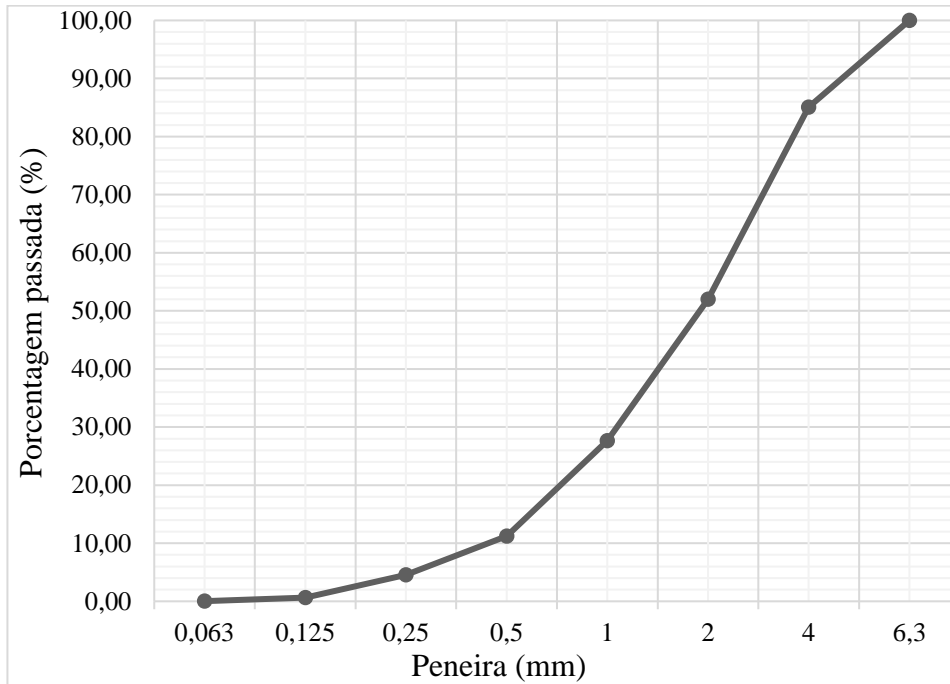


Figura 17. Curva Granulométrica R0/4.

Em uma nova sobreposição, comparando a curva do R0/4 apenas com a da areia, nota-se maior similaridade entre as mesmas (Figura 18).

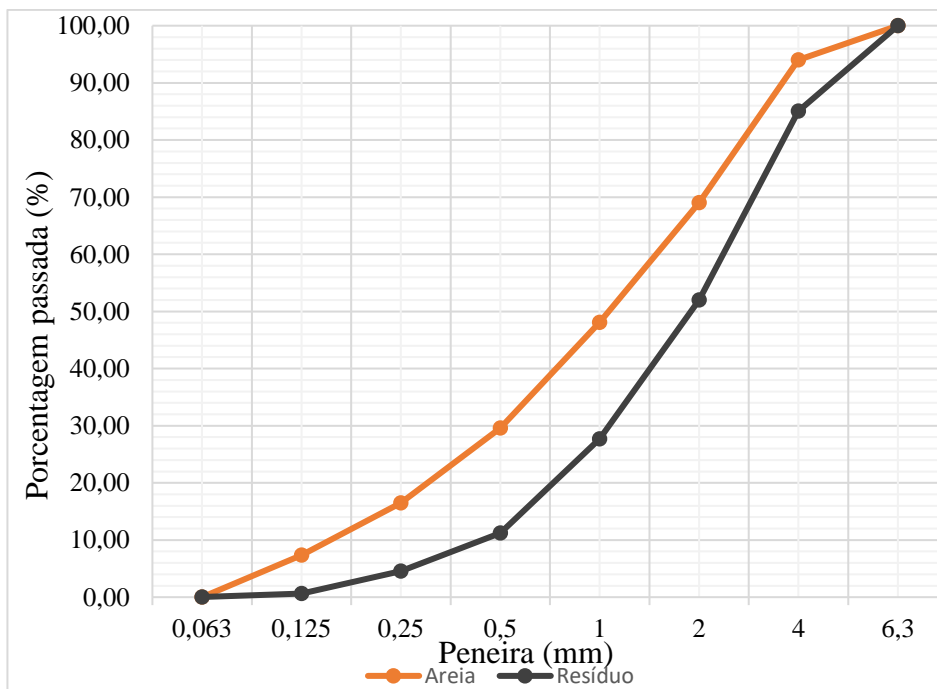


Figura 18. Sobreposição das Curvas Granulométrias (Areia e R0/4).

O R0/4 apresenta um MF = 4,19 sendo classificado como uma areia grossa, e dimensão 0/4.

Para encontrar a quantidade de finos dos resíduos que foram removidos pela lavagem (M) e sua porcentagem, subtraiu-se a massa total seca da amostra (M_1) da massa seca após a lavagem (M_2). E, para encontrar o teor de finos passantes na peneira com abertura 0,063 mm (f), utilizou-se a Equação (3). Os valores encontrados são apresentados na Tabela 24.

$$f = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \cdot 100 \quad (3)$$

Tabela 24. Teor de finos e sua porcentagem.

Massa seca total da amostra (M_1):	Massa seca após a lavagem (M_2):	Massa de finos removidos na lavagem (M):	Finos passantes pela peneira 0,063mm (f)
1622,5 g	1551,4 g	71,1 g	4,38%

A partir dos resultados, de acordo com a NP EN 12620 [46] é possível verificar que o resíduo se enquadra como f_{10} .

Verificando a Tabela 11, que trata das exigências para os agregados reciclados destinados a produção de concreto não-estrutural, o agregado reciclado em estudo se classifica dentro da Classe A, sendo um RCA. Assim, para agregado miúdo, a quantidade de finos deve ser menor ou igual a 15%, o qual está dentro do requisitado.

Portanto, a partir do ensaio da análise granulométrica, foi estabelecida a utilização do resíduo peneirado R0/4 para a substituição da areia na confecção do concreto, assim como para a realização dos demais ensaios, apresentados abaixo. Este resíduo tem a aparência de uma areia grossa acinzentada, sendo visualmente parecido com a areia natural (Figura 19).



Figura 19. Resíduo R0/4.

6.3.3. Baridade

A baridade, também conhecida como massa volúmica aparente de um agregado, é definida como a massa por unidade de volume do agregado contida num recipiente, isto é, o volume inclui os espaços entre as partículas do agregado e entre as partículas e o recipiente (é um volume "aparente" maior que o volume real que as partículas ocupam).

A metodologia de ensaio foi baseada no documento normativo NP EN 1097-3 [90].

Depois de seco em estufa até massa constante, o resíduo foi introduzido em um recipiente com volume (v) e massa (m_1) previamente conhecidos, sendo posteriormente pesado no recipiente (m_2). Pela Equação (4), determinou-se o valor da baridade (ρ_b).

$$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{v} \quad (4)$$

Sendo assim, o valor médio de três ensaios para a baridade do R0/4 e da areia 0/4, é apresentado na Tabela 25, juntamente com o valor da baridade da areia fornecida pela nordareias (areia 0/4 N), para fins de comparação.

Tabela 25. Baridade (ρ_b)

R0/4	1455,3 kg/m ³
Areia 0/4	1537 kg/m ³
Areia 0/4 N	1530 kg/m ³

É possível ver que a baridade do resíduo é inferior que a da areia, no entanto, de acordo com Coutinho (1999) [91], o agregado pode ser classificado conforme sua

baridade, demonstrado na Tabela 26. Analisando a tabela, os agregados, tanto o reciclado (R0/4), quanto o natural (areia), são classificados como agregados densos (normais).

Tabela 26. Classificação dos agregados.
Fonte: Coutinho (1999) [91].

Ultraleve	< 300 kg/m ³
Leve	300 a 1200 kg/m ³
Denso (normal)	1200 a 1700 kg/m ³
Extra Denso	> 1700 kg/m ³

6.3.4. Determinação da Massa volúmica, Absorção de água e Volume de vazios

Com o objetivo da realização do ensaio de determinação de massa volúmica e absorção de água é necessário primeiramente definir alguns termos:

- Massa volúmica do material impermeável das partículas (ρ_a): Relação entre a massa de uma amostra de agregado seca em estufa e o volume que esta amostra ocupa dentro de água incluindo quaisquer poros internos fechados, mas excluindo poros acessíveis à água;
- Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca (ρ_{ssd}): Relação entre a massa de uma amostra de agregado incluindo a massa de água alojada nos poros acessíveis à água e o volume que a amostra ocupa na água quer os poros acessíveis à água, quer os poros internos fechados;
- Massa volúmica das partículas secas (ρ_{rd}): Relação entre a massa de uma amostra de agregado seca em estufa e o volume das partículas incluindo o volume dos poros internos fechados e dos poros acessíveis à água; Absorção de água (WA_{24}): Aumento da massa de uma amostra de agregado seco em estufa devido à penetração de água nos poros acessíveis à água.

Para determinação da massa volúmica de areias, usa-se o método do picnômetro, que foi realizado segundo na norma portuguesa NP EN 1097-6 [92] (Figura 20).

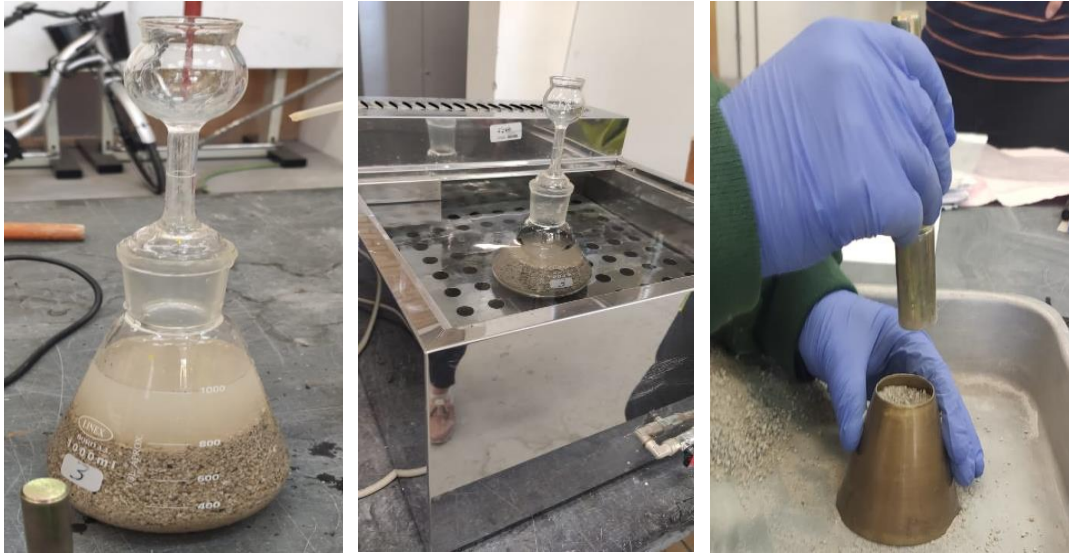


Figura 20. Ensaio massa volúmica e absorção de água.

Para determinação desses parâmetros são utilizadas as Equações (5-8). Os resultados, para o resíduo R0/4, para a areia 0/4 e para o valor fornecido para areia pela Nordareias (areia 0/4 N), estão apresentados na Tabela 27.

Massa volúmica do material impermeável das partículas (ρ_a), Equação (5):

$$\rho_a = \frac{M_4}{[M_4 - (M_2 - M_3)]} \cdot \rho_w \quad (5)$$

Massa volúmica do material das partículas secas em estufa (ρ_{rd}), Equação (6):

$$\rho_{rd} = \frac{M_4}{[M_1 - (M_2 - M_3)]} \cdot \rho_w \quad (6)$$

Massa volúmica do material das partículas saturadas com a superfície seca (ρ_{ssd}), Equação (7):

$$\rho_{ssd} = \frac{M_1}{[M_1 - (M_2 - M_3)]} \cdot \rho_w \quad (7)$$

Absorção de água durante 24 horas (WA_{24}), Equação (8):

$$WA_{24} = \frac{100 \cdot (M_1 - M_4)}{M_4} \quad (8)$$

Tabela 27. Massa volúmica e absorção de água do R0/4 e da Areia 0/4.

	ρ_a (kg/m ³)	ρ_{rd} (kg/m ³)	ρ_{ssd} (kg/m ³)	WA ₂₄
R0/4	2450	2250	2330	3,68%
Areia 0/4	2559	2554	2556	≤1,00%
Areia 0/4 N	2680 ± 50	2640 ± 50	2650 ± 50	≤1,00%

Percebe-se que os valores de massa volúmica dos agregados reciclados se apresentaram similares quando comparados com o agregado de referência (areia 0/4). A absorção de água do resíduo apresentou um valor ligeiramente superior. Isto era de se esperar, pois, de acordo com os estudos apresentados anteriormente, os agregados de resíduos de concreto absorvem mais água que os agregados naturais.

Segundo a NBR 15116 (2004) [47], apresentada na Tabela 11, os agregados miúdos reciclados podem ser utilizados para a produção de concreto não-estrutural, desde que a absorção seja inferior a 12%. Já segundo Tam *et al.* [86], para a produção de concreto simples, unidades de alvenaria e bases de rodovias, a absorção do agregado miúdo reciclado deve ser menor que 5%. Os agregados miúdos reciclados analisados cumpriram com ambos requisitos, o que não acarretará grandes diferenças na absorção de água do concreto.

Com os valores da Massa volúmica do material impermeável das partículas (ρ_a) e da Baridade (ρ_b), calculou-se o Volume de vazios (Vv) para o resíduo e para a areia (Tabela 28), que é determinado a partir da Equação (9).

Verifica-se através dos resultados que o Vv de ambos é muito semelhante, favorecendo a substituição no concreto.

$$v = \frac{\rho_a - \rho_b}{\rho_a} \cdot 100 \quad (9)$$

Tabela 28. Volume de vazios.

R0/4	40,60%
Areia 0/4	39,94%

6.3.5. Determinação do teor de finos: Azul de metileno

O corante denominado “azul de metileno” é o cloridrato de metiltiamina, de composição química $C_{16}H_{18}SN_3Cl \cdot 3H_2O$. Trata-se de um corante catiônico, que em solução aquosa, dissocia-se em ânions cloreto e cátions “azul de metileno”.

No ensaio da determinação do teor de finos mede-se a absorção de azul metileno pelas partículas mais finas do agregado, ou até de um solo, injetando doses do corante no material, que se encontra em rotação constante em um copo graduado. Da absorção resulta o envolvimento das partículas por uma camada monomolecular de azul de metileno, chamada de teste da mancha (Figura 21). Através desse ensaio, é possível determinar o teor dos finos de argila presentes no material. Utilizou-se como referência a norma portuguesa NP EN 933-9 (2002) [93].

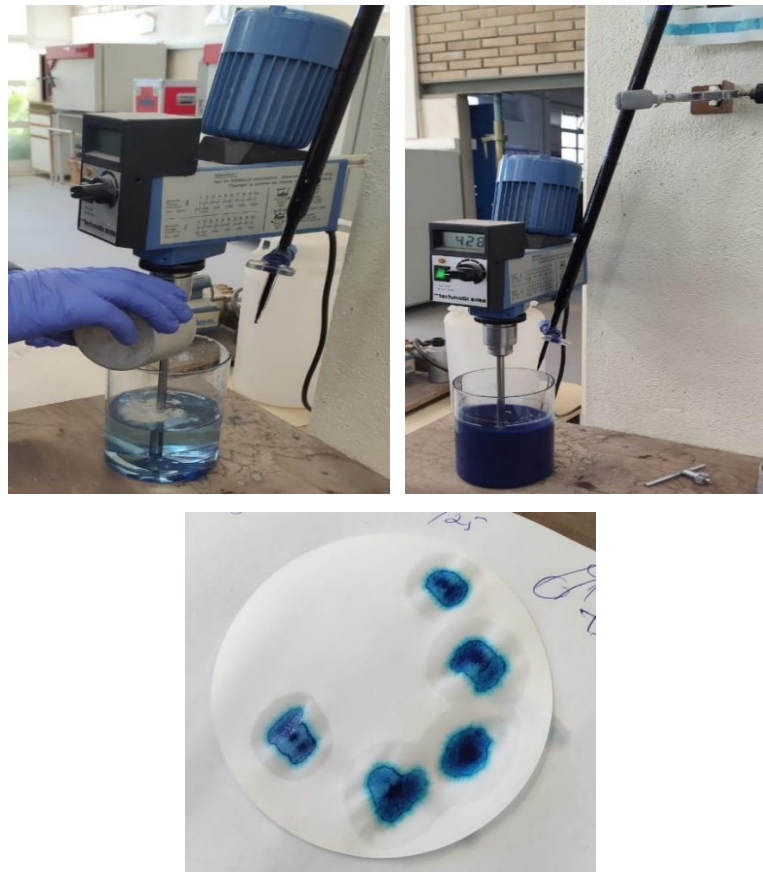


Figura 21. Teste da mancha - Azul de metileno.

Para calcular o valor do azul de metileno, utiliza-se a Equação (10). Os valores do ensaio estão apresentados na Tabela 29.

$$MB_F = \frac{V_1}{M_1} \cdot 10 \quad (10)$$

Tabela 29. Valores ensaio azul de metileno.

Material	Volume total de solução corante adicionada (V ₁)	Massa seca do provete de ensaio da fração granulométrica 0,125mm (M ₁)	Valor Azul de Metileno
R0/4	15 ml	30 g	5,0 g/kg
Areia 0/4	5 ml	30 g	1,6 g/kg

Através do ensaio é verificado que o Valor Azul de Metileno da areia é inferior ao do resíduo, isto era de se esperar visto que a areia é mais limpa que o resíduo, ou seja, possui menos resíduos de argila e outros materiais em sua composição.

No Anexo E encontra-se a ficha técnica com todos os ensaios produzidos para o R0/4.

6.4. Concreto com substituição de resíduos

Com base nos resultados apresentados anteriormente, e com o objetivo de produzir um concreto mais ecológico para blocos, utilizando o resíduo como agregado reciclado em substituição da areia, foram estabelecidos ensaios em laboratório onde se alterou o traço do concreto de referência C_{ref} em percentagens de substituição.

Para isso, foram escolhidos quatro novos traços de concreto, utilizando 25% (C_{R25}), 50% (C_{R50}), 75% (C_{R75}) e 100% (C_{R100}) de agregados reciclados em peso, na substituição de areia 0/4, e avaliada a resistência à compressão e absorção de água. Foi utilizado como base o concreto C_{ref}, e a utilização dos mesmos provetes cúbicos 10×10×10 cm, assim como a compactação manual, com três camadas e 15 golpes cada camada. Como a absorção do resíduo é levemente superior à da areia normal, não foi alterada a quantidade de água utilizada na confecção dos novos traços de concreto.

Todos os materiais foram secos previamente para maior controle da umidade do concreto. Foram realizados quatro provetes de cada traço e após a desmoldagem todos os provetes permaneceram em câmara úmida até realização dos ensaios.

Na Tabela 30 apresentam-se os novos traços para o concreto com substituição dos agregados.

Tabela 30. Traços para concreto com substituição de agregados.

	Cimento	Gravilha 4/8	Areia 0/4	Pó de areia	Água	RCD
C_{ref}	0,160 kg	0,830 kg	0,700 kg	0,070 kg	0,134 L	-
C_{R25}	0,160 kg	0,830 kg	0,525 kg	0,070 kg	0,134 L	0,175 kg
C_{R50}	0,160 kg	0,830 kg	0,350 kg	0,070 kg	0,134 L	0,350 kg
C_{R75}	0,160 kg	0,830 kg	0,175 kg	0,070 kg	0,134 L	0,525 kg
C_{R100}	0,160 kg	0,830 kg	-	0,070 kg	0,134 L	0,700 kg

6.5. Resultados

6.5.1. Resistência à compressão simples

A resistência à compressão simples para os novos traços do concreto com agregados reciclados, foi determinada conforme a EN 12390-3 [87] (Figura 22), com oito provetes para cada novo traço, sendo produzidos 32 provetes ao total. Na Tabela 31 encontram-se os valores de resistência encontrados para cada traço, aos 7 e 28 dias. Também foi calculado o Coeficiente de Variação (COV) das resistências para analisar a dispersão dos dados, apresentados na Tabela 32.

Tabela 31. Resultados resistência à compressão para todos os traços.

Tempo	C_{ref} (MPa)	C_{R25} (MPa)	C_{R50} (MPa)	C_{R75} (MPa)	C_{R100} (MPa)
7 dias	9,74	9,10	8,41	7,69	7,95
	9,23	9,18	8,33	7,55	8,05
	10,04	9,03	8,82	7,12	7,88
	9,39	8,89	8,68	6,84	7,72
28 dias	13,07	11,65	10,62	8,66	10,18
	12,10	11,80	10,20	9,70	10,30
	11,94	11,47	11,03	9,11	10,08
	14,61	11,31	11,10	8,68	10,03

Tabela 32. Coeficiente de Variação de todos os traços.

Tempo	C_{ref}	C_{R25}	C_{R50}	C_{R75}	C_{R100}
7 dias	4%	1%	3%	5%	2%
28 dias	9%	2%	4%	5%	1%



Figura 22. Determinação da resistência à compressão.

Com os resultados apresentados, verifica-se uma contradição em relação ao traço C_{R75} , que possui menor resistência que o traço C_{R100} em todos os provetes rompidos, mesmo com o COV sendo dado como homogêneo ($<15\%$) [94]. Salieta-se, assim, algumas das dificuldades na confecção dos provetes, que foi interferida por fatores humanos, incluindo neles a pesagem dos materiais, a força utilizada na compactação e no desmolde dos provetes, que pode variar, impactando diretamente na resistência mecânica do mesmo, além da dificuldade em estabelecer um valor limite para a relação a/c que levasse à máxima resistência e oferecesse uma consistência adequada para a compactação dos provetes.

No entanto, apesar das adversidades, os provetes ensaiados utilizando 100% de substituição de areia por agregado reciclado se mostraram satisfatório aos 28 dias, cumprindo o mínimo que um provete cúbico deve apresentar de resistência à compressão ($f_{ck, cube} = 10 \text{ MPa}$). Tendo em consideração os resultados obtidos e a limitação dos materiais, utilizou-se apenas o concreto C_{R100} para a realização dos ensaios do concreto fresco e endurecido.

6.5.2. Caracterização do C_{R100} no estado fresco

Assim como para o C_{ref} , os ensaios realizados para o estado fresco do concreto foram os ensaios de consistência e umidade, seguindo as mesmas normativas. A classificação da consistência correspondente a um ensaio VêBê realizado com uma

amostra do C_{R100} é V0, pois apresentou um Grau VêBê de 37 segundos. Já o abaixamento, é classificado como nulo no Slump Test, de acordo com a Tabela 16. Deste modo, também é considerado como concreto terra-úmida, o que era de se esperar, visto que a quantidade de água entre o C_{ref} e o C_{R100} é a mesma.

A umidade média de duas amostras deste concreto não apresentou valor muito distinto do C_{ref} , sendo $u_{med} = 5,01\%$. Este valor se encontra dentro do intervalo proposto anteriormente.

6.5.3. Caracterização do C_{R100} no estado endurecido

Para caracterização do C_{R100} no estado endurecido, foram realizados ensaios de massa volúmica seca e absorção de água, seguindo as mesmas normativas.

A média de quatro provetes para a obtenção da massa volúmica seca foi de 2154 kg/m³, cumprindo os valores requisitados apresentados anteriormente no tópico 5.4.3.

Já o ensaio de absorção de água por imersão resultou em um valor médio para os quatro provetes de 6,41%, sendo inferior ao máximo requisitado (11%).

Com esses ensaios, percebe-se que há uma ligeira diminuição na massa volúmica seca entre o C_{ref} e o C_{R100} , e um aumento na absorção por imersão, isto deve-se ao fato de que a baridade do resíduo é inferior à da areia, assim como também possui maior taxa de absorção de água que o agregado natural. No entanto, enfatiza-se que os ensaios devem ser repetidos para uma maior veracidade dos resultados.

6.5.4. Comparação entre os traços

A Tabela 33 apresenta os resultados dos ensaios do concreto fresco e endurecido dos traços C_{ref} e C_{R100} para maior clareza e facilidade na comparação.

Tabela 33. Comparação entre os traços

	Fresco			Endurecido	
	VêBê	Slump Test	Umidade	Massa Volúmica seca	Absorção por imersão
C_{ref}	V0	Nulo	5,13%	2289 kg/m ³	4,56%
C_{R100}	V0	Nulo	5,01%	2154 kg/m ³	6,41%

7. CONCLUSÕES

Esta pesquisa foi direcionada no sentido de encontrar uma alternativa para controlar os danos provocados pelo consumo excessivo de matéria-prima e pelos grandes volumes de resíduos gerados nos processos de produção da construção civil.

A utilização de resíduos de construção e demolição reciclados, em especial resíduos de concreto, tem se mostrado uma atividade bastante promissora na substituição de agregados naturais voltada para a produção de novos produtos de concreto, dentre eles, os blocos de concreto para alvenaria.

No sentido de ampliar ainda mais o conhecimento acerca do comportamento destes resíduos no concreto, foi analisada a viabilidade técnica da utilização de resíduos produzidos pela fábrica de pré-fabricados Pavimir (Belmiro&Barreira, Lda.), como agregado reciclado em substituição ao agregado natural areia, para a futura produção, na mesma fábrica, de blocos vazados de concreto para alvenaria de vedação.

Para isso, com embasamento nas normativas europeias, as principais características do resíduo foram determinadas, confirmando-se a possibilidade de utilizá-lo como agregado reciclado. Com essas características, foi possível gerar uma ficha técnica do produto (Anexo F), para facilitar a utilização pelos profissionais da empresa.

Conclui-se, através dos ensaios dos provetes de concreto confeccionados com agregado reciclado, que, para os aspectos relativos à resistência à compressão, consistência, umidade, massa volúmica e absorção de água, é possível substituir 100% da areia convencional por agregado reciclado, principalmente pelo fato de que na produção industrial dos blocos há uma maior padronização nos processos, assim com equipamentos de vibro-prensagem adequados, que garantem maior qualidade na textura, coesão e resistência nos blocos.

Todavia, verificou-se que, para isto ocorrer com sucesso, a fábrica deve triturar seus resíduos em britador mandíbula com dimensão máxima de 4 mm e lavá-los antes da utilização para remoção do filler, tornando-o um agregado da fração miúda, com maior regularidade e qualidade, como feito neste trabalho.

Este é um passo simples, frente aos benefícios que a utilização dos resíduos trará tanto para o meio ambiente quanto para a própria empresa, que trabalhará de forma mais racional e sustentável, reduzindo o consumo de recursos naturais não renováveis, possibilitando que haja um ciclo de vida no material e diminuindo a formação de entulho.

Além de colaborar com o cumprimento da normativa portuguesa que busca reciclar, no mínimo, 70% dos RCD no país ainda no ano de 2020.

Ressalta-se, entretanto, a importância de que mais ensaios sejam feitos para a comprovação dos resultados e que novas pesquisas sejam realizadas para avaliar aspectos não contemplados neste trabalho, citados no próximo tópico, principalmente após a confecção do bloco em fábrica. Para essa confecção, foi elaborada, assim como a ficha técnica, a proposta de composição do traço para o concreto com agregados reciclados em substituição do traço padrão utilizado na empresa, que se encontra no Anexo F.

7.1. Proposta para trabalhos futuros

A investigação do tema do trabalho permitiu idealizar algumas sugestões para estudos futuros, sendo eles descritos na sequência.

Para os agregados reciclados, é sugerida a realização dos ensaios apresentados anteriormente para agregados de concreto, que não foram abrangidos neste trabalho, como:

- Determinação da forma das partículas;
- Determinação da retração por secagem;
- Resistência ao choque térmico;
- Resistência ao gelo/desgelo;
- Reação álcali-sílica;
- Determinação do teor de sulfuretos, enxofre e húmus.

Para o concreto reciclado, o mesmo deve ser reproduzido em fábrica, para a confecção de exemplares de blocos furados, onde poderá ser submetido a ensaios como:

- Índice de vazios;
- Resistência à compressão;
- Resistência ao fogo;
- Retração por secagem;
- Massa volúmica;
- Absorção de água por capilaridade;
- Análise dimensional e porcentagem de furação;
- Estudo da viabilidade econômica para a fabricação do bloco.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LIEBSCH, A. Sustentabilidade na construção civil: aplicações em obras populares. **Ambar Tech**, 2019. Disponível em: <<https://www.ambar.tech/sustentabilidade-na-construcao-civil-aplicacoes-em-obras-populares/>>. Acesso em: 06 nov. 2020.
2. SEGANTINE, A. A. D. S.; WADA, P. H. Estudo de dosagem de tijolos solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 33, p. 179-183, Setembro 2011.
3. JOHN, M. V. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, p. 119. 2000.
4. SILVA, R. A. et al. **SISTEMA DE ALVENARIA COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS - BLOCOS DE TERRA COMPACTADA COM LIGANTE GEOPOLIMÉRICO**. 2º Encontro Nacional Sobre Qualidade e Inovação na Construção - QIC2016. Lisboa: LNEC. 2016. p. 12.
5. BUTTLER, A. M. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural**. Tese (Doutorado) - Escola de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos. 2007.
6. CHERIAF, M.; ROCHA, J. C. **Caracterização dos Resíduos Industriais do Estado de Santa Catarina e as Possibilidades de Valorização na Construção Civil**. Encontro sobre edificações e comunidades sustentáveis. Canela: [s.n.]. 1997. p. 81-86.
7. TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. A. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. United States of America: Mc Graw Hill International Editions, 1993.
8. JACOMINO, V. M. F. et al. **Controle Ambiental das Indústrias de FerroGussa em Altos-Fornos a Carvão Vegetal**. Projeto Minas Ambiente. Belo Horizonte: [s.n.]. 2002. p. 181-197.
9. APA. Agência Portuguesa do Ambiente, 2020. Disponível em: <<https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=254>>. Acesso em: 3 Março 2020.

10. ALONSO, A. M. J. **RESÍDUOS DE VIDRO E RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NO CIMENTO**. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Porto. Porto - Portugal. 2006.
11. CRUZ, M. L. F. R. **A caracterização de resíduos sólidos no âmbito da sua gestão integrada**. (Dissertação Mestrado) Universidade do Minho. Braga. 2005.
12. DECRETO-LEI N.º 310/95 DE 20 DE NOVEMBRO. **MINISTÉRIO DO AMBIENTE E DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO**. [S.l.].
13. EUROSTAT. Estatísticas de Resíduos, 2016. Disponível em: <http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics/pt#Produ.C3.A7.C3.A3o_total_de_res.C3.ADduos>. Acesso em: 6 Novembro 2020.
14. ENBRI. *Development of a framework for environmental assessment of building materials and components*. ENBRI Proposal to European Community (BRITE EURAM Program). [S.l.]: ENBRI. 1994.
15. DAL BOSCO, T. C. **Contextualização teórica: compostagem e vermicompostagem. Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas**. São Paulo: Blucher. 2017. p. 19-44.
16. BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (org.). **Gestão de Resíduos Orgânicos**, 2020. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/gest%C3%A3o-de-res%C3%ADduos-org%C3%A2nicos>>. Acesso em: 23 Abril 2020.
17. MURALIKRISHNA, V. I.; MANICKAM, V. Solid Waste Management. *Environmental Management*, p. 431- 462, 2017.
18. NAUMOFF, A. F.; PERES, C. S. **Reciclagem de matéria orgânica**. In: PASSONIAN, Z. Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas. São Paulo: IPT, v. 2, 2000.
19. LUCAS, D.; BENATTI, C. T. UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS PARA A PRODUÇÃO DE ARTEFATOS CIMENTÍCIOS E ARGILOSOS EMPREGADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 1, n. 3, p. 405-418, set/dez 2008. ISSN 1981-9951.
20. AGOPYAN, V.; JOHN, V. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. São Paulo: Blucher, v. 1, 2011.
21. KIBERT, C. J. *“Sustainable construction: green building design and delivery”*. New Jersey, United States of America: John Wiley & Sons, 2005.

22. DECRETO-LEI N.º 178/2006 DE 5 DE SETEMBRO. **Portugal: Ministério do ambiente, do ordenamento do território e do desenvolvimento regional.** [S.l.].
23. CÂMARA Municipal de Montemor, 2013. Disponível em: <www.cmmontemornovo.pt>. Acesso em: 23 nov 2019.
24. LER. **LISTA EUROPEIA DE RESÍDUOS.** [S.l.]: [s.n.]. Disponível em: <http://norsider.pt/site/documentos/pdf/Lista_Europeia_Residuos.pdf>. Acesso em: 15 nov 2019.
25. PEREIRA, P.; VIEIRA, C. S. **Resíduos de Construção e Demolição. Um estado de arte visando a sua valorização em Trabalhos Geotécnicos.** [S.l.]. 2013.
26. BRITO, J. D. **A reciclagem de Resíduos da construção e demolição.** Workshop "A reciclagem na casa do futuro". Aveiro: AveiroDomus. 2006.
27. BRITO, J. (2010). **Aplicações Inovadoras de Resíduos na Construção Civil - Casos de Estudo.** Seminário "Valorização de Resíduos da Construção e Demolição", Agência Portuguesa do Ambiente.
28. ALAEJOS, P. et al. *Draft of spanish regulations for the use of recycled aggregate in the production of structural concrete.* International Rilem Conference On The Use Of Recycled Materials In Buildings And Structures. Barcelona: Elsevier publications. 2004.
29. COSTA, I. A. C. **"Resíduos de Construção e Demolição: fatores determinantes para a sua gestão integrada e sustentável"**. Lisboa. 2014.
30. PEREIRA, L. H. *"Construction and Demolition Waste recycling: The Case of the Portuguese Northern Region"*. Portugal, 87p. 2002.
31. HORVATH, A. *Construction materials and the environmental.* Annual Review of Environment and Resources. California: [s.n.]. 2004.
32. TSHUDY, J. A. *Materials and Specifications. Sustainable Building Technical Manual – Green Building Design, Construction, and Operation.* USA: Public Technologies. 1996.
33. BRAGANÇA, L.; MATUES, R.; GOUVEIA, M. **Construção Sustentável: O novo paradigma do setor da construção.** Seminário paredes divisórias: Passado, presente e futuro. Porto: [s.n.]. 2011.
34. AGO. *Design for lifestyle and the future: Technical Manual. Australian Greenhouse Office.* Australian Government. Australia. 2003.

35. MATEUS, R.; BRAGANÇA, L. **Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção**. Porto: Edições Ecopy, p. 296. 2006. (978-989-95194-1-1).
36. EPA. *Building savings: Strategies for waste reduction of construction and demolition debris from buildings*. **United States Environmental Agency**. 2000.
37. DECRETO-LEI Nº73/201 DE 17 DE JUNHO. **Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional**. [S.l.].
38. DECRETO-LEI N.º 46/2008 DE 12 DE MARÇO. **Portugal: Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional**.
39. LNEC. **Resíduos de construção e demolição - Atividade desenvolvida no LNEC (RELATÓRIO 237)**. Departamento de Materiais (Núcleo de Betões) - Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa. 2012.
40. LOPES, M. D. L. D. C. **Materiais de Construção 1**. Porto: Acessível na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012.
41. SILVA, R. W. C.; ARNOSTI JR., S. CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) RECICLADO. **HOLOS Environment**, v. 5 n.2, p. 137, 2005. ISSN 1519-8634.
42. MESQUITA, L. C. et al. ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE VEDAÇÃO. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 10, Nº3, p. 30-40, 2015.
43. PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 8ª ed. Porto Alegre. ed. Rio de Janeiro - RJ: Globo, 1981.
44. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concretos - Especificação**. Rio de Janeiro - RJ. 2005.
45. SALVADOR FILHO, J. A. A. **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas (Doutorado)**. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Estruturas, EESC. Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 246. 2007.
46. NP EN 12620:2002+A1:2010. **Agregados para betão**. Monte da Caparica: Instituto Português da Qualidade. 2010.
47. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural**. Rio de Janeiro. 2004.

48. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília - DF, nº 136, v. Seção 1, p. 95-96., 17 de julho 2002. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/36_09102008030504.pdf>. Acesso em: 2 fev 2020.

49. TOMOSAWA, F.; NOGUCHI, T. *New technology for the recycling of concrete – japanese experience*. Concrete Technology for a Sustainable Development in the 21st Century. Londres: E & F Spon. 2000. p. 274-287.

50. ABCP. “**Produção de peças premoldadas de concreto. Curso sobre produção e controle de artefatos de cimento**”. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. São Paulo. 2000.

51. FARIA, M. **Vibroprensados**. Seminário Nacional sobre blocos de concreto para alvenaria e pavimentação. São Paulo: [s.n.]. 2001.

52. FONSECA, F. B. **Desempenho estrutural de paredes de alvenaria de blocos de concreto de agregados reciclados de rejeitos de construção e demolição**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos - SP, p. 140. 2002.

53. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) AND AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE). *Commentary on specifications for masonry structures (ACI 530.1- 95/ASCE G-95/TMS 602-95)*. Masonry Standards Joint Committee. New York: [s.n.]. 1995.

54. HAACH, V. G. **Desenvolvimento de blocos estruturais de betão**. BE2008 – ENCONTRO NACIONAL BETÃO ESTRUTURAL. Guimarães: Universidade do Minho. 2008. p. 1-10.

55. TANGO, C. E. S. **Fundamentos de dosagem de concreto para blocos estruturais**. Proceedings of International seminar on structural masonry for developing countries. Florianópolis-SC, Brasil: [s.n.]. 1994. p. 21-30.

56. FRASSON JUNIOR, A.; OLIVEIRA, A. L.; PRUDÊNCIO JUNIOR, L. R. Metodologia de Dosagem Para Blocos de Concreto Empregados em Alvenaria Estrutural. **Revista PRISMA**, v. Caderno Técnico 10, n. Mandarin Ltda, 2008.

57. NAKAMURA, J. Bloco Estrutural - Ter a resistência à compressão não é o único item a ser observado. Características dimensionais e geométricas interferem no desempenho da parede. **Revista Técnica**, n. Edição 97, 2005.
58. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisito**. Rio de Janeiro. 2016.
59. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro. 2011.
60. NP EN 771-3:2011+A1:2016. **Especificações para unidades de alvenaria Parte 3: Unidades de betão de agregados (blocos de betão de agregados correntes e leves)**. Brussels: European Committee for Standardization. 2016.
61. EN 772-16. **Methods of test for masonry units - Part 16: Determination of dimensions**. Brussels: European Committee for Standardization. 2011.
62. EN 1996-1-1. **"Eurocode 6 – Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures"**. Brussels: European Committee for Standardization. 2005.
63. EN 772-13. **Methods of test for masonry units - Part 13: Determination of net and gross dry density of masonry units (except for natural stone)**. Brussels: European Committee for Standardization. 2002.
64. OLIVEIRA, L. A. P. **Apontamentos de apoio sobre Alvenarias. Apontamentos das aulas de Mestrado da disciplina de Estruturas de Alvenarias e Madeira..** Coimbra, D.E.C./F.C.T.U.C.,. 1995.
65. SMITH, R. C.; ANDRES, C. K. **Material of construction. 4th edition**. Canadá: [s.n.], 1989.
66. EN 772-8. **Methods of test for masonry units. Part 8: Determination of water absorption of aggregate concrete masonry units by soaking**. Brussels: European Committee for Standardization. 2011.
67. EN 772-11. **Methods of test for masonry units - Determination of water absorption of aggregate concrete, autoclaved aerated concrete, manufactured stone and natural stone masonry units due to capillary action and the initial rate of water absorption of clay masonry**. Brussels: European Committee for Standardization. 2011.
68. NP EN 772-1. **Métodos de ensaio para blocos de alvenaria: Parte 1 - Determinação da resistência à compressão**. Monte da Caparica: Instituto Português da Qualidade. 2011.

69. GOUVEIA, J. P. M. **“Comportamento de estruturas de alvenaria por aplicação de ações de compressão” Análise de materiais e definição de coeficientes de acordo com o Eurocode 6.** Departamento de Engenharia Civil Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra, Coimbra. 2000.
70. COUTINHO, A. S. **Fabrico e propriedades do betão.** Lisboa. 1988.
71. NP EN 12350-2. **Ensaio do betão fresco. Parte 2: Ensaio de abaixamento.** Monte da Caparica: Instituto Português da Qualidade. 2009.
72. NP EN 206-1. **Betão Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade.** Monte da Caparica: Instituto Português da Qualidade. 2007.
73. COUTINHO, J. **Betões eco-eficientes com resíduos. Jornadas de Materiais na Construção,** Porto, p. 171-214, 2011.
74. PAULA, P. R. F. **Utilização dos resíduos da construção civil na produção de blocos de argamassa sem função estrutural.** Dissertação (Mestrado) - Tecnologia das Construções. Universidade Católica de Pernambuco. Recife, PE, p. 131. 2007.
75. ALBUQUERQUE, S. M. **Estudo do uso de agregados de resíduos de construção e demolição em blocos de concreto para alvenaria.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, p. 103. 2005.
76. SOUZA, J. G.; BAUER, E.; SPOSTO, R. M. **Blocos de concreto produzidos com agregados provenientes da reciclagem de resíduos gerados pela construção civil.** ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Foz do Iguaçu - PR: [s.n.]. 2002. p. 9.
77. SOUZA, J. G. **Contribuição ao Estudo da Relação Entre Propriedades e Proporcionamento de Blocos de Concreto: aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade de Brasília. Brasília, p. 142. 2001.
78. PAVIMIR (Belmiro&Barreira, Lda.). [Online] [Citado em: 03 de 11 de 2019.] <https://www.pavimir.pt/index.php/pt/>.
79. NORDAREIAS, Areias e Britas Ltda. **Declarações de desempenho de inertes: DoP N° G4/8C.01, DoP N° AGC.01 e DoP N° AFC.01.** Torre de Moncorvo, 2018. Fornecidos por PAVIMIR (Belmiro&Barreira), Mirandela - Portugal, 2019
80. NP EN 933-1. **Análise granulométrica: Método de peneiração.** Monte da Caparica: Instituto Português da Qualidade. 2016.

81. MEDEIROS, J. S. **Alvenaria Estrutural Não Armada de Blocos de Concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 449. 1993.
82. MARCHIONI, M. L. **Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco utilizado na fabricação de peças de concreto para pavimentação intertravada**. São Paulo -SP. 2012.
83. NP EN 12390-3. **Ensaio do betão endurecido. Parte 3: Resistência à compressão de provetes**. Monte da Caparica: Instituto Português da Qualidade. 2011.
84. BARBOSA, K. C.; PARSEKIAN, G. A.; SALES, A. **Retração em alvenarias de blocos de concreto – previsão e prevenção de patologias**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10. São Paulo - SP: [s.n.]. 2004.
85. FRASSON JUNIOR, A. **Proposta de metodologia de dosagem e controle do processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - SC, p. 146. 2000.
86. ALBERO, A. J. L. **A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial – Parte III: Variáveis do Processo de Compactação**. São Carlos, v. 6, n.1, pg 26-27, mai-jun., 2001.
87. NP EN 12390-3. **Ensaio do betão endurecido. Parte 3: Resistência à compressão de provetes**. Monte da Caparica: Instituto Português da Qualidade. 2011.
88. NP EN 12350-3. **Ensaio do betão fresco. Parte 3: Ensaio Vêbê**. Monte da Caparica: Instituto Português da Qualidade. 2009.
89. FERNANDES, I. **Blocos e pavers: produção e controle de qualidade**. São Paulo - SP. 2008.
90. NP EN 1097-3. **Ensaio de baridade e volume de vazios**. Monte da Caparica: Instituto Português da Qualidade. 2002.
91. COUTINHO, J. D. S. **Materiais de Construção 1: Agregados para argamassas e betões**. [S.l.]. 1999.
92. NP EN 1097-6. **Determinação da Massa volúmica e Absorção de água**. Monte da Caparica: Instituto Português da Qualidade. 2016.

93. TAM, V. W. Y.; GAO, X. F.; TAM, C. M. ***Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-Stage mixing approach. Cement and Concrete Research***, n. 35, p. 1195-1203, [S.l.]. 2005.
94. NP EN 933-9:2009+A1:2017. **Determinação do teor de finos: Ensaio de Azul de Metileno**. Monte da Caparica: Instituto Português da Qualidade. 2017.
95. RIGONATTO, M. **Mundo Educação**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/matematica/coeficiente-variacao.htm>>. Acesso em: 2020 ago. 02.
96. MÁLIA, M. **Indicadores de resíduos de construção e demolição**. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 2010.
97. GONÇALVES, J. C. G. - **Indicadores para o Cálculo de Resíduos nos Planos de Prevenção e Gestão, e sua aplicação prática**. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa. 2011.
98. RODRIGUES, M. M. M. **Guia para a utilização de resíduos de construção e demolição em vias municipais e rurais e em valas**. [S.l.]. 2013.
99. MONTEIRO, H. F. M. D. S. **Resíduos de Construção e Demolição**. Faculdade de Ciência da Universidade do Porto. Porto. 2011.
100. GODINHO, C. M. **Gestão Integrada de Resíduos de Construção e Demolição– Análise de Casos de Estudo**. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa. 2011.

9. ANEXOS

ANEXO A – LISTA EUROPEIA DE RESÍDUOS

ANEXO B – LEGISLAÇÃO PORTUGUESA PARA RESÍDUOS

ANEXO C – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA BLOCOS DE BETÃO

ANEXO D – FICHA TÉCNICA - CIMENTO PORTLAND CÁLCARIO

ANEXO E – FICHA TÉCNICA - AGREGADO RECICLADO

ANEXO F – PROPOSTA DE COMPOSIÇÃO

ANEXO A – LISTA EUROPEIA DE RESÍDUOS

Fonte: LER (2019) [24].

17	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DE DEMOLIÇÃO (INCLUINDO SOLOS ESCAVADOS DE LOCAIS CONTAMINADOS)
17 01	Concreto, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos
17 01 01	Concreto
17 01 02	Tijolos
17 01 03	Ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos
17 01 06*	Misturas ou frações separadas de concreto, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos, contendo substâncias perigosas
17 01 07	Misturas de concreto, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos, não abrangidas em 17 01 06
17 02	Madeira, vidro e plástico
17 02 01	Madeira
17 02 02	Vidro
17 02 03	Plástico
17 02 04*	Vidro, plástico e madeira contendo ou contaminados com substâncias perigosas
17 03	Misturas betuminosas, alcatrão e produtos de alcatrão
17 03 01*	Misturas betuminosas contendo alcatrão
17 03 02	Misturas betuminosas não abrangidas em 17 03 01
17 03 03*	Alcatrão e produtos de alcatrão
17 04	Metais (incluindo ligas metálicas)
17 04 01	Cobre, bronze e latão
17 04 02	Alumínio
17 04 03	Chumbo
17 04 04	Zinco
17 04 05	Ferro e aço
17 04 06	Estanho
17 04 07	Misturas de metais
17 04 09*	Resíduos metálicos contaminados com substâncias perigosas
17 04 10*	Cabos contendo hidrocarbonetos, alcatrão ou outras substâncias perigosas
17 04 11	Cabos não abrangidos em 17 04 10
17 05	Solos (incluindo solos escavados de locais contaminados), rochas e lamas de dragagem

17 05 03*	Solos e rochas, contendo substâncias perigosas
17 05 04	Solos e rochas não abrangidos em 17 05 03
17 05 05*	Lamas de dragagem contendo substâncias perigosas
17 05 06	Lamas de dragagem não abrangidas em 17 05 05
17 05 07*	Balastros de linhas de caminho-de-ferro, contendo substâncias perigosas
17 05 08	Balastros de linhas de caminho-de-ferro não abrangidos em 17 05 07
17 06	Materiais de isolamento e materiais de construção, contendo amianto
17 06 01*	Materiais de isolamento, contendo amianto
17 06 03*	Outros materiais de isolamento contendo ou constituídos por substâncias perigosas
17 06 04	Materiais de isolamento não abrangidos em 17 06 01 e 17 06 03
17 06 05*	Materiais de construção contendo amianto
17 08	Materiais de construção à base de gesso
17 08 01*	Materiais de construção à base de gesso contaminados com substâncias perigosas
17 08 02	Materiais de construção à base de gesso não abrangidos em 17 08 01
17 09	Outros resíduos de construção e demolição
17 09 01*	Resíduos de construção e demolição contendo mercúrio
17 09 02*	Resíduos de construção e demolição contendo PCB (por exemplos vedantes com PCB, revestimentos de piso à base de resinas com PCB, envidraçados vedados contendo PCB, condensadores com PCB)
17 09 03*	Outros resíduos de construção e demolição (incluindo misturas de resíduos) contendo substâncias perigosas
17 09 04	Misturas de resíduos de construção e demolição não abrangidas em 17 09 01, 17 09 02 e 17 09 03
*	Contêm substâncias perigosas

ANEXO B – LEGISLAÇÃO PORTUGUESA PARA RESÍDUOS

Fonte: Alonso (2006) [10]

Legislação	Princípio
DL n.º 488/85, de 25 de Novembro	Este documento, define pela primeira vez em Portugal, de uma forma legal, a gestão de resíduos, instituindo de forma clara a quantificação dos resíduos como parte fulcral na estratégia de decrescimento da produção de resíduos [96].
DL n.º 310/95, de 20 de Novembro	Este decreto-lei teve como finalidade utilizar a experiência obtida, de forma a compreender e adaptar tal legislação, de acordo com as circunstâncias ambientais do momento e revendo o quadro normativo vigente, compreendendo a evolução científico-técnica, de forma a atingir um desenvolvimento sustentável [25].
DL n.º 239/97, de 9 de Setembro	Este decreto reformula o decreto lei anterior. Este decreto declarava que “a gestão adequada de resíduos é um desafio inadiável para as sociedades modernas”, reconhecendo a complexidade e gravidade dos problemas relacionados com a gestão de resíduos [97].
Portaria n.º 335/97, de 16 de Maio	Este documento estabelece o Regime do Transporte de Resíduos no Território Nacional, fixando as regras a que fica sujeito o transporte de resíduos, incluindo a definição dos modelos das Guias de Acompanhamento de Resíduos (GAR).
Portaria n.º 187/2007, de 12 de Fevereiro	Com a publicação desta portaria foi aprovado o Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos para o período de 2007 a 2016 (PERSU II). O PERSU II visa adequar estratégias para o sector de RSU ao atual quadro legal e comunitário, colmatando as principais debilidades evidenciadas pelo PERSU.

DL n.º 516/99, de 2 de Dezembro	Neste decreto, é aprovado o Plano Estratégico de Gestão dos Resíduos Industriais (PESGRI), no qual se encontram definidos, os princípios estratégicos a que deve obedecer a gestão de resíduos, no território nacional. Neste plano, os RCD são identificados como resíduos industriais e apresentam-se as prioridades para a gestão dos resíduos industriais e quais as ações e metas a implementar neste domínio [97].
DL n.º 3/2004, de 03 de Janeiro	Este decreto define o regime jurídico do licenciamento, da instalação e da exploração dos centros integrados de recuperação, valorização e eliminação de resíduos perigosos (CIRVER).
Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março	É aprovada a Lista Europeia de Resíduos (LER), tornando mais simples os processos de identificação, eliminação e valorização [98].
DL n.º 178/2006, de 5 de Setembro	Este decreto estabelece as regras gerais de gestão de resíduos, e nele surge pela primeira vez na legislação portuguesa uma definição para RCD [96].
Portaria n.º 1408/2006, de 18 de Dezembro	Dentro do Regime Geral da Gestão de Resíduos (RGGR), elaborado a partir do Decreto-Lei anterior, aparece o Sistema Integrado de Registo Eletrónico de Resíduos (SIRER), que é regulamentado pela Portaria n.º 1408/2006, de 18 de Dezembro.
Lei n.º 60/2007, de 4 de Setembro	Estabelece o Regime Jurídico da Urbanização e Edificação (RJUE) e faz referência ao Regime da Gestão de Resíduos de Construção e Demolição (RGRCD) em vários artigos [97].
DL n.º 18/2008, de 18 de Janeiro	Neste documento é apresentado o novo Código dos Contractos Públicos (CCP), referindo várias vezes a importância do PPRCD (Plano de Prevenção e Gestão de Resíduos de Construção e Demolição) na gestão de RCD [99].

DL n.º 46/2008, de 12 de Março	É estabelecido o Regime de Gestão de Resíduos de Construção e Demolição, compreendendo a sua prevenção e reutilização e as suas operações de recolha, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação.
Portaria n.º 417/2008, de 11 de Junho	Este documento define a obrigatoriedade de preenchimento de guias de acompanhamento dos RCD (GARRCD) [100].
DL n.º 210/2009, de 3 de Setembro	Este decreto estabelece o regime de constituição, gestão e funcionamento do mercado organizado de resíduos, procurando suprir as necessidades de regulação no âmbito do acompanhamento e controlo, por parte da administração, das atividades das entidades gestoras de mercados organizados de resíduos. [97].
Portaria nº 228/2010, de 22 de Abril	Apresenta o logotipo do Mercado Organizado de Resíduos (MOR), a ser utilizado pelas entidades gestoras das plataformas de negociação [99]
DL nº 73/2011, de 17 de Junho	Este tem como objetivo clarificar conceitos chave, como as definições de resíduo, prevenção, reutilização, preparação para a reutilização, tratamento e reciclagem, e a distinção entre os conceitos de valorização e eliminação de resíduos, com base numa diferença efetiva em termos de impacte ambiental, tendo também em conta a hierarquia dos resíduos como princípio fundamental da política de ambiente. Este diploma veio alterar os Decretos-Lei nº 178/2006, de 5 de Setembro, e o nº 46/2008, de 12 de Março.
Portaria nº 40/2014 de 17 de Fevereiro	Esta portaria tem como principal objetivo clarificar os aspetos inerentes à inventariação dos materiais contendo amianto e à sua caracterização, na fase de projeto, bem como ao acondicionamento, transporte, armazenamento e eliminação dos resíduos de construção e demolição com amianto que sejam gerados [10].



ET 025
REV 7

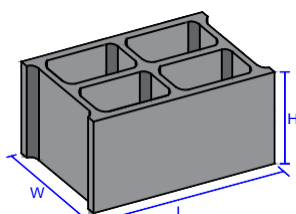
Especificação Técnica

Blocos de Betão

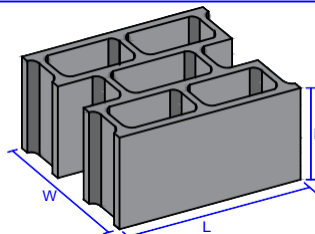
EN 771-3:2011



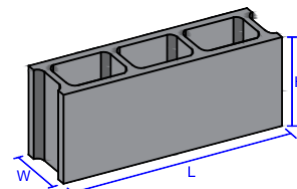
Geometria



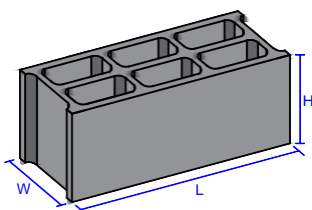
Bloco de Betão
400 x 200 x 200



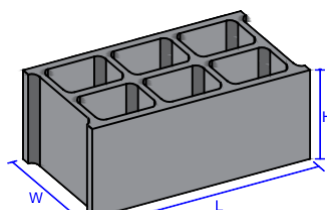
Bloco de Betão
400 x 200 x 270



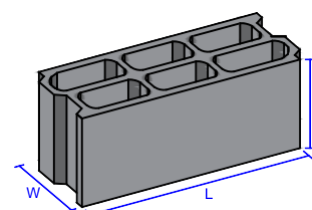
Bloco de Betão
500 x 200 x 100



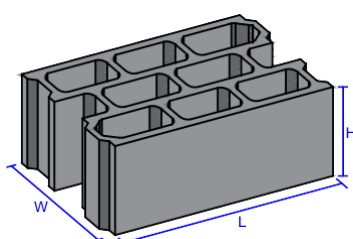
Bloco de Betão
500 x 200 x 150



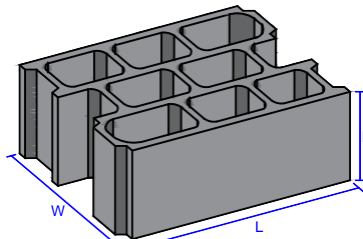
Bloco de Betão
500 x 200 x 200



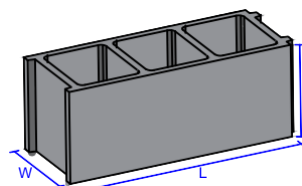
Bloco de Betão
500 x 200 x 150
c/ encaixe



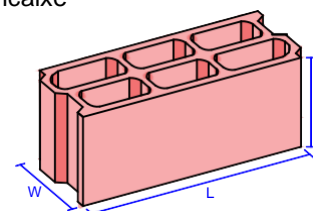
Bloco de Betão
500 x 200 x 250
c/ encaixe



Bloco de Betão
500 x 200 x 300
c/ encaixe



Bloco de Betão
500 x 200 x 200
EcoPav



Bloco de Betão Leve
500 x 200 x 150
c/ encaixe

Características Dimensionais

Tipo de Betão	Designação	L [mm]	H [mm]	W [mm]	Massa volúmica aparente seca [kg/m ³]	Percentagem de furação	Espessura mínima dos septos interiores [mm]	Espessura mínima dos septos exteriores [mm]	Massa [Kg]
Betão Normal ⁽¹⁾	400 x 200 x 200	400	195	200	937	62%	15	15	≈ 13.00
	400 x 200 x 270	400	195	270	880	63%	15	15	≈ 16.50
	500 x 200 x 100	500	195	100	1050	57%	15	15	≈ 9.50
	500 x 200 x 150	500	195	150	1079	56%	15	15	≈ 15.50
	500 x 200 x 200	500	195	200	937	63%	15	15	≈ 17.00
	500 x 200 x 150 c/ encaixe	500	195	152	1066	60%	15	15	≈ 16.00
	500 x 200 x 250 c/ encaixe	500	195	250	957	61%	16	16	≈ 21.50
	500 x 200 x 300 c/ encaixe	500	195	300	945	65%	16	16	≈ 24.00
Betão Leve ⁽²⁾	500 x 200 x 200 EcoPav	500	200	200	795	70%	15	15	≈ 15.50
Betão Leve ⁽²⁾	500 x 200 x 150 c/ encaixe	500	195	152	720	60%	15	15	≈ 10.50

⁽¹⁾ $\rho_{\text{betão normal}} \approx 2100$ [Kg/m³] ⁽²⁾ $\rho_{\text{betão leve}} \approx 1200$ [Kg/m³]

PAVIMIR
Belmiro & Barreira, Lda

Aprovado em:

Rúbrica GQ:

Tel : +351 278 257 380
+351 962 002 627

www.pavimir.pt

pavimir@pavimir.pt



ET 025
REV 7



PAVIMIR
Belmiro & Barreira, Lda

Especificação Técnica

Blocos de Betão

EN 771-3:2011



	L Comprimento	W Largura	H Altura
Tolerâncias [mm]	-5/+3	-5/+3	-5/+3
	Categoria D1		

Categoria II - Sistema 4 de comprovação de conformidade.

Características Físicas e Mecânicas

Resistência à compressão média (N/mm ²) ou (MPa) -Provetes condicionados por secagem em estufa -Regularização das faces por desgaste -Carga aplicada na perpendicular à face de assentamento	≥ 3.50 * (Betão Normal) ≥ 2.00 * (Betão Leve)	NP EN 772-1
Reacção ao fogo	Euroclasse A1	EN 771-3
Coefficiente de absorção de água por capilaridade (g/m ² .s)	Quando requerido (Blocos de Betão) 200 g/m².s^{0.5} (Blocos Face à Vista)	NP EN 772-11
Isolamento sonoro a sons aéreos		
Massa volúmica aparente seca (kg/m ³)	Valores na Página 1	NP EN 772-13
Geometria	Desenhos na Página 1	NP EN 772-16
Percentagem de furação	Valores na Página 1	NP EN 772-2
Espessura mínima dos septos interiores (mm)	Valores na Página 1	NP EN 772-16
Espessura mínima dos septos exteriores (mm)	Valores na Página 1	NP EN 772-16
Substâncias perigosas	DND³	

⁽³⁾ Desempenho não determinado.

* O valor declarado corresponde a uma idade de 28 dias.

Aplicação

Alvenaria de uso corrente, revestida, não resistente, em edifícios ou obras de construção civil. Adequados para paredes simples ou duplas, interiores ou exteriores, paredes divisórias ou de suporte.

L - Comprimento **W** - Largura **H** - Altura

Nota: O lote identifica o dia de fabrico. O último dígito corresponde ao ano, os primeiros dígitos ao dia do ano.

Nota: Por encomenda, produzimos Blocos de Betão Face à Vista para todos os modelos com comprimento [L] de 500 mm.

Cores disponíveis - Consultar a tabela de preços em vigor.

PAVIMIR
Belmiro & Barreira, Lda

Aprovado em:

Rúbrica GQ:

Tel : +351 278 257 380
+351 962 002 627

www.pavimir.pt

pavimir@pavimir.pt



Cimento Portland de Calcário

CEM II/A-L 42,5 R



EN 197-1 0856

Constituintes

$80\% \leq \text{Clínquer} \leq 94\%$
 $6\% \leq \text{Calcário} \leq 20\%$
 Sulfato de cálcio regulador de presa



Viaduto do Corgo - FCC Construcción, RRC e Soares da Costa

Características

Químicas

Sulfatos (SO_3) $\leq 4,0\%$
 Cloretos (Cl) $\leq 0,10\%$

Físicas

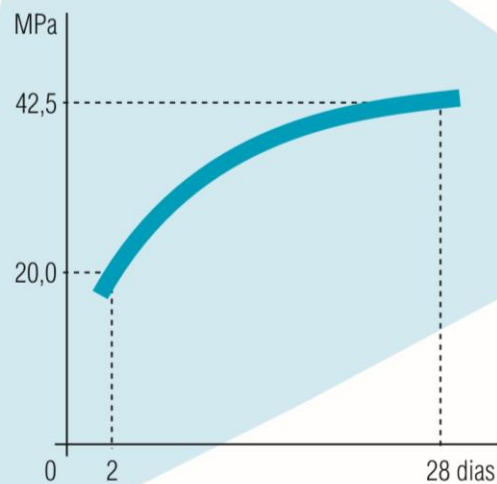
Início de presa (min) ≥ 60
 Expansibilidade (mm) ≤ 10

Mecânicas

Resistência à compressão
 Valores mínimos
 2 dias: 20,0 MPa
 28 dias: 42,5 MPa

Resistência mecânica à compressão

Curva de crescimento mínimo



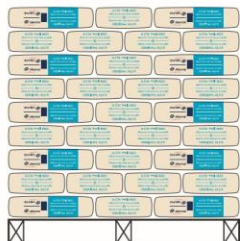
Propriedades especiais do betão fabricado com este cimento

- ▶ Desenvolvimento rápido das resistências mecânicas
- ▶ Elevadas resistências a todas as idades
- ▶ Grande leque de utilizações e bom comportamento mesmo em meios moderadamente agressivos
- ▶ Trabalhabilidade elevada
- ▶ Particularmente adequado para Classes de Exposição XC

▶ Utilizações recomendadas

- ▶ **Betão armado**
Indicado indistintamente para todas as classes de resistência com vantagem nas de C25/30 a C40/50
- ▶ **Pré-fabricação**
Elementos estruturais em betão armado e pré-esforçado
Blocos de alvenaria e abobadilha em betão leve
Artefactos
- ▶ **Pavimentos rodoviários**
Camadas de base e sub base em betão pobre
Solo cimento
Camadas de desgaste
- ▶ **Betão simples de uso geral**
- ▶ **Caldas de injeção de uso generalizado**
- ▶ **Betão projetado**

▶ Acondicionamento



Paleta platicada - Tara perdida
72 Sacos de 25 kg – 1800 kg



Pacotão
71 Sacos de 25 kg – 1775 kg

Camião de 25 toneladas com meios de descarga próprios devidamente selado



Granel
25 toneladas

▶ Precauções na aplicação

- ▶ Respeitar as dosagens de cimento mínimas e as relações água/cimento máximas normativas
- ▶ Assegurar uma cura e proteção adequadas de acordo com as disposições normativas
- ▶ Não retirar cofragem nem remover escoramento antes do betão ter a resistência suficiente
- ▶ Em ambientes agressivos seguir estritamente as recomendações normativas e os textos técnicos sobre o assunto

▶ Contraindicações

- ▶ Betonagem de grandes massas
- ▶ Betonagens sob temperaturas baixas

▶ Ambiente e Segurança

- ▶ Usar vestuário de proteção, luvas e equipamento protetor para a vista/face adequados
- ▶ Quando ensacado contém redutor de crómio (VI). O seu período de validade é de dois meses após a data de ensacagem, sempre que se respeitem as condições de armazenagem mencionadas no saco
- ▶ A produção deste cimento representa uma diminuição das emissões de CO₂ para a atmosfera
- ▶ Para mais informações, consulte a Ficha de Dados de Segurança, disponível em www.cimpor-portugal.pt



uma empresa InterCement

SERVIÇO COMERCIAL
Rua Alexandre Herculano, 35 - 1250-009 LISBOA
Tel.: (+351) 21 311 81 00 - Fax: (+351) 21 311 82 21

SERVIÇO TÉCNICO-COMERCIAL
Rua Alexandre Herculano, 35 - 1250-009 LISBOA
Tel.: (+351) 21 311 81 00 - Fax: (+351) 21 311 82 21

SERVIÇO DE CONTROLO DE VENDAS E CRÉDITO
Av. Américo Duarte - S. Pedro Fins - 4425-504 MAIA
Tel.: (+351) 22 968 80 00 - Fax: (+351) 22 967 18 38

www.cimpor-portugal.pt
Dcomercial@cimpor.com

FICHA TÉCNICA DE PRODUTO

Identificação do Produto

Descrição do produto: Agregado Reciclado de Betão (R0/4)

Utilização (Referências Normativas): NP EN 12620 – Agregados para betão.

Características Técnicas do Produto

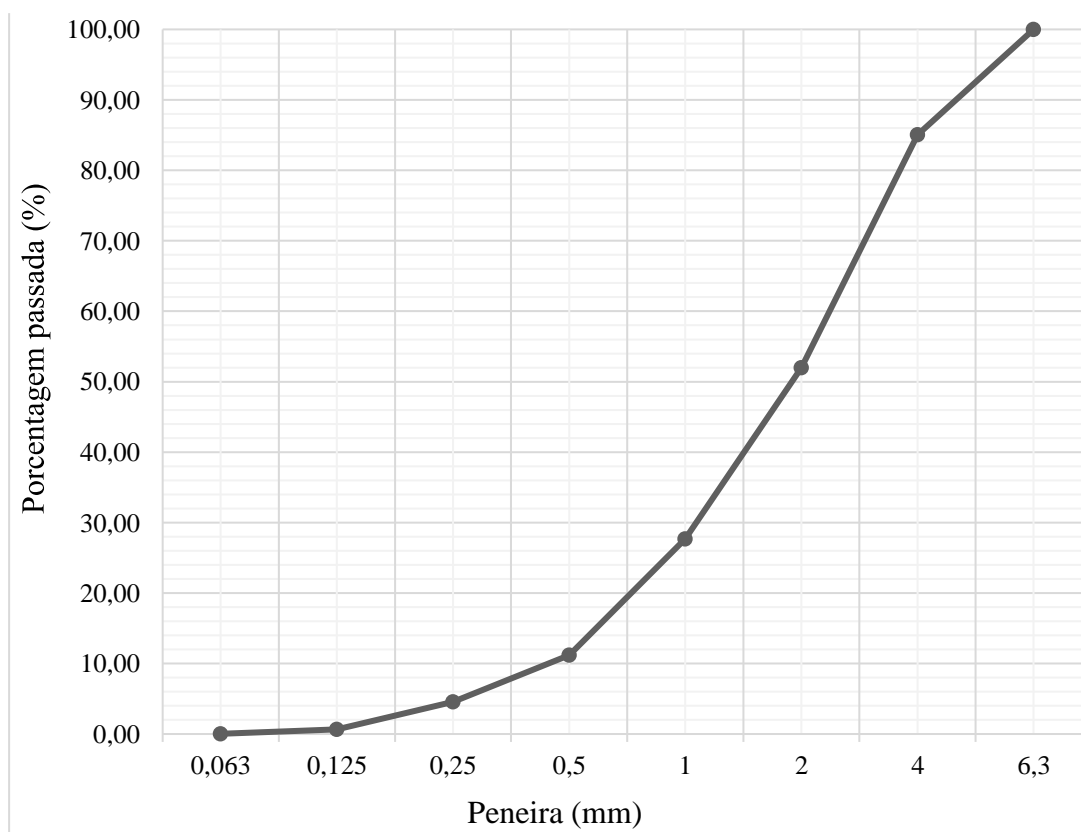
Origem: Pavimir (Belmiro&Barreira, Lda.) Estrada Nacional, 315, Vila Nova das Patas, 5370-087 Carvalhais, Mirandela – Portugal.

Utilização		NP EN 12620
Dimensão Nominal d/D		0/4
Módulo de Finura		4,19 (areia grossa)
Teor de Finos		<i>f</i> 10
Azul de Metileno		5,00 g/kg
Massa Volúmica	Material Impermeável	2450 kg/m ³
	Partículas Secas em Estufa	2250 kg/m ³
	Partículas Saturadas	2330 kg/m ³
Absorção de água		3,68%
Baridade		1455,3 kg/m ³
Volume de Vazios		40,60%

FICHA TÉCNICA DE PRODUTO

Granulometria

Curva Granulométrica



Bragança, Setembro de 2020.



PROPOSTA DE COMPOSIÇÃO - BLOCO COM AGREGADO RECICLADO

Produto

Descrição do produto: Blocos de betão para alvenaria não resistente.

Fabricação: Pavimir (Belmiro&Barreira, Lda.) Estrada Nacional, 315, Vila Nova das Patas, 5370-087 Carvalhais, Mirandela – Portugal.

Composição para 1 m³ de betão

Anterior:

	Cimento	Gravilha 4/8	Areia 0/4	Pó de areia	Água
Traço Padrão	160 kg	839 kg	700 kg	70 kg	30 a 40 kg

Proposta de substituição:

	Cimento	Gravilha 4/8	Resíduo 0/4	Pó de areia	Água
Novo Traço	160 kg	839 kg	700 kg	70 kg	30 a 40 kg

A proposta visa substituir 100% da areia pelo resíduo de betão da fábrica, que deve ser triturado em britador mandíbula, com dimensão máxima de 4 mm, e lavado antes da utilização para remoção do filler. Dessa forma, o resíduo torna-se um agregado reciclado R0/4, apropriado para a confecção de blocos de alvenaria não resistente em fábrica para assim realizar os ensaios das características físicas e mecânicas do bloco.

Bragança, Setembro de 2020.