



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Faculdade de Engenharia

Desenvolvimento de unidade de alvenaria com utilização de resíduos sólidos urbanos e industriais

Rolando João Oliveira Pereira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil
(Ciclo de Estudos Integrado)

Orientador: Prof. Doutor Luiz Antonio Pereira de Oliveira

Covilhã, Outubro de 2014

Aos meus Pais

Agradecimentos

Agradeço a todos os que prestaram um contributo para a realização deste trabalho, que marca uma etapa importante no meu percurso académico e revelou ser muito significativo na minha formação pessoal. Assim sendo, presto os meus agradecimentos:

Ao Prof. Doutor Luiz Antonio Pereira de Oliveira por toda a sua disponibilidade, ajuda e orientação prestada na concretização deste trabalho

Ao Laboratório Materiais de construção e pessoal pela ajuda prestada na execução de alguns ensaios e simpatia com que sempre me receberam.

Aos meus pais e irmão pelo apoio, carinho e amizade recebidos ao longo de toda a minha vida, exprimo o meu sincero e reconhecido agradecimento. Agradeço-lhes ainda toda a compreensão, incentivo ânimo e palavras amigas que me dispensaram, sobretudo nos momentos mais difíceis, durante a realização da dissertação.

Resumo

Alvenaria é um componente comum com pouca manutenção e boa durabilidade. Vários novos materiais e novas tecnologias de construção em alvenaria estão agora disponíveis no mercado da construção. As paredes que formam a envolvente exterior dos edifícios são um dos recursos que precisam de melhorias, pois, apesar da sua importância económica e funcional, são os elementos de construção em que a maioria dos defeitos é visível.

Tendo em vista a necessidade de reduzir o consumo de recursos não renováveis e o incremento do ciclo de vida dos materiais de construção, com esta dissertação pretende-se compreender a influência de agregados leves de diferentes naturezas, no desempenho de unidades de alvenaria em betão e contribuir tecnicamente à reciclagem de resíduos industriais em materiais de construção. Neste sentido o primeiro objetivo da presente dissertação é desenvolver uma nova unidade de alvenaria de betão vazado com características geométricas específicas, de modo a minimizar o seu peso e também reduzir o uso de argamassas de assentamento.

Com o objetivo de estudar o comportamento mecânico do betão da unidade de alvenaria, com incorporação de agregados leves reciclados, foi produzido um betão de referência com cimento Portland (CEM I 42,5 R) e agregados, na proporção 1:10. A quantidade de agregados foi substituída tendo por base duas variáveis: a percentagem de substituição do agregado natural por agregados leves (expressa em massa) e o tipo de agregado. Para a concretização deste estudo foram utilizados agregados provenientes da reciclagem como sejam o betão reciclado (AR), a cortiça natural (COR), e o poliestireno expandido (EPS).

Foram analisadas uma série de características no estado endurecido de forma a melhor entender todos os parâmetros envolvidos no desempenho das alvenarias, tendo-se sempre como referência as normas em vigor para agregados e alvenarias.

Os resultados obtidos confirmam na sua generalidade a viabilidade da utilização de agregados leves, como alternativa ou complementaridade aos agregados naturais. De uma forma geral, os betões apresentaram bons desempenhos do ponto de vista físico e mecânico.

Palavras-chave

Alvenaria; resíduos industriais; Agregados leves; Agregados reciclados; Propriedades físicas; Propriedades mecânicas.

Abstract

Masonry is a common component with low maintenance and good durability. Several new materials and modern building masonry technologies are now available in the building marketplace. The walls that make up the envelope of buildings are one of the features needing improvements, because, despite their economic and functional importance, they are the building elements in which most defects are noticeable.

In view of the need to reduce the consumption of non-renewable resources and the increase of the life cycle of materials of construction, this work aims to understand the influence of the lightweight aggregates from different natures in the performance of masonry and contribute technically to the recycling of industrial waste in construction materials. The first objective of this study describes the development of a new type of hollow concrete masonry block unit with specific geometric characteristics in order to minimize its weight and also to reduce the use of mortar cement.

With the goal of studying the mechanical behavior of concrete, by incorporating recycled lightweight aggregates, was produced a reference concrete with Portland cement (CEM I 42.5 R) and aggregates, with a proportion of 1:10. The amount of aggregates was replaced based on two variables: the percentage of replacement of natural aggregates by lightweight aggregates (in terms of mass) and the aggregate type. For the implementation of this study were used aggregates from recycling such as the recycled concrete (AR), the natural cork (COR), and expanded polystyrene (EPS).

Were analyzed a number of characteristics in the hardened state in order to better understand all the parameters involved in the performance of masonry, always taking as reference the current standards for aggregates and masonry.

In general the results obtained confirm the viability of the use of lightweight aggregates, as an alternative or complement to natural aggregates. In general way, the concrete had good performance in terms of physical and mechanical point of view.

Keywords

Masonry; Industrial waste; Lightweight aggregates; Recycled aggregates; Physical properties; Mechanical properties.

Índice

1. Introdução	1
1.1. Enquadramento do tema	1
1.2. Objetivos e justificação do tema.....	2
1.3. Organização da dissertação	2
2. Alvenarias.....	5
2.1. Evolução das alvenarias.....	5
2.2. Terminologia relativa a alvenarias.....	7
2.2.1. Elementos	8
2.2.2. Furação	8
2.2.3. Assentamento	9
2.2.4. Blocos fabricados em Portugal	10
2.3. Documentos Normativos	11
2.4. Blocos de betão.....	13
2.4.1. Constituintes dos blocos de betão.....	13
2.4.2. Equipamentos utilizados na produção dos blocos de betão	17
3. Procedimento experimental.....	19
3.1. Introdução.....	19
3.2. Materiais utilizados	19
3.2.1. Cimento.....	19
3.2.2. Agregados	19
3.2.3. Água da amassadura.....	23
3.3. Ensaio de caracterização dos materiais	23
3.3.1. Baridade	23
3.3.2. Análise granulométrica	24
3.3.3. Absorção de água dos agregados.....	25
3.3.4. Massa volúmica.....	26
3.4. Características geométricas dos blocos de betão	27
3.4.1. Dimensões.....	28
3.5. Estudo da composição dos betões	30
3.5.1. Introdução	30
3.5.2. Referência a métodos de estudo de composições.....	31
3.5.3. Método de estudo das composições	32
3.5.4. Composições adotadas	33
3.6. Amassadura	33

3.6.1.	Equipamento	33
3.6.2.	Procedimento	34
3.6.3.	Execução e conservação dos provetes	34
3.7.	Moldagem dos blocos de betão	35
3.7.1.	Equipamento	35
3.7.2.	Procedimento	36
3.8.	Ensaio para caracterização dos betões em estudo	36
3.8.1.	Ensaio no estado fresco	36
3.8.2.	Ensaio no estado Endurecido.....	38
4.	Apresentação e discussão de resultados.....	43
4.1.	Introdução.....	43
4.2.	Betões estudados	43
4.3.	Caracterização das amassaduras no estado fresco	43
4.3.1.	Consistência	43
4.3.2.	Massa volúmica aparente	44
4.4.	Caracterização das amassaduras no estado endurecido.....	45
4.4.1.	Massa volúmica.....	45
4.4.2.	Resistência à compressão	47
4.4.3.	Absorção de água por capilaridade.....	49
5.	Conclusões e propostas de trabalhos futuros	53
5.1.	Conclusões	53
5.2.	Propostas para trabalhos futuros	54
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
	ANEXOS	59
	ANEXO A.....	61
	Anexo A.1.	63
	Anexo A.2.	67

Lista de Figuras

Figura 2.1. Muralha de Jericó.....	6
Figura 2.2. Área bruta e área efetiva do bloco desenvolvido no estudo.....	9
Figura 2.3. Legenda para o bloco desenvolvido no estudo	10
Figura 2.4. Resíduos de betão utilizados para reciclagem.....	15
Figura 2.5. Cortiça natural após uso industrial.....	16
Figura 2.6. Resíduos de EPS para reciclagem.....	17
Figura 3.1. Agregados naturais utilizados	20
Figura 3.2. Granulometria dos agregados naturais	21
Figura 3.3. Granulometria dos agregados reciclados	21
Figura 3.4. Agregados leves utilizados.....	22
Figura 3.5. Granulometria dos agregados leves	23
Figura 3.6. Materiais utilizados para determinar a baridade ou massa volúmica aparente	24
Figura 3.7. Série de peneiros EN 933	25
Figura 3.8. Saturação das amostras, ensaio de absorção	26
Figura 3.9. Determinação da massa volúmica	27
Figura 3.10. Bloco de betão desenvolvido e fabricado no Laboratório Tecnologia e Ensaios Mecânicos	28
Figura 3.11. Dimensões em planta e em plano 3D dos blocos de betão	29
Figura 3.12. Sistema desenvolvido	29
Figura 3.13. Molde dos blocos de betão	30
Figura 3.14. Betoneira utilizada.....	34
Figura 3.15. Mesa vibratória utilizada no estudo	36
Figura 3.16. Mesa vibratória utilizado no estudo	37
Figura 3.17. Ensaio de massa volúmica aparente da mistura no estado fresco.....	38
Figura 3.18. Sequência esquemática dos ensaios realizados nos provetes	39
Figura 3.19. Prensa de compressão usada	39
Figura 3.20. Ensaio de absorção de água por capilaridade	42
Figura 4.1. Determinação do teor de água de moldagem.....	44
Figura 4.2. Massa volúmica das amassaduras no estado fresco	45
Figura 4.3. Massa volúmica dos provetes no estado endurecido.....	46
Figura 4.4. Resistência à compressão das composições estudadas	47
Figura 4.5. Forma de rotura de um dos provetes	48
Figura 4.7. Coeficiente de capilaridade dos betões	49
Figura 4.8. Qualidade do betão em função do coeficiente de absorção S.....	50
Figura 4.9. Absorção capilar dos betões.....	50

Lista de Tabelas

Tabela 2.1. Descrição dos Comitês Técnicos	11
Tabela 2.2. Descrição das normas referentes às alvenarias	12
Tabela 3.1. Características físicas dos agregados naturais	20
Tabela 3.2. Percentagem de material passado nos peneiros	21
Tabela 3.3. Características físicas dos agregados reciclados.....	21
Tabela 3.4. Percentagem de material passado nos peneiros	21
Tabela 3.5. Características físicas dos agregados leves.....	22
Tabela 3.6. Percentagem de material passado nos peneiros	23
Tabela 3.7. Composições estudadas (kg/m ³)	33
Tabela 3.8. Tempo de vibração utilizado em segundos, em função das composições	35
Tabela 4.1. Tempo de consistência Vebe	44
Tabela 4.2. Classificação dos betões leves pela massa volúmica (de acordo com EC2 [45] e	46
Tabela 4.3. Resistência à compressão para cubos de 15 x 15 cm (MPa)	47
Tabela A.1.1. Composição do betão de referência	65
Tabela A.2.2. Composição betão AR50%.....	69
Tabela A.2.3. Composição betão AR100%	70
Tabela A.2.4. Composição betão COR50%.....	71
Tabela A.2.5. Composição betão COR100%	72
Tabela A.2.6. Composição EPS50%	73
Tabela A.2.7. Composição EPS100%.....	74

Lista de Acrónimos

ANIPB	Associação Nacional dos Industriais de Prefabricação em Betão
APCOR	Associação Portuguesa de Cortiça
CEB/FIP	International Federation for Structural Concrete
CEN	Comissão Europeia de Normalização
DECA	Departamento de Engenharia e Arquitetura
ESTT	Escola Superior de Tecnologia de Tomar
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
IPQ	Instituto Português de Qualidade
LNEC	Laboratório de Engenharia Civil, Lisboa (Portugal)
RILEM	Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les constructions, Paris
UBI	Universidade da Beira Interior
UNL	Universidade Nova de Lisboa

Simbologia

Alfabeto Latino

A	Área, m ²
A%	Absorção de água do agregado, em %
AR	Betão reciclado
B6	Brita 0/6
B _x	Baridade seca não compactada do material X, expressa em kg/m ³
C	Coefficiente de capilaridade, em kg/(m ² min. ^{0.5})
C1	Cimento CEM I 42,5 R
COR	Cortiça natural
EPS	Poliestireno expandido
F	Força, em N
f	Resistência à flexão, em N/mm ²
f _u	Resistência à tração, em N/mm ²
f _x	Fração unitária do agregado X relativa ao volume absoluto total de agregados
g	Tensão de cedência relativa
M _x	Massa do material X
Ref.	Amassadura de referência
R _x	Razão em massa do material X
S2	Areia 0/2
S4	Areia 0/4
t _x	Traço do material X, expresso em volume não compactado
V _x	Volume absoluto do material X
W	Água de amassadura
W/C	Razão em massa entre as quantidades de água e de cimento da mistura

Alfabeto grego

μ	Coefficiente de viscosidade plástico
δ	Massa volúmica dos agregados, em kg/m ³
Y _{saturada}	Massa volúmica saturada da amassadura no estado endurecido, em kg/m ³
Y _{seca}	Massa volúmica seca da amassadura no estado endurecido, em kg/m ³

1. Introdução

A utilização de soluções construtivas em alvenaria e a sua adequação em função dos benefícios económicos, construtivos ou de habitabilidade não é apenas uma necessidade atual nem somente uma necessidade nacional. De facto, esta inovação na arte de melhor construir vem dos tempos dos povos primitivos, ou seja a séculos a.C. [1].

1.1. Enquadramento do tema

As paredes de alvenaria constituem um subsistema onde são englobados elementos de custo elevado, tais como revestimentos e esquadrias. Representam o maior volume de materiais de área em planta e correspondem a cerca de 35% do peso do edifício. Interagem com a produção de praticamente todos os demais subsistemas, impondo o cronograma de trabalhos e sequência de execução das demais tarefas. [2]

O custo dos trabalhos em alvenarias, representa em Portugal cerca de 8,5 a 10,5% do custo global dos edifícios [3].

Convém ter presente que as alvenarias já sofreram um declínio associado à perda de importância funcional e económica resultante do surgimento dos novos materiais estruturais que ocorreu no fim do século XIX, primeira metade do século XX [3]. Alguns países europeus conseguiram revitalizar o sector das alvenarias e adequar as soluções de paredes interiores e exteriores à nova realidade da construção. Em Portugal esse esforço ainda não foi verdadeiramente iniciado. A passagem das soluções clássicas tradicionais, tendo por base as alvenarias resistentes em pano simples, para as soluções atualmente praticadas recorrendo a alvenarias duplas preenchendo estruturas reticuladas de betão armado, não teve subjacente uma correta ponderação de todos os aspetos que intervêm no comportamento dessas paredes.

O crescimento da consciência ambiental por parte das populações e dos utentes dos edifícios está a conduzir a uma pressão sobre os agentes da construção no sentido de privilegiar soluções naturais, sustentadas em termos ambientais e geradoras de poucos impactos.

No presente trabalho serão abordadas unidades de alvenaria em betão. Na conceção das unidades, para além do cumprimento de especificações mínimas referentes a dimensões e valores de resistência exigidas [4], foram concebidas para uma utilização que em pouco altere os tradicionais processos de construção de paredes.

O presente estudo surge com a necessidade de contribuir com as poucas referências bibliográficas que abordam o tema, apresentado uma fundamentação de base científico-tecnológica, onde se procurou investigar detalhadamente os fatores que influenciam nas propriedades e na dosagem do betão utilizado na produção dos blocos. Esse assunto, na

maioria das vezes é abordado por metodologias, de certa forma, empíricas e não sistêmicas, baseadas em experiências de operários e profissionais da área. A possibilidade de utilização de resíduos, como agregado reciclado, em substituição aos agregados convencionais, geralmente empregados na produção dos blocos, também é analisada. Esta proposta vem contribuir com os estudos sobre a reciclagem dos resíduos.

1.2. Objetivos e justificação do tema

O presente estudo tem como objetivo, contribuir para melhor conhecimento das unidades de alvenaria produzidas com agregados de resíduos industriais, com particular destaque para as unidades de alvenaria que recorrem a agregados de cortiça natural, EPS e betão reciclado.

Os principais pontos focados na investigação no presente trabalho são:

- Conceção de uma unidade de alvenaria;
- Caracterização dos agregados;
- Dosagem de cimento, água e agregados;
- Estudo de composições;
- Propriedades do betão fresco e endurecido;
- Propriedades das unidades de alvenaria.

Pretende-se também dar algum destaque especial à metodologia do estudo das composições para unidades de alvenaria, uma vez que existe ainda uma grande falta de informação nesse campo específico.

1.3. Organização da dissertação

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos resumindo-se, em seguida, os principais assuntos abordados em cada um deles.

No primeiro e presente capítulo efetua-se o enquadramento do tema desta dissertação, descreve-se os objetivos delineados e a metodologia adotada e expõem-se a distribuição das várias partes do trabalho

No segundo capítulo apresenta-se contextualizar o leitor, sendo por isso apresentada uma evolução histórica dos princípios construtivos das alvenarias e é também apresentada a definição de um conjunto de termos técnicos relativos às alvenarias e seus constituintes. Efetua-se também uma breve descrição dos diversos tipos de agregados leves empregues no fabrico das unidades de alvenaria, bem como uma sucinta descrição das suas características. Por fim, são apresentados os documentos normativos associados à indústria de prefabricados de betão em geral, e particulariza-se a situação normativa para blocos de betão para alvenaria.

No terceiro capítulo apresenta-se a campanha experimental desenvolvida para dar cumprimento aos objetivos estabelecidos. Neste definem-se os materiais utilizados na composição dos betões, a sua preparação, e descrevem-se os fundamentos teóricos, utensílios e procedimentos adotados, associados a cada ensaio.

No quarto capítulo expõem-se a apresentação, análise e discussão de resultados obtidos ao longo da campanha experimental. Neste caracterizam-se os betões, ao nível das suas propriedades mecânicas e físicas, sustentadas por quadros e elementos gráficos. Sempre que possível, foram ainda estabelecidas correspondências entre os vários ensaios realizados para uma melhor compreensão dos betões em estudo. Por fim avaliam-se as unidades de alvenaria de betão produzidas com agregados de resíduos industriais de acordo com as normas em vigor.

No quinto capítulo e último capítulo apresenta-se as conclusões adquiridas após a análise aos resultados alcançados ao longo da campanha experimental, definindo-se ainda várias propostas de desenvolvimentos futuros neste âmbito.

Ainda no fim do trabalho apresentam-se as referências bibliográficas e alguns anexos com informação complementar.

2. Alvenarias

2.1. Evolução das alvenarias

Desde cedo o Homem revelou a necessidade de construir. Os primeiros monumentos do Homem remetem-nos à Pré-história, onde se verificam construções para fins religiosos e também as primeiras construções para fins habitacionais. Este tipo de construção resultou do sedentarismo do Homem, ou seja, a agregação populacional conduziu à formação de comunidades. O desenvolvimento destas comunidades levou à formação de vilas e cidades e o aperfeiçoamento das técnicas construtivas utilizadas levou à construção de muros e paredes em alvenaria de pedra ou de blocos de barro, consoante a disponibilidade dos materiais no local.

O emprego de alvenarias em edifícios antigos remonta à mais longínqua Antiguidade. É vulgar considerar edifícios antigos aqueles em cuja realização eram usadas as tecnologias tradicionais, que se mantiveram sem grande alteração até ao advento do betão armado, o que veio a ocorrer a partir de meados do século XIX e de forma generalizada na segunda metade do século XX. Sublinha-se que os reflexos da Revolução Industrial só têm efeitos verdadeiramente revolucionários na construção com a generalização do betão armado.

Na construção antiga tradicional as alvenarias eram genericamente resistentes, mas além das funções de suporte da construção, contribuíam igualmente para assegurar outras exigências funcionais. Embora nas construções antigas predominassem os materiais de carácter regional, era muito reduzido o número de materiais dominantes, sendo praticamente usados apenas a pedra, o tijolo e a madeira.

Embora os povos pré-históricos edificassem abrigos e construções funerárias, a cidade de Jericó constitui o estabelecimento urbano mais antigo que embora neolítico, pois existia já cerca de 7000 A.C., apresenta manifestações arquitetónicas monumentais. Tratava-se de uma cidade fortificada em frente ao rio Jordão que dispunha de sólidas muralhas cilíndricas e edifícios com paredes de adobe e tijolo cozido ao sol, em alguns casos cobertas com estuque pintado, Figura 2.1.



Figura 2.1. Muralha de Jericó

Entre 1700 e 1900, desenvolvem-se os conceitos de alvenaria armada e de edifícios altos em alvenaria resistente. Na construção do Panthéon, em Paris, Gauthey estabelece as bases para o conceito de alvenaria armada. Surgem pontes em Paris, por Perronet, e Marc Brunnel executa o Túnel sob o Rio Tamisa [1]. Não existiam escolas de engenharia nem processos de divulgação interativa das inovações e das novas técnicas construtivas que se iam desenvolvendo, adaptando e surgindo. As regras de "cálculo" eram baseadas na experiência, na prática de edificar e na visualização do "comportamento estrutural" ao longo do tempo dessas construções históricas, seguindo-se regras puramente empíricas e intuitivas.

Seguiram-se cerca de 60 anos de estagnação no desenvolvimento de novas metodologias construtivas em alvenaria. Neste período, desenvolveu-se a tecnologia do betão armado e da produção de aço, permitindo realizar obras com estruturas reticuladas, mais esbeltas e de grande altura [1]. Apesar deste facto, a tradicional técnica de construção em alvenaria não foi tratada como uma solução estrutural e mesmo como sistema construtivo foi relegada para funções de fechamento e compartimentação das estruturas "porticadas" executadas com os materiais mais modernos. Mesmo em edifícios de pequeno porte, a sua aplicação com função estrutural foi esquecida da importância e da evidência que lhes era dada nos tempos anteriores. Como consequência, a investigação e o desenvolvimento da alvenaria estagnou.

A primeira ameaça ao domínio da alvenaria como solução estrutural ocorreu em meados do século XIX, quando se iniciou a produção de vigas e pilares em ferro fundido. No final deste século as técnicas de construção de edifícios altos já tinham eliminado a necessidade de paredes de grande espessura nos pisos inferiores. No entanto, o colapso da alvenaria como material estrutural iniciou-se no princípio do século XX, com a introdução de regulamentos na Alemanha, França e Reino Unido para estruturas de betão armado. Este material é durável,

resistente, moldável e económico pelo que a utilização da alvenaria como material estrutural foi fortemente abalada nos países mais desenvolvidos [5].

As alvenarias têm grande influência no desempenho do edifício, nomeadamente quanto à habitabilidade, segurança e durabilidade.

As alvenarias de betão, como material de construção para alvenarias, surgiram em Portugal durante a década de 60. O fabrico das alvenarias de betão era realizado em instalações de pequena dimensão e produzidos em linhas de pequena série. Hoje em dia verificamos a existência de empresas industriais que investiram em tecnologias de produção em grande série e com níveis de automação atualizados [2].

Independentemente das paredes terem ou não funções resistentes consideradas na análise estrutural, a tentativa de conhecer e melhorar o comportamento mecânico das paredes é importante, para além dos aspetos óbvios de resistência estrutural, também para reduzir a suscetibilidade das paredes a fissuração por deformação dos seus suportes, por variações de temperatura, ou ainda por assentamentos diferenciais das fundações. Esta melhoria do comportamento mecânico das paredes não pode ser equacionada de forma isolada, devendo ter em conta as outras exigências funcionais.

Pretende-se com este capítulo fazer uma breve abordagem às características de maior relevância para a definição das alvenarias de betão que serão estudadas no desenvolvimento experimental deste trabalho. Será por isso explorado no presente capítulo a influência de diversos materiais, em especial os agregados leves, no desempenho das alvenarias de betão, suas propriedades e principais características, assim como os requisitos funcionais e normativos subjacentes às alvenarias de betão, ferramentas importantes para a obtenção de blocos de betão com qualidade e comportamento melhorado.

2.2. Terminologia relativa a alvenarias

As alvenarias são sistemas construtivos que resultam da associação de elementos naturais (pedras regulares ou irregulares) ou artificiais (cerâmicos, betão - agregados correntes ou leves, betão celular autoclavado, pedras artificiais ou silico-calcários). A ligação entre os blocos é correntemente assegurada por uma argamassa. As alvenarias podem ser reforçadas com armaduras [6].

As alvenarias podem ser classificadas quanto ao seu aspeto final, à sua localização e à sua função estrutural.

O aspeto final da alvenaria depende essencialmente do bloco a utilizar, podendo ficar este com a face à vista ou ser rebocado.

No que se refere à localização das alvenarias, estas podem ser interiores, apresentando funções de compartimentação, ou exteriores, caso façam parte da envolvente exterior.

A função resistente de uma alvenaria é definida pela contribuição que as mesmas têm na garantia da estabilidade do edifício face a ações verticais e horizontais. Neste sentido distinguem-se as alvenarias resistentes (com capacidade resistente) das alvenarias de simples preenchimento (sem função estrutural). No entanto, deve-se referir que todas as paredes de alvenaria desempenham função resistente uma vez que é necessário assegurar a sua auto-estabilidade bem como a resistência às ações a que estão sujeitas.

No que se refere ao projeto de alvenarias, a NP EN 1996.1.1 [7] aplica-se a estruturas de alvenaria simples, de alvenaria armada, de alvenaria pré-esforçada e a alvenaria confinada.

2.2.1. Elementos

Os elementos ou unidades das alvenarias são elementos modulares com dimensões mais ou menos regulares que compõem e caracterizam o pano de alvenaria.

As unidades para alvenaria consideradas pela norma são dos seguintes tipos:

- Tijolos cerâmicos, de acordo com a EN 771-1 [8];
- Blocos sílico-calcários, de acordo com a EN 771-2 [9];
- Blocos de betão (de agregados correntes ou leves), de acordo com a EN 771-3 [4];
- Blocos de pedra artificial, de acordo com a EN 771-5 [10];
- Blocos de pedra natural, de acordo com a EN 771-6 [11].

No âmbito deste trabalho interessa apenas definir blocos de betão. Sousa [6], apresenta uma definição corrente de blocos de betão. Aí é referido que o bloco de betão é um produto em betão homogéneo, não armado, de inertes correntes ou leves, forma geralmente paralelepípedica, de fabricação industrial, possuindo características regulares e controladas, assente com juntas de argamassa, eventualmente secas, servindo para construir paredes e divisórias.

2.2.2. Furação

No que se refere à furação os blocos podem ser caracterizados com recurso aos seguintes conceitos:

- Orifícios atravessantes - vazios, normalmente associados à prensagem ou extrusão, que atravessam todo o elemento segundo a direção horizontal ou vertical.
- Furo ou orifícios profundos não atravessantes - vazios, normalmente associados à prensagem, atravessando grande parte do elemento na direção horizontal ou vertical e que são limitados por uma parede pouco espessa.

- Depressão ou orifícios de profundidade limitada - cavidades de pequena profundidade, normalmente horizontais e cuja influência no enfraquecimento do elemento se considera negligenciável.
- Percentagem de furação - razão entre a secção bruta deduzida da secção efetiva e a secção bruta. Expressa a relação entre a superfície total dos orifícios atravessantes, ou profundos não atravessantes, e a secção total da face perpendicular aos orifícios limitada pelo seu contorno.

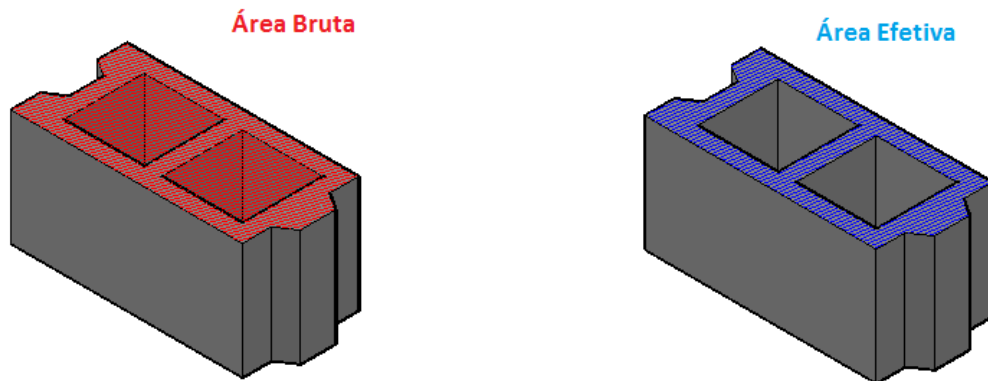


Figura 2.2. Área bruta e área efetiva do bloco desenvolvido no estudo

- Rebaixo - vazio formado no fabrico da unidade para alvenaria para possibilitar um melhor manuseio com uma ou ambas as mãos ou por máquina.
- Septo interior - material sólido entre os furos numa unidade de alvenaria.
- Septo exterior- material periférico entre um furo e uma face de uma unidade de alvenaria.

2.2.3. Assentamento

Apresenta-se neste ponto os principais conceitos às ligações entre blocos:

- Junta - espaço entre dois elementos adjacentes, preenchido ou não por material.
- Junta contínua - junta em argamassa, estendendo-se de forma contínua duma face à outra.
- Junta descontínua - junta em argamassa apresentando um ou mais vazios paralelos aos paramentos, existindo em todo o comprimento do elemento (junta horizontal), ou em toda a altura (junta vertical).
- Face de apoio - face inferior do elemento na posição em obra, apoiando-se na argamassa inferior.
- Face de assentamento - face superior do elemento na posição em obra, recebendo a camada de argamassa que irá construir a junta horizontal superior.
- Secção de apoio - superfície comum das faces de apoio e assentamento do elemento, sobrepostas por juntas de argamassa capazes de transmitirem as cargas.

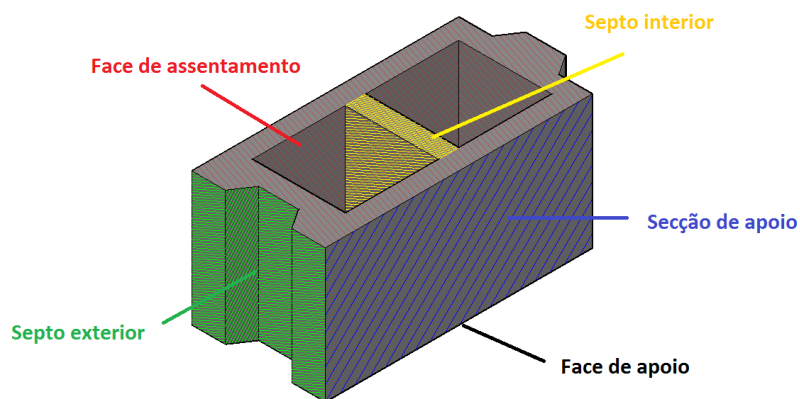


Figura 2.3. Legenda para o bloco desenvolvido no estudo

2.2.4. Blocos fabricados em Portugal

A evolução das fachadas em Portugal passa por um período marcado pela construção de edifícios utilizando sistemas de alvenarias estruturais. Desde habitações em granito no Norte de Portugal passando pelas rochas vulcânicas utilizadas nos Açores e o barro utilizado na construção Alentejana, existem inúmeros bons exemplos de aplicação deste sistema construtivo.

O desenvolvimento tecnológico trouxe para o mercado português as estruturas de betão reticulado que reduzem significativamente a largura das paredes. Este e outros benefícios característicos deste sistema construtivo conduziram ao seu desenvolvimento e à sua proliferação no mercado português, por consequência houve um desinteresse generalizado por sistemas de alvenarias estruturais.

Atualmente, os sistemas resistentes de alvenarias são pouco utilizados no nosso país e a investigação de novos materiais e sistemas construtivos nesta área é também escasso. Esta tendência vai contra o que acontece em países tecnologicamente mais avançados, com os Estados Unidos da América (EUA), o Canadá, a Alemanha, e outros cujos resultados são economicamente mais vantajosos reduzindo tanto os tempos como os resíduos de construção.

O facto de a indústria da construção portuguesa estar pouco voltada para as alvenarias estruturais fez com que a variedade de blocos seja também mais limitada. Assim encontram-se blocos cuja utilização se verifica em alvenarias correntes, blocos com características melhoradas e blocos com encaixe na junta vertical.

Os blocos de betão utilizados em alvenaria corrente implicam a utilização de argamassa nas juntas.

2.3. Documentos Normativos

O desenvolvimento tecnológico associado aos materiais e às técnicas de construção civil está condicionado pelas imposições normativas vigentes em cada país. Assim, para que o desenvolvimento de novos materiais e métodos construtivos de alvenarias seja crescente é necessário apostar na criação de novas normas e no desenvolvimento das existentes promovendo deste modo a evolução do mercado.

No que se refere a documentos normativos referentes aos blocos de betão para alvenaria, a avaliação das suas características, bem como a avaliação do comportamento das alvenarias destaca-se o trabalho da Comissão Europeia de Normalização (CEN) que tem sido notório nesse âmbito.

No site da ANIPB é apresentado um quadro atualizado com os diferentes Comitês Técnicos (CT) e as normas de produto aplicáveis à indústria de prefabricados de betão.

Tabela 2.1. Descrição dos Comitês Técnicos

Comitês Técnicos Envolvidos	Tema
CEN/TC 50	Postes de Iluminação
CEN/TC 125	Alvenaria
CEN/TC 128	Coberturas
CEN/TC 164	Abastecimento de Água
CEN/TC 165	Águas Residuais
CEN/TC 166	Chaminés
CEN/TC 177	Produtos prefabricados de betão autoclavado ou de betão com agregados leves
CEN/TC 178	Revestimento de Pavimento
CEN/TC 226	Equipamentos Rodoviários
CEN/TC 229	Prefabricados de betão
CEN/TC 246	Pedras Naturais
CEN/TC 256	Aplicações Ferroviárias

Face à tabela apresentada anteriormente e enquadrando-a ao âmbito desta dissertação, interessa apenas estudar e analisar as normas associadas a alvenarias (CEN/TC 125).

Tabela 2.2. Descrição das normas referentes às alvenarias

NORMA		Directiva	Citada no JOUE
Número	Título		
EN 771-2:2004	Especificações para unidades de alvenaria	89/106/EEC	C 84 (2004-04-03)
	Parte 2 : Unidades para alvenaria com silicato de cálcio		C 319 (2005-12-14) C 139 (2005-06-08) C 271 (2003-11-12)
	Emenda 1		C 79 (2005-04-01) C 319 (2005-12-14) C 139 (2005-06-08)
NP EN 771-3	Especificações para unidades de alvenaria	89/106/EEC	C 271 (2003-11-12)
	Parte 3: Blocos de betão de agregados (agregados correntes e leves)		C 84 (2004-04-03) C 79 (2005-04-01) C 139 (2005-06-08) C 319(2005-12-14)
	Emenda 1		C 79 (2005-04-01) C 319 (2005-12-14) C 139 (2005-06-08)
EN 771-4:2003	Especificações para unidades de alvenaria	89/106/EEC	C 84 (2004-04-03)
	Parte 4 : Blocos de betão celular autoclavado		C 319 (2005-12-14) C 139 (2005-06-08) C 271 (2003-11-12)
	Emenda 1		C 79 (2005-04-01) C 319 (2005-12-14) C 139 (2005-06-08)
EN 771-5:2003	Especificações para unidades de alvenaria	89/106/EEC	C 263 (2004-10-26)
	Parte 5 : Produção de unidades de pedra		C 319 (2005-12-14) C 139 (2005-06-08)
	Emenda 1		C 79 (2005-04-01) C 319 (2005-12-14) C 139 (2005-06-08)
EN 845-2:2003	Especificação dos componentes auxiliares para alvenarias	89/106/EEC	C 319 (2005-12-14)
	Parte 2 : lintéis		C 139 (2005-06-08) C 271 (2003-11-12)

No que se refere aos blocos em estudo interessa analisar a norma EN 771-3: “Especificações para blocos de alvenaria- Parte 3: Blocos de betão de agregados (agregados correntes e leves)” [4].

Na referida norma são apresentadas as características e requisitos para blocos de alvenaria de agregados correntes e leves, desde que a sua principal utilização seja o uso corrente, revestida ou à vista, resistente ou não aplicada em edifícios ou em obras de engenharia civil.

Estes blocos são aplicados a todos os tipos de paredes e podem conferir proteção ao fogo, isolamento térmico e acústico e absorção acústica.

Na norma NP EN 771-3 [4] são também incluídos os blocos de betão para a alvenaria de forma paralelepípedica retangulares ou não retangulares, de formas especiais e blocos acessórios.

Define o desempenho relacionado com a resistência, massa volúmica, tolerâncias dimensionais e permite a avaliação da conformidade do produto, apresentando também os requisitos de marcação do produto.

No entanto, não são especificadas as dimensões normalizadas, nem as dimensões de fabrico normalizadas para blocos com outras formas especiais. Também não abrange painéis de alvenaria, blocos de ventilação nem blocos de alvenaria utilizados como barreiras de corte de capilaridade.

2.4. Blocos de betão

Neste ponto serão apresentados alguns dos fatores mais importantes relativos ao processo de produção de blocos de concreto. É abordado também, entre outras coisas, os materiais, a maquinaria, as várias fases do processo de produção e os parâmetros da mistura. A partir desta revisão foi possível definir quais os procedimentos a serem utilizados para o desenvolvimento da pesquisa experimental.

2.4.1. Constituintes dos blocos de betão

A qualidade da amassadura depende em grande parte do traço, mas também das características dos constituintes que entram na sua composição. É necessária uma total compreensão acerca de todos estes fatores para que se possa prever de forma adequada as características específicas de cada uma das amassaduras a produzir.

2.4.1.1. Aglomerante

A designação de aglomerante advém da capacidade que estes materiais possuem de aglomerar uma grande quantidade de materiais inertes, conferindo ao conjunto uma grande coesão e resistência mecânica. Os aglomerantes podem ser classificados como hidráulicos, aéreos, betuminosos ou poliméricos.

Para este estudo foi utilizado unicamente cimento, segundo a norma NP EN 197-1 [12] “o cimento é um ligante hidráulico, isto é, um material inorgânico finamente moído que, quando misturado com a água, forma uma pasta que ganha presa e endurece devido a reações e processos de hidratação e que, depois de endurecida, conserva a sua resistência mecânica e estabilidade mesmo debaixo de água.”. É sem dúvida o ligante mais utilizado nas formulações de argamassas. Trata-se de um ligante hidráulico que resulta da cozedura do cru, mistura moída de calcário e argila normalmente com percentagens de 60% a 80% de calcário e o restante argila. A mistura é submetida a temperaturas entre os 1400°C a 1500°C a fim de se obter o clínquer. O processo final consiste na moagem muito fina do clínquer com adição de um regulador de presa, normalmente gesso, para controlar a presa (retardando-a) e outros aditivos (filler calcário, cinzas volantes, escórias) que dão origem a cimentos específicos.

2.4.1.2. Agregados de densidade normal

O uso, unicamente de pasta de cimento endurecida como material de construção seria impensável, apesar de apresentar resistência mecânica aceitável, devido à grande instabilidade dimensional, aos valores elevados de fluência e retração, e ao elevado custo. Então, o objetivo será de utilizar a máxima quantidade de agregados de granulometria adequada, permitindo a maior compactação possível, minimizando o volume de vazios e permitindo utilizar uma quantidade mínima de pasta de cimento mas de maneira que aglomere as partículas de agregados [13].

O agregado é um material granular utilizado na construção, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído pela mistura de partículas cobrindo uma extensa gama de tamanhos.

2.4.1.2.1. Agregados naturais

Segundo a origem os agregados podem ser classificados de agregados naturais, ou seja, “agregado de origem mineral que foi sujeito apenas a processamento mecânico” que já se encontram tal como são na natureza (areia e godo) e os agregados britados que são o resultado da britagem de materiais naturais (britas e areias britadas) [13].

Em termos de classificação granulométrica, o agregado é normalmente classificado em dois conjuntos distintos: o agregado é denominado de grosso se ficar retido no peneiro com malha superior a 4 mm, sendo godo se for de origem sedimentar, rolado (calhau ou seixo) ou brita se for partido artificialmente, ou por agregado fino se as suas dimensões forem inferiores a 4mm como é o caso da areia rolada, de origem sedimentar ou da areia britada de origem artificial [14].

2.4.1.2.2. Agregados reciclados

É definido como “agregado resultante do processamento de materiais inorgânicos anteriormente utilizados na construção” são os mais recentes de todos os agregados e são os obtidos por reciclagem de materiais, tais como os da trituração de betão endurecido proveniente dos escombros [13].

Os agregados reciclados foram obtidos a partir da reciclagem de materiais betuminosos do Laboratório de Materiais de Construção da UBI, Figura 2.4.



Figura 2.4. Resíduos de betão utilizados para reciclagem

2.4.1.3. Agregados leves

Estão atualmente disponíveis no mercado muitos agregados leves diferentes, que permitem a obtenção de várias amassaduras leves com diversas características físicas e mecânicas. As características tão variadas dentro da diversidade deste tipo de agregados advém da forma como surgiram na natureza ou foram fabricados. Os agregados leves têm sido apontados por diversos autores como responsáveis pelas melhorias térmicas e acústicas dos edifícios.

De modo a entender melhor todos os resultados obtidos na parte experimental deste estudo é importante antes de mais explorar as propriedades associadas a cada um dos agregados leves utilizados, pois só assim será possível antecipar os resultados que se venham a obter.

2.4.1.3.1. Cortiça natural

Os maiores países produtores de cortiça pertencem à união europeia, com principal destaque para Portugal com mais de metade da produção de toda a Europa, contribuindo para a economia e empregabilidade na união europeia [15] .

A matéria extraída do sobreiro, a cortiça, apresenta uma grande vantagem que hoje em dia é muito valorizada: pode ser reutilizada e reciclada, pois as suas propriedades mais relevantes são mantidas intactas ao longo do tempo. Esta reutilização está relacionada com as placas de aglomerado expandido, mas no caso de tal não ser possível, como por exemplo, na ocorrência de quebras de placas, este pode ser triturado para a criação de granulados [15].

A cortiça é por definição o parênquima suberoso originado pelo meristema súbero-felodérmico do sobreiro (*Quercus suber* L), constituindo o revestimento do tronco e ramos do mesmo. O sobreiro é uma árvore de crescimento lento e de grande longevidade, o seu período mais produtivo vai até aos 150-200 anos, mas podem atingir a idade de 250-350 anos [15] [16] [17].

Trata-se de um material leve, elástico e muito impermeável a líquidos e gases, além de funcionar como isolante térmico e elétrico e bom absorvente acústico e vibrático. Este é um material inofensivo e quase possui uma conservação indeterminada, apresenta também a capacidade de ser comprimida sem grande expansão lateral, sendo um bom dissipador de energia de deformação.



Figura 2.5. Cortiça natural após uso industrial

2.4.1.3.2. Poliestireno expandido

O poliestireno expandido é o agregado mais leve. Constituído por um polímero, expande-se por libertação um gás do seu interior em presença do vapor de água. Na construção civil o poliestireno é essencialmente utilizado como isolante térmico, não absorvendo praticamente água.

Durante o processo de fabrico a matéria-prima é sujeita a um processo de transformação física, sem qualquer implicação nas suas propriedades químicas. Este processo é realizado em três etapas distintas. Numa fase inicial o poliestireno é expandido por um pré-compressor através de aquecimento por contacto com o vapor de água, este agente expansor incha o PS, cerca de 50 vezes acima do seu volume inicial, originando um granulado de partículas de EPS constituídas por pequenas células fechadas, que são armazenadas para estabilização. Nesta fase de estabilização o granulado de EPS arrefece, criando depressões no seu interior. No decorrer deste processo o espaço dentro das células é preenchido pelo ar circundante. Finalizada esta etapa o granulado estabilizado é inserido em moldes, nos quais os grânulos são expostos novamente a vapor de água, provocando a soldadura dos mesmos. Deste modo obtém-se um material expandido que é rijo, contendo uma grande quantidade de ar. Após expandido o material pode apresentar em seu volume 98% de ar e apenas 2% de poliestireno [18].

Quando é utilizado no betão, é submetido a um tratamento prévio com vista à criação de uma capa em torno dos grânulos para promover a aderência ao cimento.



Figura 2.6. Resíduos de EPS para reciclagem

2.4.1.4. Água de amassadura

A água de amassadura é indispensável para que as reações de hidratação ocorram e para promover a ligação entre as partículas de cimento e os agregados, tendo uma elevada importância no desempenho dos blocos de betão.

A quantidade de água empregue deve ser cuidadosamente definida consoante a composição das amassaduras em questão. Tem também uma forte influência no rendimento da mão-de-obra, assim como o seu comportamento no estado endurecido.

A água a utilizar deve ser por isso criteriosamente calculada, tendo-se sempre o cuidado de utilizar água limpa e isenta de impurezas, especialmente sais, para não comprometer as amassaduras a uma degradação acelerada.

2.4.2. Equipamentos utilizados na produção dos blocos de betão

Os equipamentos utilizados na produção dos blocos de betão são as vibro-prensas. Têm esta denominação devido ao mecanismo de funcionamento empregue durante o processo de moldagem dos blocos: vibração associada à prensagem. A primeira função é responsável pelo preenchimento e assentamento da mistura nos moldes, e a segunda, influencia o assentamento e o controle da altura dos blocos.

Embora em Portugal não seja esta a realidade a tecnologia das vibro-prensas está a ser cada vez mais desenvolvida. Atualmente em países mais desenvolvidos na fabricação de alvenarias como Brasil e Alemanha existe no mercado uma grande diversidade de equipamentos (desde totalmente automatizados a manuais), com elevada produção e custos relativamente baixos. Este desenvolvimento permite a existência de competitividade entre os diferentes produtos para alvenaria, existentes no mercado.

Neste trabalho não é aprofundado o processo de funcionamento das vibro-prensas, sendo apenas apresentado uma síntese das características mais importantes.

2.4.2.1. Mecanismo de vibração da vibro-prensa: parâmetros que influenciam

O mecanismo de vibração das vibro-prensas é um dos principais responsáveis pelas características dos componentes moldados. Esta vibração é responsável, sobre tudo, pelas operações de moldagem dos blocos.

Os principais parâmetros que caracterizam a vibração, com influência no processo são:

- i. Direção;
- ii. Amplitude;
- iii. Velocidade;
- iv. Aceleração;
- v. Tempo de vibração.

O tempo de vibração é um dos parâmetros considerados essenciais, isto porque é bastante visível a influência deste parâmetro nas características dos blocos, principalmente no assentamento.

Na prática o tempo de vibração é definido em função de critérios relacionados às características do bloco após desformado. Este tempo é o mínimo necessário para que se obtenha:

- Total preenchimento e assentamento da mistura nos moldes da prensa;
- Adequada aparência dos blocos após a desforma, relativa ao uso que se destina;
- Resistência dos blocos para manuseamento logo após a desforma;

3. Procedimento experimental

3.1. Introdução

No sentido de analisar o desempenho de blocos de betão com resíduos industriais, foi realizado um estudo experimental nos Laboratórios de Construção do Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura da Universidade da Beira Interior. Pretende-se com este trabalho experimental compreender a influência que os resíduos industriais têm quando empregues em blocos de betão, nomeadamente no que concerne às suas propriedades físicas e mecânicas.

Para melhor compreender a influência dos agregados leves nas propriedades dos blocos de betão, foram analisados uma série de parâmetros capazes de definir a resistência à compressão e a absorção de água. O objetivo é avaliar a influência dos agregados leves e da sua percentagem de substituição nas propriedades dos blocos de betão.

3.2. Materiais utilizados

A elaboração deste projeto experimental fundamentou-se na necessidade de investigar quais os materiais e composições a serem utilizados no estudo. Deste modo a proporção aglomerante-agregado, bem como as composições granulométricas consideradas ótimas, foram objetos de definição. Além disso foi ponderada a análise comparativa do entulho nestas faixas ótimas.

3.2.1. Cimento

O tipo de aglomerante utilizado no desenvolvimento deste trabalho foi o cimento Portland CEM I 42,5R, classificado de acordo com a norma portuguesa NP EN 197-1:2001 [12]. Os resultados da análise química, dos ensaios físicos que caracterizam este aglomerante foram cedidos pela empresa fornecedora do material. Contudo, foi realizado o ensaio de determinação da massa volúmica e da baridade não compactada, em conformidade com o procedimento estabelecido na Especificação LNEC E64 - 1971 [19] e NP EN 1097-3:2002 [20] , obtendo-se uma massa volúmica de 3100 Kg/m³ e uma baridade não compactada de 1073 Kg/m³.

3.2.2. Agregados

Os agregados utilizados neste estudo foram separados entre os agregados de densidade normal e os agregados leves. Nos agregados de densidade normal é também necessário separar entre os agregados naturais e os agregados obtidos por reciclagem.

Para cada tipo de agregado foram realizados os seguintes ensaios de caracterização dos materiais:

- i. Determinação da massa volúmica dos agregados, de acordo com a NP EN 1097-6:2003 [21];
- ii. Determinação da Baridade seca não compactada, de acordo com NP EN 1097-3:2002 [20];
- iii. Determinação da absorção de água de acordo com a NP EN 1097-6:2003 [21];
- iv. Análise granulométrica de todos os agregados, de acordo com EN 933-1:2000 [22].

3.2.2.1. Agregados naturais

Os agregados naturais finos, designados neste estudo por materiais finos (MF) utilizados foram uma areia natural amarela, correntemente designada de Areia 0/2, uma areia natural rolada calibrada, designada por Areia 0/4, ambos provenientes do Tejo, Figura 3.1. Quanto ao agregado natural grosso, designado por material grosso (MG), optou-se por utilizar os inertes britados provenientes de uma exploração, correntemente designada por Brita 0/6, Figura 3.1. Na Tabela 2.1Tabela 3.1, Tabela 3.2 e na Figura 3.2 são apresentadas as principais características determinadas em laboratório para os agregados naturais utilizados no presente estudo.

Tabela 3.1. Características físicas dos agregados naturais

Características físicas dos agregados naturais				
	B [kg/m ³]	δ [kg/m ³]	A (%)	Módulo Finura
Areia 0/2	1293,2	2559	0,78	2,202
Areia 0/4	1425,0	2586	0,68	2,853
Brita 3/6	2032,0	2700	0,48	5,399

B - Baridade; δ - Massa volúmica; A - Absorção de água dos agregados



Figura 3.1. Agregados naturais utilizados

Tabela 3.2. Percentagem de material passado nos peneiros

Abertura da malha [mm]	Percentagem de Passados		
	Areia 0/2	Areia 0/4	Brita 3/6
8,000	99,99	100,00	100,00
4,000	99,90	100,00	44,02
2,000	99,31	100,00	7,89
1,000	96,04	76,70	4,06
0,500	60,67	31,57	2,21
0,250	18,79	5,52	1,20
0,125	5,13	0,87	0,72
0,063	0,68	0,17	0,24
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Mód. Finura	2,202	2,853	5,399

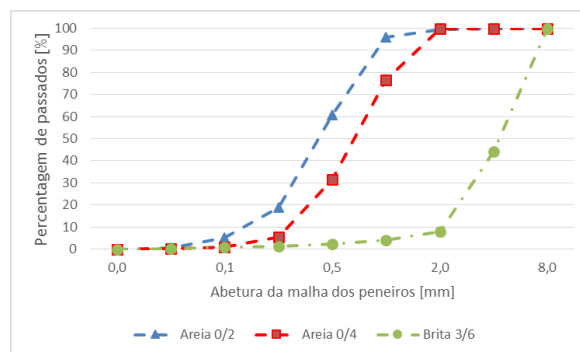


Figura 3.2. Granulometria dos agregados naturais

3.2.2.2. Agregados reciclados

Quanto aos agregados reciclados, decidiu-se optar pela reciclagem de provetes de betão do Laboratório de Tecnologia e Ensaios Mecânicos da UBI. Como a ideia deste estudo é a substituição de agregados naturais por agregados reciclados e leves, quer parcialmente quer totalmente, houve a necessidade de crivar estes agregados reciclados de forma a reduzir a sua máxima dimensão. Na Tabela 3.3, Tabela 3.4 e Figura 3.3 são apresentadas as principais características dos agregados reciclados utilizados. Como forma de comparação foram incluídos na Figura 3.3 as curvas granulométricas dos agregados naturais, apresentadas a traço interrompido.

Tabela 3.3. Características físicas dos agregados reciclados

Características físicas dos agregados reciclados				
	B [kg/m ³]	δ [kg/m ³]	A (%)	Módulo Finura
Areia reciclada	1703,4	2310	0,76	3,166

B - Baridade; δ - Massa volúmica; A - Absorção de água dos agregados

Tabela 3.4. Percentagem de material passado nos peneiros

Abertura da malha [mm]	Percentagem de Passados
	Areia Reciclada
8,000	100,00
4,000	99,91
2,000	81,92
1,000	53,70
0,500	29,46
0,250	12,90
0,125	5,47
0,063	1,43
Resíduo	0,00
Mód. Finura	3,166

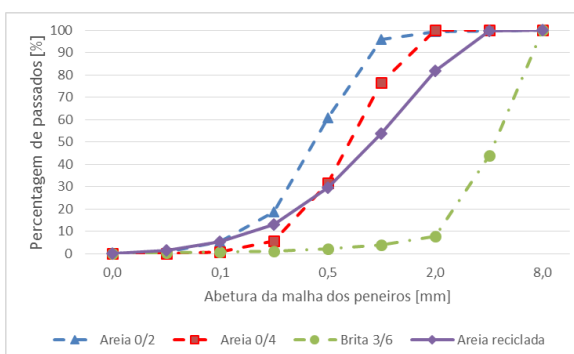


Figura 3.3. Granulometria dos agregados reciclados

3.2.2.3. Agregados leves

Estão disponíveis no mercado atualmente muitos agregados leves diferentes, que permitem a obtenção de várias amassaduras com diversas características físicas e mecânicas. As características tão variadas dentro da diversidade deste tipo de agregados advém da forma com surgiram na natureza ou foram fabricados.

A escolha dos agregados leves incidiu principalmente no pressuposto destes serem materiais resultantes da reciclagem. Os agregados leves utilizados foram a cortiça natural (COR) e EPS, Figura 3.4. Apresentam-se na Tabela 3.5 uma síntese das características de cada um dos agregados leves.

Tabela 3.5. Características físicas dos agregados leves

Características físicas dos agregados leves				
	B [kg/m ³]	δ [kg/m ³]	A (%)	Módulo Finura
COR	95,7	511,4	244,3	4,606
EPS	12,2	114,6	193	4,678

B - Baridade; δ - Massa volúmica; A - Absorção de água dos agregados



Figura 3.4. Agregados leves utilizados

Em seguida são apresentados as percentagens de material passado nos peneiros (Tabela 3.6) e as curvas granulométricas (Figura 3.5) dos materiais leves envolvidos no desenvolvimento deste trabalho experimental. Como forma de comparação foram incluídos na Tabela 3.5 as curvas granulométricas dos agregados naturais, apresentadas a traço interrompido.

Tabela 3.6. Percentagem de material passado nos peneiros

Abertura da malha [mm]	Percentagem de Passados	
	EPS	Cortiça
8,000	100,00	100,00
4,000	97,70	98,78
2,000	27,59	32,52
1,000	4,02	6,48
0,500	1,15	1,01
0,250	1,15	0,51
0,125	0,57	0,10
0,063	0,57	0,00
Resíduo	0,00	0,00
Mód. Finura	4,678	4,606

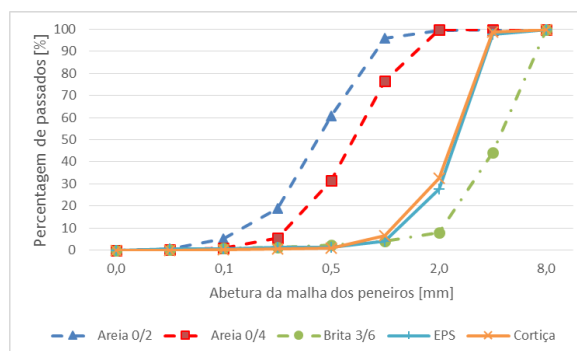


Figura 3.5. Granulometria dos agregados leves

3.2.3. Água da amassadura

A água de amassadura cumpre as imprescindíveis funções, no betão, de hidratar o ligante, molhar os agregados, permitir a realização da mistura e facilitar a colocação em obra. A água deverá ser quimicamente apropriada, isto é, deve ser garantido que a água não possui características que prejudiquem o desenvolvimento da hidratação [23].

A água utilizada em todas as amassaduras foi proveniente da rede pública de abastecimento da Covilhã. Sendo água potável, de acordo com o ponto 3.1 da norma NP EN 1008 [24] apresenta características satisfatórias para ser utilizada como água de amassadura no fabrico de betões, o que está de acordo com a NP EN 206-1 [25].

3.3. Ensaios de caracterização dos materiais

3.3.1. Baridade

A baridade de todos os materiais foi determinada com base na norma NP EN 1097-3:2002 [20]. De acordo com esta norma, a baridade é o quociente da massa do inerte pelo volume por este ocupado em dadas condições de compactação. Neste documento são especificados os procedimentos a efetuar para o cálculo de dois tipos de baridade distintos, a baridade seca compactada e a baridade seca não compactada. No presente estudo apenas foi realizado o procedimento da baridade seca não compactada.

De modo a seguir o referido procedimento, as amostras foram condicionadas numa estufa a uma temperatura que variou consoante o tipo de agregado até massa constante ou até que os valores correspondentes a duas pesagens consecutivas não diferissem mais do que $\pm 0.1\%$. Após o condicionamento, verteu-se o agregado num recipiente, com volume (V) e massa (m1) conhecidos, por meio de uma espátula deixando-o cair de uma altura não superior a 5 cm

acima do bordo do recipiente. Após preenchido o recipiente, este foi nivelado e pesado (m_2), Figura 3.6.



Figura 3.6. Materiais utilizados para determinar a baridade ou massa volúmica aparente

Os resultados obtidos, da Baridade (B), foram calculados de acordo com a Equação (3.1):

$$B = \frac{m_2 - m_1}{V} \times 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (3.1)$$

3.3.2. Análise granulométrica

A metodologia adotada para o ensaio da análise granulométrica cumpre genericamente as indicações da norma Portuguesa NP EN 933-1:2000 [22]. Este procedimento de ensaio apresenta uma série de peneiros, com a seguinte malha: 0,063 mm; 0,125 mm; 0,500 mm; 1 mm; 2 mm; 4 mm e 8 mm. Para a realização do ensaio, os agregados foram condicionados numa estufa ventilada a uma temperatura que variou consoante o material utilizado, 100 °C para agregados naturais e 60 °C para agregados leves, até massa constante. Posteriormente, a amostra foi peneirada nos vários peneiros, por decréscimo de abertura da malha, Figura 3.7. Este processo foi realizado mecanicamente, submetendo os peneiros a movimentos oscilatórios de translação e rotação acompanhados de vibrações. Finalizado o processo de peneiração foi determinada a massa de amostra retida em cada peneiro e a sua consequente curva granulométrica, máxima e mínima dimensão do agregado e módulo de finura de cada material.



Figura 3.7. Série de peneiros EN 933

3.3.3. Absorção de água dos agregados

O ensaio de absorção foi realizado em conformidade com a norma Portuguesa NP EN 1097-6:2003 [21]. Neste ensaio a amostra é imersa em água durante 24 horas, Figura 3.8. Decorrido este tempo, a amostra é seca com recurso a um pano, até ficar saturada com superfície seca, sendo depois pesada (m_1). Em seguida, condiciona-se a amostra numa estufa ventilada, à temperatura recomendada para cada material, até massa constante. O processo é finalizado pela pesagem do provete seco (m_2).

O cálculo da absorção de água de cada um dos agregados ($A\%$) é conseguido através da aplicação da Equação (3.2):

$$A(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (3.2)$$



Figura 3.8. Saturação das amostras, ensaio de absorção

3.3.4. Massa volúmica

Para a determinação da massa volúmica foram realizados dois procedimentos de ensaio, um deles para determinar a massa volúmica dos aglomerantes e um outro para os restantes materiais. Para determinar a massa volúmica dos aglomerantes recorreu-se ao densímetro “Le Châtelier” de forma a verificar os valores fornecidos pelo fabricante. Este procedimento, com recurso ao densímetro de “Le Châtelier”, Figura 3.9, foi realizado em conformidade com a Especificação LNEC E 64-1968 [19]. Neste ensaio o componente líquido não pode ser a água devido às reações de hidratação que ocorrem entre esta e o aglomerante, pelo que se recorreu a gasolina. No densímetro é inserida a gasolina, com temperatura estabilizada, até um nível compreendido entre zero e uma escala nele referenciado. Seguidamente pesa-se a quantidade de aglomerante necessário à obtenção de uma leitura na graduação do densímetro e introduz-se este material com recurso a um funil, tendo atenção para que não adira às paredes. Depois da temperatura estabilizar é possível obter o volume no densímetro através da sua graduação. A massa volúmica é assim traduzida pela razão entre a massa de aglomerante inserida no densímetro e o volume medido. Para o cálculo da massa volúmica dos agregados naturais, foi seguida como referências a norma portuguesa NP EN 1097-6:2003 [21]. Como o procedimento é realizado com recurso a um balão volumétrico, este deve se encontrar limpo e seco aquando da sua utilização. Segundo estas normas o material deve ser saturado, até massa constante. Decorrido o processo de saturação, pesa-se o provete saturado com superfície seca (m_1). Em seguida, o provete é vertido dentro do balão volumétrico e preenchido com água até ao traço de referência (m_2). O procedimento é finalizado quando o densímetro é limpo, seco e cheio novamente com água até ao traço de referência (m_3).



Figura 3.9. Determinação da massa volúmica

O cálculo da massa volúmica (δ) efetua-se de acordo com a Equação (3.3):

$$\delta = \frac{m_1}{m_1 + m_3 + m_2} \times 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (3.3)$$

3.4. Características geométricas dos blocos de betão

Um dos principais objetivos propostos nesta dissertação foi o desenvolvimento de uma nova unidade de alvenaria de betão oca. Segundo a NP EN 771-3 [4] as principais características geométricas a determinar em blocos de betão são:

- i. Dimensões
- ii. Paralelismo plano das faces
- iii. Planeza das faces.

As duas primeiras características mencionadas devem ser ensaiadas de acordo com a norma NP EN 772-16 [26] enquanto a determinação da planeza das faces é feita segundo o método especificado na norma NP EN 772-20 [27].



Figura 3.10. Bloco de betão desenvolvido e fabricado no Laboratório Tecnologia e Ensaios Mecânicos

3.4.1. Dimensões

A alvenaria juntamente com a estrutura que a compõe é uma etapa que concebe a geometria da construção, sendo um dos fatores fundamentais relacionado a outros serviços que o sucedem. Sendo assim, a otimização desta etapa conduz a um ganho em produtividade e redução de desperdícios e custos em trabalhos gerados por falhas nesta etapa.

De acordo com Franco [28] a racionalização da produção da vedação vertical é fundamental para racionalização de todos os demais subsistemas que compõem o edifício, propiciando diminuição de desperdícios e economia de materiais e de mão-de-obra, proporcionando o aumento da produtividade das atividades.

Optou-se por um sistema de alvenaria modelar (existe simetria nas peças, a largura e altura são proporcionais ao seu comprimento) que é constituído por um conjunto de elementos (blocos de betão corrente, de betão leve ou tijolo cerâmico), que procuram fornecer uma solução geral de edificação, podendo estes mesmos elementos ser inseridos no interior das paredes e desta forma dispensar toda a mão-de-obra e de recursos em sistemas de cofragens para além de não haver desperdícios como temos no sistema tradicional de construção.

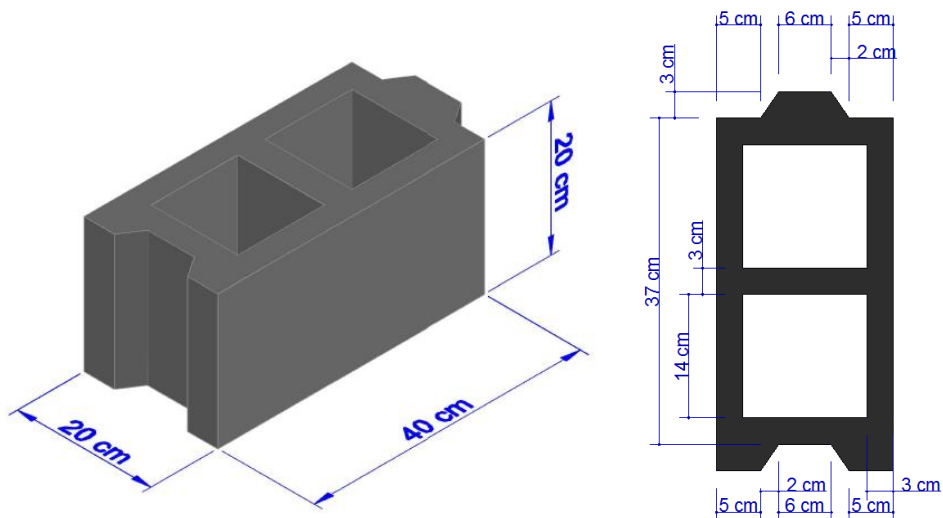


Figura 3.11. Dimensões em planta e em plano 3D dos blocos de betão

A forma do bloco desenvolvida nesta dissertação, Figura 3.11, teve o intuito de racionalizar também o uso de argamassas de assentamento, esta possibilita o encaixe entre os vários elementos sem que seja necessário o uso de argamassas nas juntas verticais.

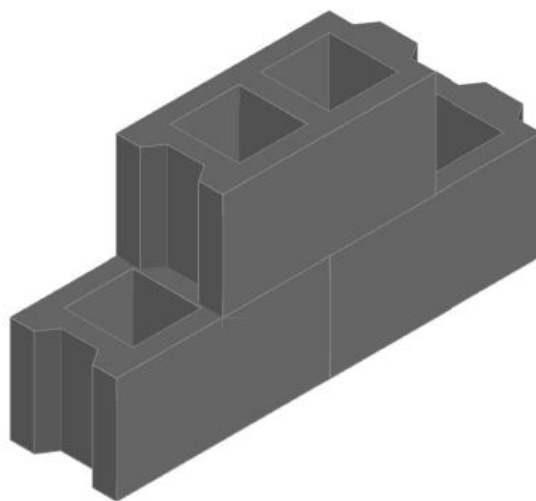


Figura 3.12. Sistema desenvolvido

Os moldes para a conceção dos blocos são em ferro fundido, a Figura 3.13 mostra a forma dos moldes. Os moldes foram desenvolvidos com a intenção de ser fácil tanto o seu manuseamento na mesa vibratória como na desmoldagem dos blocos.



Figura 3.13. Molde dos blocos de betão

3.5. Estudo da composição dos betões

3.5.1. Introdução

O objetivo do estudo da composição do betão é obter, com o custo mais reduzido possível, um betão que no estado fresco e no estado endurecido apresente um comportamento que cumpra os requisitos mínimos estabelecidos. Estes requisitos referem-se, em geral, à trabalhabilidade, à resistência, à deformabilidade, à permeabilidade, ao comportamento térmico e à durabilidade [29].

Embora se admita que com ligeiras adaptações os métodos de estudo de composições aplicáveis aos betões de massa volúmica normal se apliquem também aos betões leves [30], não é do conhecimento geral um método que tenha em conta todos os aspetos específicos dos agregados leves, sendo de destacar a porosidade, a humidade que apresenta aquando da amassadura, entre outras.

Um aspeto importante a ter em conta é a quantidade de água absorvida pela generalidade dos agregados leves, muito superior à dos agregados normais. Este facto altera as relações água/cimento habituais e obriga à decomposição da água total em água livre ou “efetiva” e água contida nos poros dos grânulos do agregado. Este problema é ainda mais delicado pelo facto da absorção inicial de água ser significativa, existindo migrações de água, mesmo

durante o fabrico do betão, que fazem variar a quantidade de água livre em função do tempo de amassadura [31].

Pelo descrito anteriormente, importa referir que a quantidade de água a utilizar na composição dos betões leves é talvez a variável de mais difícil determinação pela apetência que os agregados leves têm para a sua absorção. Se este aspeto não for cuidadosamente considerado, poderá acontecer que a água disponível para a hidratação do cimento seja insuficiente, com efeitos negativos nas características mecânicas ou na trabalhabilidade do betão [29].

3.5.2. Referência a métodos de estudo de composições

A pesquisa bibliográfica efetuada em trabalhos da especialidade permitiu concluir que há vários métodos que estudam as composições de betões leves, sendo em seguida descritos alguns.

O ACI [30] propõe dois métodos para o estudo de composições de betões leves. O primeiro método, denominado de método das massas, é utilizado para agregados grossos leves e para agregados finos de massa volúmica normal, enquanto o segundo, método denominado de volumétrico, é usado em betões constituídos exclusivamente por agregados leves.

A BESSER COMPANY apresenta um método que foi adaptado por Medeiros [32] para a produção de blocos estruturais. Este método baseia-se no ajuste do traço pela granulometria final das misturas, mais especificamente pelo seu módulo de finura. Um método simples, contudo não garante ser viável sempre.

A ABCP sugere um método, desenvolvido por Ferreira [33], que se baseia na determinação de proporções entre os agregados finos e os agregados grossos que resultem na máxima compacidade da mistura e, conseqüentemente, na maior resistência.

Um outro procedimento foi disposto por Dreux [34], que teve como base na massa volúmica dos agregados leves e na quantidade de cimento para a aquisição da resistência e massa volúmica final do betão. Este método tem em conta a quantidade de água que os agregados absorvem durante a amassadura, não devendo esta entrar no cálculo da relação A/C. O mais importante neste processo é conhecer bem as propriedades dos agregados leves no que se refere à absorção, e no momento de calcular a água para introduzir na amassadura, deve-se acrescentar a parcela desta que vai ser absorvida pelos grãos.

3.5.3. Método de estudo das composições

Após pesquisa bibliográfica e estudados os vários métodos para determinação das composições, é apresentado o procedimento adotado no estudo da composição dos betões produzidos no âmbito deste trabalho.

Devido à existência de muitas variáveis para este estudo e da sua complexidade, fez-se uma análise das variáveis que são essenciais para a produção de blocos de betão não só resistentes mas também económicos.

Para a realização do presente trabalho pretendeu-se que as únicas variáveis de ensaio fossem a percentagem de substituição e a natureza do agregado substituto. No entanto outras variáveis tiveram de ser tidas em conta para que os betões em estudo tivessem todas a mesma consistência. Esta consistência foi mantida constante estabelecendo um intervalo de valores para o tempo de vibração vebe, o qual permite que todos os betões partissem das mesmas consistências. No entanto o facto de estes terem de se ajustar a este intervalo, alterou a razão W/C entre as várias misturas, tendo-se obtido valores distintos para os diversos betões.

O método para a composição dos betões que a seguir se apresenta inclui todos os materiais seleccionados no âmbito do presente estudo. Para a sua utilização, é necessário conhecer experimentalmente a curva granulométrica de cada classe dos agregados disponíveis, determinando o módulo de finura destes, assim como as propriedades dos materiais, que inclui a baridade seca não compactada e massa volúmica de todos os componentes. A seguir apresenta-se a simbologia usada para a designação da baridade seca não compactada e da massa volúmica:

- B_X - Baridade seca não compactada do material X, expressa em kg/m^3 ;
- δ_X - Massa volúmica do material X, expressa em kg/m^3 .

Os materiais adotados para a produção de blocos de betão foram os referidos em secções anteriores.

Na escolha das composições, adotou-se a compacidade como parâmetro principal, tendo em conta que se pretende obter betões com bom desempenho.

De forma a obter a mistura ideal entre os agregados foram calculadas as frações granulométricas dos agregados através da compacidade dos agregados compactados. A compacidade é calculada pela seguinte expressão:

$$C_M = \frac{B_M}{v_1 \times \delta_1 + v_2 \times \gamma_2} \quad (3.4)$$

Onde:

C_M - Compacidade da mistura;

B_M - Baridade seca não compactada da mistura, expressa em kg/m^3 ;

v_1 e v_2 - Volume absoluto dos agregados em estudo;

δ_1 e δ_2 - Massa volúmica dos agregados em estudo.

A partir das frações granulométricas relativas dos agregados e das curvas granulométricas obtidas experimentalmente, é possível conhecer a curva real da distribuição granulométrica resultante do traço atribuído inicialmente. O ajuste da curva real à curva de referência será efetuado por um processo iterativo através da alteração sucessiva dos traços dos agregados atribuídos inicialmente, mantendo fixos os traços das percentagens de substituição quando esse seja o objetivo. Assim, é possível uniformizar as diferentes granulometrias dos agregados.

3.5.4. Composições adotadas

O estudo das composições pelo método descrito anteriormente, foi realizado considerando os agregados secos, de forma que a quantidade de água a introduzir nas amassaduras fosse de mais fácil controlo.

No estudo da quantidade de água referida anteriormente, teve-se em atenção a capacidade de absorção desta pelos agregados avaliada anteriormente, realizando-se algumas amassaduras experimentais até se obter o valor considerado ótimo para se obter a trabalhabilidade desejada. Os valores para a água apresentados na Tabela 3.7 correspondem ao somatório da água absorvida pelos agregados com a água efetiva.

No quadro estão apresentadas as composições definitivas adotadas para blocos de betão.

Tabela 3.7. Composições estudadas (kg/m^3)

	Cimento	Areia 0/2	Areia 0/4	Brita 3/6	Pó de vidro	AR	COR	EPS	Água
Composição de referência	281,8	465,3	705,3	1227,3	56,4	0,0	0,0	0,0	197,3
Composição AR 50%	281,8	465,3	352,6	1227,3	56,4	315,0	0,0	0,0	225,5
Composição AR 100%	281,8	465,3	0,0	1227,3	56,4	630,0	0,0	0,0	253,6
Composição COR 50%	281,8	465,3	352,6	1227,3	56,4	0,0	69,7	0,0	225,5
Composição COR 100%	281,8	465,3	0,0	1227,3	56,4	0,0	139,5	0,0	253,6
Composição EPS 50%	281,8	465,3	352,5	1227,3	56,4	0,0	0,0	15,6	197,3
Composição EPS 100%	281,8	465,3	0,0	1227,3	56,4	0,0	0,0	31,3	225,5

3.6. Amassadura

3.6.1. Equipamento

As amassaduras foram realizadas numa betoneira-misturadora, com capacidade máxima para 40 litros, Figura 3.14. A betoneira utilizada é de eixo vertical, constituída por um tambor

rotativo, possuindo um conjunto de pás rotativas, que promovem a amassadura. Durante todas as amassaduras, procurou-se ter o maior cuidado para que, o movimento rotativo das pás não esmagasse uma quantidade significativa de partículas.



Figura 3.14. Betoneira utilizada

Todas as amassaduras realizadas para as composições definitivas foram de 40 litros, sendo as amassaduras experimentais de 20 litros.

3.6.2. Procedimento

Não há regras definitivas sobre a melhor ordem de introdução dos componentes na betoneira, pois esta ordem depende também do tipo de betoneira e da natureza do betão [35].

O procedimento adotado foi escolhido tendo seguido a ordem seguinte:

- i. Colocar 2/3 da água, o agregado grosso e a areia na betoneira;
- ii. Deixar misturar cerca de 90 segundos;
- iii. Misturar o cimento, o pó de vidro e a restante água simultaneamente;
- iv. Deixar misturar até aos 6 minutos.

3.6.3. Execução e conservação dos provetes

Para cada um dos diferentes ensaios a realizar, utilizaram-se moldes adequados de acordo com as respetivas normas, optando-se por cubos de 15 x15 cm. Estes são recipientes estanques e rígidos, untados ligeiramente com óleo mineral, satisfazendo os requisitos vigentes na norma portuguesa NP EN 12350 [36].

Para todos os provetes a vibração foi efetuada com a ajuda da mesa vibratória. Esta operação não pode ser prolongada, a fim de reduzir o risco de segregação dos componentes do betão. Na Tabela 3.8 apresenta-se esquematizado o tempo de vibração utilizado em função do tipo

de agregado utilizado, de modo a que já não aparecessem grandes bolhas de ar à superfície do betão, e a superfície se apresentasse relativamente lisa.

Tabela 3.8. Tempo de vibração utilizado em segundos, em função das composições

Composições	Tempo
Referência	20
AR	17,5
COR	12,5
EPS	15

O tempo de vibração foi calculado utilizando um método simples, para a determinação da consistência e densidade dos betões usando uma mesa vibratória, da norma ASTM C1170-06 [37].

Depois de cheios e rasados os moldes, os provetes foram conservados por um período de 24 horas, num ambiente em que a temperatura rondava os 20 °C.

Ao fim das 24 horas, os provetes foram desmoldados com cuidado para não serem danificados e identificados de forma adequada. Em seguida, foram transportados para uma câmara de condicionamento com temperatura de 20 °C e humidade relativa superior a 98 % onde foram mantidos até às datas dos ensaios.

3.7. Moldagem dos blocos de betão

3.7.1. Equipamento

A moldagem dos blocos de betão utilizados durante o estudo foi feita com a ajuda de uma mesa vibratória, com uma frequência de vibração de 3000 rotações por minuto. Destacando ainda a direção da vibração classificada como unidirecional vertical. A realização da compactação para os vários moldes foi controlada minuciosamente devido ao elevado risco de segregação, tendo-se verificado resultados satisfatórios no que diz respeito a esta preocupação. Na Figura 3.15 pode-se observar o equipamento de vibração utilizado.



Figura 3.15. Mesa vibratória utilizada no estudo

3.7.2. Procedimento

A sequência de moldagem dos blocos pode ser resumida nas etapas:

- i. Inicialmente preenche-se o recipiente doseador com a mistura destinada à moldagem dos blocos;
- ii. De seguida, com a máquina em funcionamento, é feito o preenchimento dos moldes com o recipiente doseador;
- iii. Depois de verificado todo o preenchimento do molde, inicia-se a compactação dos blocos dentro do molde. Esta compactação é feita com a máquina em funcionamento, até os blocos atingirem a altura necessária;
- iv. Após a compactação e segundos antes de finalizar a vibração, os blocos são desmoldados.

Após o processo de moldagem dos blocos no laboratório, adotou-se a mesma rotina utilizada na moldagem dos corpos-de-prova.

3.8. Ensaios para caracterização dos betões em estudo

Nesta secção foi efetuado um estudo detalhado dos betões em análise, no que se refere às suas propriedades físicas (resistência à compressão, massa volúmica e relativas à durabilidade (absorção capilar)).

3.8.1. Ensaios no estado fresco

3.8.1.1. *Consistência*

A consistência dos betões seguiu-se como orientação os procedimentos descritos na norma ASTM C1170-06 - Standard Test Methods for Determining Consistency and Density of Roller-Compacted Concrete Using a Vibrating Table [37]. Esta norma define os procedimentos de

ensaio e as configurações da mesa vibratória, recomendadas para a determinação da consistência e da massa específica de misturas de betões muito secas, como são as misturas em estudo. Esta norma foi utilizada como referência, em função dos betões utilizados na produção dos blocos apresentarem características de consistência semelhantes às preconizadas pelo documento. Segundo este ensaio, a consistência é estabelecida em função do tempo que uma determinada amostra de betão leva para assentar sob determinada energia de assentamento, numa mesa vibratória. O tempo medido expresso em segundos, é definido como tempo Vebe. A configuração básica da mesa vibratória utilizada no ensaio está indicada na Figura 3.16. Quanto à vibração e a amplitude, a mesa vibratória utilizada, apresenta, respetivamente, os valores de 57,5 Hz e aproximadamente 1,5 mm.

Quanto a massa a ser utilizada no ensaio, a norma estabelece dois procedimentos:

- i. Método de teste A - Utiliza uma massa de 22,7 Kg - recomendado para betões muito rijos a extremamente secos;
- ii. Método de teste B - Não utiliza nenhuma massa - recomendado para betões rijos a muito rijos ou quando o tempo de Vebe for inferior a 5 s.

Neste estudo, por questões de adequação do equipamento e de facilidade de identificação do tempo Vebe durante o ensaio, optou-se por utilizar uma sobrecarga de aproximadamente 10,0 Kg (disco metálico indicado na Figura 3.16).

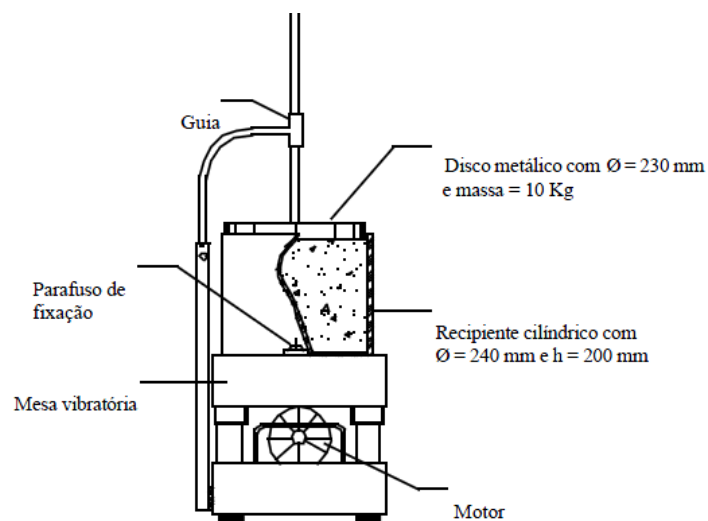


Figura 3.16. Mesa vibratória utilizado no estudo

3.8.1.2. *Massa volúmica aparente*

Para o ensaio de determinação da massa volúmica aparente do betão no estado fresco, foi adotado um procedimento diferenciado ao recomendado pela norma ASTM C1170 [37]. A massa volúmica aparente no estado fresco foi determinada, a partir da introdução de uma

cápsula de volume conhecido, no interior do molde cilíndrico (antes de se preencher o molde com a amostra), conforme é ilustrado na Figura 3.17. Após o assentamento da mistura, retira-se a cápsula, pesa-se o conjunto, cápsula mais amostra, e determina-se a massa volúmica aparente no estado fresco.

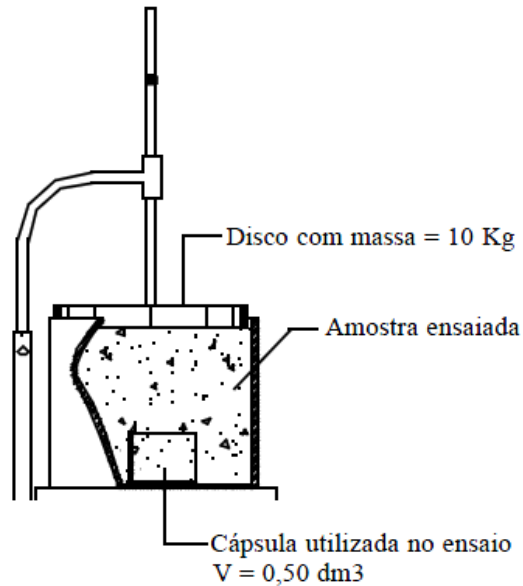


Figura 3.17. Ensaio de massa volúmica aparente da mistura no estado fresco

3.8.2. Ensaios no estado Endurecido

Os ensaios de caracterização, física e mecânica, realizados sobre os betões no estado endurecido foram:

- Ensaio da resistência à compressão;
- Ensaio massa volúmica;
- Ensaio de capilaridade.

A Figura 3.18 apresenta o esquema que traduz os ensaios realizados nos provetes, a forma dos respetivos provetes e a sua ordem de execução. Não estão incluídos os 21 blocos moldados que foram caracterizados apenas pelo ensaio da resistência à compressão.

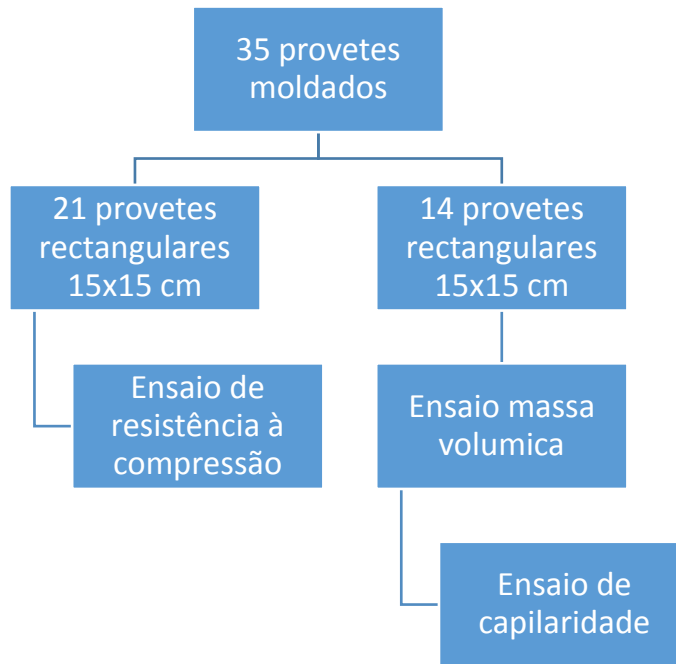


Figura 3.18. Sequência esquemática dos ensaios realizados nos provetes

3.8.2.1. Resistência à compressão

O ensaio de medição da resistência à compressão tem como finalidade a determinação da capacidade resistente dos diversos betões produzidos, quando sujeitos a uma tensão uniforme de compressão. Para tal, submetem-se os provetes até à rotura e regista-se a carga última a que resistem.

Os ensaios foram realizados numa prensa de compressão eletrónica, com controlo semiautomático da taxa de compressão, calibrada e aferida para o ensaio em provetes de betão e cuja máxima capacidade é de 3000 kN, Figura 3.19.



Figura 3.19. Prensa de compressão usada

Na realização deste ensaio utilizaram-se provetes cúbicos de 150 mm de aresta cuja preparação e cura se apresenta descrita na subsecção 3.6.3, sendo testados 3 provetes para cada idade - isto é, aos 7 e 28 dias - considerando-se o valor médio da resistência à compressão.

Os procedimentos experimentais para a determinação da resistência à compressão dos diferentes betões em estudo, foram realizados de acordo com a norma NP EN 12390 - 2 e a norma NP EN 12390 - 3 [38] [39].

Resumidamente apresenta-se o procedimento de ensaios como descrito na norma NP EN 12390-3 [39]. Assim, após a limpeza do equipamento, colocou-se o provete na prensa tendo o cuidado de o centrar relativamente à plataforma inferior da prensa, de forma a evitar qualquer erro, e evitando colocar a face de acabamento do provete em contacto com os pratos do equipamento. De seguida, fechou-se a porta de segurança, aplicou-se a carga e a velocidade de 8001,2 N/s. Após a rotura do provete registou-se a carga máxima (F) em Newton e avaliou-se a configuração de rotura dos provetes, de modo a avaliar se esta é satisfatória ou não satisfatória, de acordo com os critérios estipulados pela norma NP EN 12390 - 3 [39].

A resistência à compressão é dada pelo quociente entre a carga máxima e a área da secção transversal onde é aplicada a Equação 3.5.

$$R_c = \frac{F}{A} \quad (3.5)$$

Sendo,

R_c - resistência à compressão (MPa ou N/mm²);

F - força de rotura à compressão (N);

A - área da secção transversal do provete na qual a força foi aplicada (mm²), utilizando as medições efetuadas com o auxílio do paquímetro.

3.8.2.2. Massa volúmica

Os valores da massa volúmica dos betões no estado endurecido foram obtidos através do procedimento indicado na norma NP EN 12390-7 [40], utilizando-se cubos de 150 mm de aresta.

A norma NP EN 12390-7 [40] reconhece três métodos para a determinação do volume do provete:

- i. Pela deslocação de água;
- ii. Pelo cálculo utilizando medidas atuais;

iii. Para cubos, através do cálculo, utilizando dimensões designadas e verificadas.

Para o cálculo da massa, o provete é pesado tal como recebido, com uma exatidão de 0,01% da massa do provete.

A expressão que traduz a massa volúmica é a seguinte:

$$D = \frac{m}{V} \quad (3.6)$$

Onde,

D - é a massa volúmica relativa à condição do provete e ao método de determinação do volume, em kg/m³;

m - é a massa do provete, em kg;

V - é o volume, em m³.

3.8.2.3. Absorção de água por capilaridade

A realização do ensaio de absorção de água por capilaridade consiste na avaliação da estrutura porosa do material, dado que, quanto mais poroso for o material, mais fácil será a percolação da água e migração de outros compostos químicos no seu interior, facilitando a ocorrência de reações químicas de degradação que contribui para uma diminuição da durabilidade [41].

A determinação da absorção de água por capilaridade seguiu o preconizado na especificação LNEC E393 [42] baseada na recomendação da RILEM TC 116-PCD [43].

Pode-se definir absorção de água por capilaridade como a diferença entre a massa do provete de betão endurecido que esteve com uma das faces em contacto com água durante um determinado tempo e a massa do provete seco, dividida pela área da superfície em contacto com a água.

Os provetes utilizados para o ensaio foram cubos de 150 x 150 mm, à idade de 28 dias. Importa referir que não se seguiu o disposto na especificação no que diz respeito a estas dimensões, uma vez que a altura do provete tem a mesma dimensão que a aresta e não o dobro.

O ensaio consistiu em colocar os provetes numa estufa ventilada durante 14 dias, a uma temperatura de cerca de 40 °C para secagem até massa constante. Após este período de tempo, os provetes foram retirados da estufa e pesados. Em seguida, foram colocados numas caixas plásticas, que continham uns suportes plásticos destinados a manter a face inferior do provete em contacto com a água. Encheu-se cuidadosamente as várias caixas com água procurando que esta atingisse um nível de 5 mm acima da face inferior do provete.

As caixas foram tapadas com o intuito de manter constante o nível da água durante todo o ensaio, evitando-se a evaporação. Foram realizadas pesagens ao fim de diferentes períodos de tempo (1, 3, 6 e 24 horas). Na Figura 3.20, pode-se visualizar uma fotografia dos provetes dentro das caixas, durante a realização do ensaio.



Figura 3.20. Ensaio de absorção de água por capilaridade

A expressão que traduz a absorção de água por ascensão capilar é a seguinte:

$$A_{ci} = \frac{M_{i\text{abscap}} - M_{0\text{abscap}}}{A_p} \quad (3.7)$$

Sendo,

A_{ci} - absorção de água por ascensão capilar no instante i (g/mm^2);

$M_{i\text{abscap}}$ - massa do provete após i horas em contacto com a lâmina de água (g);

$M_{0\text{abscap}}$ - massa inicial do provete de ensaio seco em estufa (g);

A_p - área da superfície do provete em contato com a água (mm^2).

Por fim, calculou-se o coeficiente de absorção capilar (K_c) como sendo o declive da reta que melhor se ajusta à curva de absorção capilar (kg/m^2) em função da raiz quadrada do tempo ($t^{0.5}$), expresso em minutos.

4. Apresentação e discussão de resultados

4.1. Introdução

No presente capítulo apresentam-se e analisam-se os resultados dos ensaios desenvolvidos durante a campanha experimental, e que foram descritos no capítulo anterior (capítulo 3). Os resultados apresentam-se sob forma de representações gráficas e quadros, concebidos de modo a que as suas apresentações sejam coerentes entre si, com o intuito de verificar o efeito de diferentes proporções de agregados reciclados nos blocos de betão nas suas propriedades. Adicionalmente pretende-se avaliar, a viabilidade de utilização, desses resíduos como substituição e ou complementaridade na produção de blocos de betão.

4.2. Betões estudados

Como salientado no capítulo anterior, os betões estudados correspondem a um traço em volume aparente de 1:10, constituídos por cimento Portland (CEM I 42,5 R), agregados finos, agregados grossos e pó de vidro. Na mistura de referência os agregados finos são constituídos por Areia 0/2 e Areia 0/4 (utilizadas sempre na mesma proporção em massa de 2/5 e 1/4, respetivamente), o agregado grosso é constituído por Brita 3/6 (também utilizada sempre na proporção de 4/9), enquanto nas restantes misturas a Areia 0/4 é substituída por diferentes percentagens e tipos de agregados leves e reciclados.

Como objetivo desta dissertação, todos os materiais leves são provenientes de reciclagem, o mesmo acontece para o betão reciclado.

4.3. Caracterização das amassaduras no estado fresco

4.3.1. Consistência

A aplicação deste procedimento teve como objetivo determinar o grau de consistência da mistura para as condições de moldagem dos blocos, a ser utilizado neste estudo. Esta consistência foi denominada de “consistência de moldagem” e o teor de água correspondente, foi denominada de “teor de água de moldagem”. Este parâmetro foi empregue como referência na definição dos estudos subsequentes.

Inicialmente para o traço 1:10 e para a composição de referência, variou-se o teor de água até atingir condições de moldagem dos blocos de betão na mesa vibratória (de acordo com o subsecção 3.8.1.1). Como critério, analisou-se para qual teor de água máximo a mesa vibratória oferecia condições de moldagem com um rendimento satisfatório. Após esta análise, reproduziu-se o traço escolhido e determinou-se, a partir do ensaio de consistência, o tempo Vebe em segundos. A Figura 4.1 ilustra como se fixou este parâmetro. A partir deste estudo estabeleceu-se o tempo Vebe de 10 s como determinante da consistência de moldagem dos blocos na mesa vibratória.

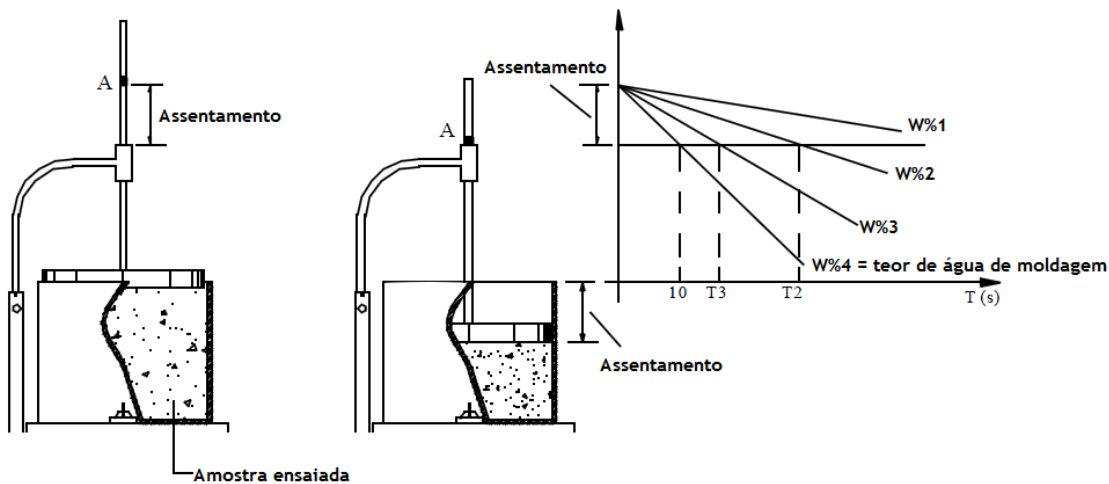


Figura 4.1. Determinação do teor de água de moldagem

Este parâmetro foi utilizado, para todas as composições, na moldagem dos corpos de prova dos blocos de betão, ou seja, todas as composições estudadas devem ter um teor de água que permita um tempo Vebe de 10 s.

Tabela 4.1. Tempo de consistência Vebe

Composição	a/c	Tempo Vebe (s)	Deslocamento (cm)
REF	0,9	10,76	5,5
AR50	0,95	10,30	5,5
AR100	0,95	10,30	4,5
COR50	0,95	10,75	4,5
COR100	0,95	10,75	4,5
EPS50	0,95	10,50	4,5
EPS100	0,95	10,55	4,5

Observando os resultados de Tempo Vebe apresentados na Tabela 4.1, verifica-se um aumento da relação água/cimento de 0,90 para 0,95 quando da substituição dos agregados naturais pelos agregados reciclados. Embora os agregados leves tenham valores de absorção de água superiores aos demais, por força do método empregue essas características em nada influenciaram o tempo de consistência. Independentemente do tipo de agregado reciclado, o aumento da percentagem de substituição também não influencia o tempo de consistência. Na verdade poder-se-ia esperar uma influência significativa de efeito de absorção de água, porém a sobrecarga aplicada para compactação elimina o efeito forçando a expulsão da água durante o ensaio.

4.3.2. Massa volúmica aparente

Em seguida serão apresentadas as diversas massas volúmicas, no estado fresco, de cada uma das amassaduras integrantes neste estudo, Figura 4.2.

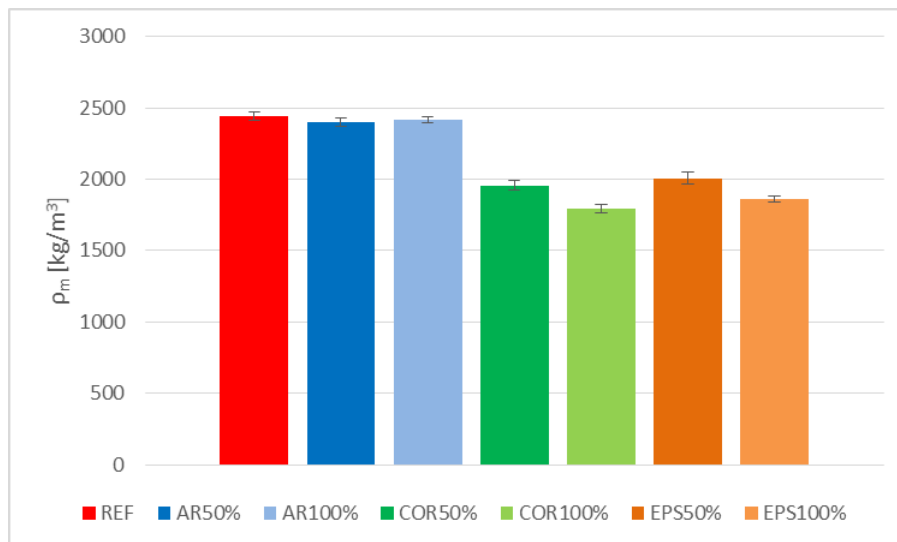


Figura 4.2. Massa volúmica das amassaduras no estado fresco

Verifica-se, que a amassadura com maior massa volúmica é a de referência, seguida da argamassa com os agregados reciclados de betão. Estes materiais são os mais densos, pelo que esta situação já tinha sido anteriormente prevista. É também observável um decréscimo da massa volúmica com o aumento da percentagem de substituição de COR e EPS CEX. A amassadura com COR 100% foi a que apresentou uma massa volúmica inferior.

4.4. Caracterização das amassaduras no estado endurecido

4.4.1. Massa volúmica

A baixa massa volúmica dos betões de agregados leves é a sua principal característica, devendo ser controlada em todas as fases, desde o fabrico até à colocação do betão.

A massa volúmica do betão leve depende da densidade dos agregados utilizados nas composições e das proporções da mistura. Também o teor de água inicial e final dos agregados afeta a densidade do betão, pois uma quantidade de água acima da saturação na mistura, pode levar à formação de vazios no betão, reduzindo a sua densidade [44].

Os valores médios das massas volúmicas e respetivo desvio padrão determinados para as idades de 28 dias apresentam-se na Figura 4.3, arredondados ao múltiplo de 10 mais próximo, estando os resultados expressos em kg/m³. Importa ainda referir, que para cada uma das composições, os ensaios foram realizados sobre um número mínimo de cinco provetes.

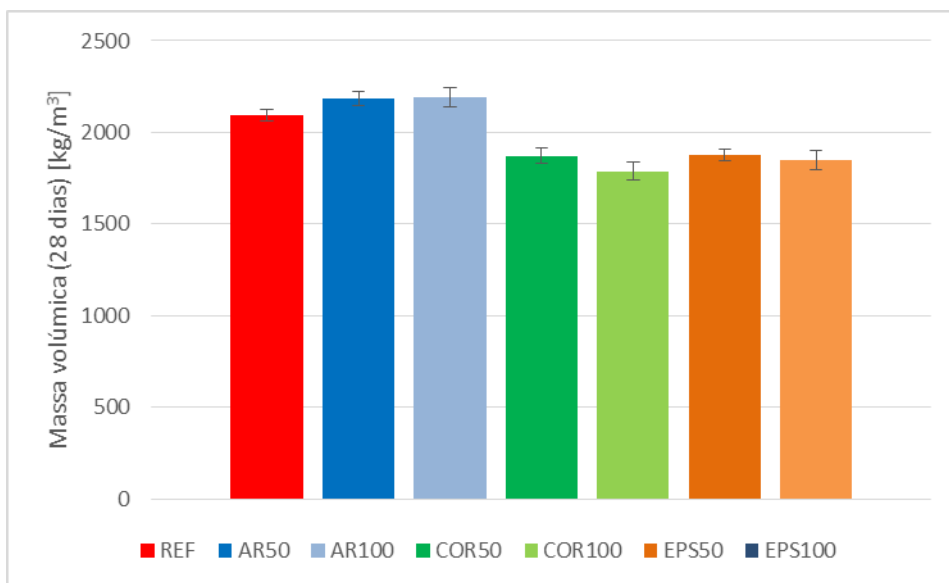


Figura 4.3. Massa volúmica dos provetes no estado endurecido

Como se pode observar através da Figura 4.3, verifica-se uma diminuição da massa volúmica com o aumento da percentagem de substituição e do tipo de agregado. Salientando-se que os betões leves apresentaram valores crescentes de massa volúmica, para todas as percentagens de substituição, pela seguinte ordem de agregados leves: COR e EPS, constituindo a composição com 100% de substituição por agregados reciclados a mais densa de todas as composições.

Podemos classificar os betões leves em função de classes de massas volúmicas de acordo com o preconizado na EC2 [45] e EN 206-1 [25].

Tabela 4.2. Classificação dos betões leves pela massa volúmica (de acordo com EC2 [45] e EN206-1 [25])

Classe de massa volúmica	D1,0	D1,2	D1,4	D1,6	D1,8	D2,0
Massa volúmica (kg/m³)	> 800 e ≤ 1000	> 1000 e ≤ 1200	> 1200 e ≤ 1400	> 1400 e ≤ 1600	> 1600 e ≤ 1800	> 1800 e ≤ 2000

Pela observação dos resultados apresentados e de acordo com a Tabela 4.2, pode-se afirmar que para as composições com agregados leves se está perante composições da classe de massa volúmica D2,0.

Importa também referir, que as composições com os agregados leves apresentam massas volúmicas inferiores como era esperado, embora essa diferença não seja muito acentuada.

4.4.2. Resistência à compressão

Na Tabela 4.3 são apresentados os valores médios da resistência à compressão para os cubos à saída da câmara húmida, bem como o respetivo desvio padrão.

Tabela 4.3. Resistência à compressão para cubos de 15 x 15 cm (MPa)

Composição	7 dias		28 dias	
Composição de referência	11,28	±2,6	15,78	±1,1
Composição AR 50%	10,88	±2,2	15,81	±1,4
Composição AR 100%	9,85	±0,9	13,68	±0,4
Composição COR 50%	8,12	±0,9	8,46	±0,3
Composição COR 100%	7,31	±0,9	8,17	±0,4
Composição EPS 50%	7,49	±1,2	8,75	±0,6
Composição EPS 100%	7,19	±0,3	7,77	±0,4

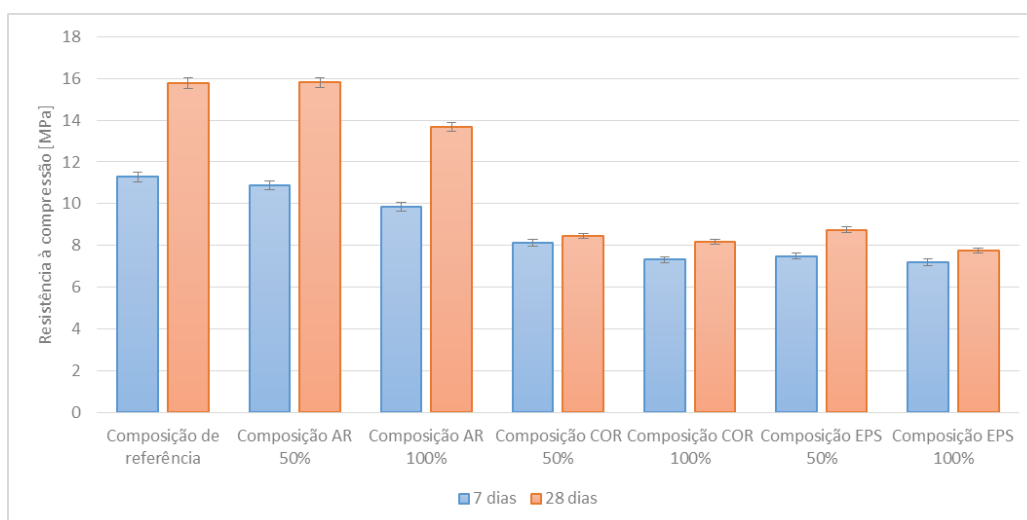


Figura 4.4. Resistência à compressão das composições estudadas

Pela análise dos resultados apresentados, pode-se verificar que a resistência à compressão aos 7 dias, das composições com os agregados leves, é já muito próxima da verificada aos 28 dias. Sendo estas percentagens superiores a 90%, exceto para a composição EPS 50% em que este valor ultrapassa ligeiramente os 86%. Percebe-se por esta análise que praticamente não há crescimento significativo da resistência à compressão dos betões leves. Estes resultados aparentemente contrariam os observados por Vieira [46] que alega que os betões leves têm um crescimento de resistência à compressão de 7 para 28 dias superior aos betões tradicionais. Menciona, este autor, que esse crescimento se deve ao carácter isolante do betão leve que armazena mais calor da reação de hidratação do cimento, e ainda devido à resistência do betão ser limitada superiormente pela resistência dos agregados leves. Entretanto, pode-se justificar os resultados deste estudo tendo em conta que neste caso apenas os agregados finos foram substituídos por agregados leves, contrariamente ao estudado por Vieira que substituiu na totalidade dos agregados.

Os valores da resistência à compressão demonstraram-se bastante curiosos, em especial, para as composições com agregados reciclados. A composição AR 50% apresentou resistências superiores à de referência. Pode ser explicado pelo efeito de menores w/c e ainda a redução da água intergranular devido à absorção de água pelo agregado reduzindo a relação w/c efetiva do betão.

Evidenciaram-se também bons comportamentos mecânicos para os restantes betões com agregados leves. Concluindo-se que a utilização destes agregados em betões poderá ser viável do ponto de vista da resistência à compressão.

Através dos valores obtidos constata-se que para cada tipo de agregado existe uma diminuição das resistências dos betões, com a percentagem de substituição. As unidades de alvenaria para fins de revestimento não necessitam de valores extraordinários de resistência à compressão.

Importa ainda referir que a configuração típica da forma de rotura de todos os provetes ensaiados foi considerada satisfatória de acordo com a EN 12390-3 [39].

Considera-se importante também salientar que, nos betões ensaiados, após a rotura dos provetes, observaram-se dois tipos de comportamento para uma mesma superfície de rotura: no primeiro caso, uma parte do agregado grosso destacou-se nitidamente da matriz de argamassa, deixando nela a impressão perfeita da sua textura superficial; o segundo caso, foi que parte significativa do agregado grosso apresentou-se fragmentado ou visivelmente fraturado, mantendo-se parte da película do agregado fortemente fixada à matriz de argamassa. Portanto, a rotura deu-se no mesmo provete pelos agregados e pela argamassa, Figura 4.5.



Figura 4.5. Forma de rotura de um dos provetes

4.4.3. Absorção de água por capilaridade

A absorção capilar é muito importante na maioria das obras em betão na medida em que constitui um dos mecanismos preponderantes da entrada de água e de agentes agressivos nela dissolvidos, no betão de recobrimento das armaduras. Difere da permeação e absorção por imersão pois não é causada por gradientes hidráulicos.

Os valores dos coeficientes de capilaridade apresentam-se na Figura 4.6.

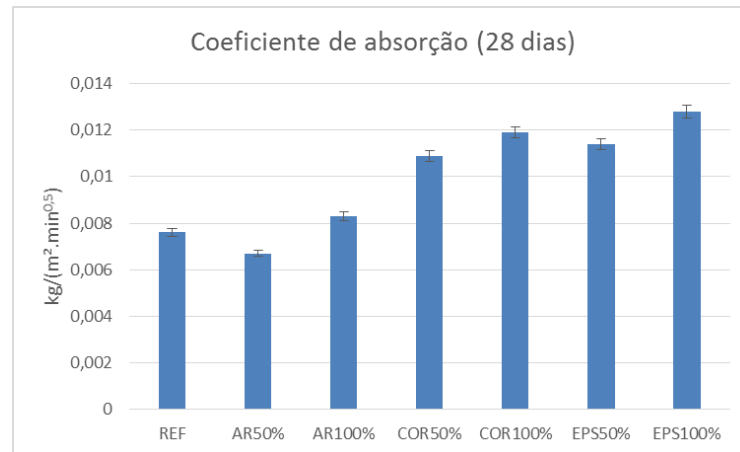


Figura 4.6. Coeficiente de capilaridade dos betões

Verifica-se através dos valores obtidos, que os resultados do coeficiente de capilaridade em betões com agregados reciclados são mais reduzidos, que aqueles verificados para o betão de referência. O contrário se verifica para os betões com agregados leves em relação ao betão de referência. Observa-se também um aumento deste coeficiente, com o aumento da percentagem de substituição.

Tendo em atenção a classificação possível dos betões estabelecida por Browne [47], que classifica a qualidade do betão em função do coeficiente de absorção, pode-se concluir que se está perante betões de qualidade média, Figura 4.7.

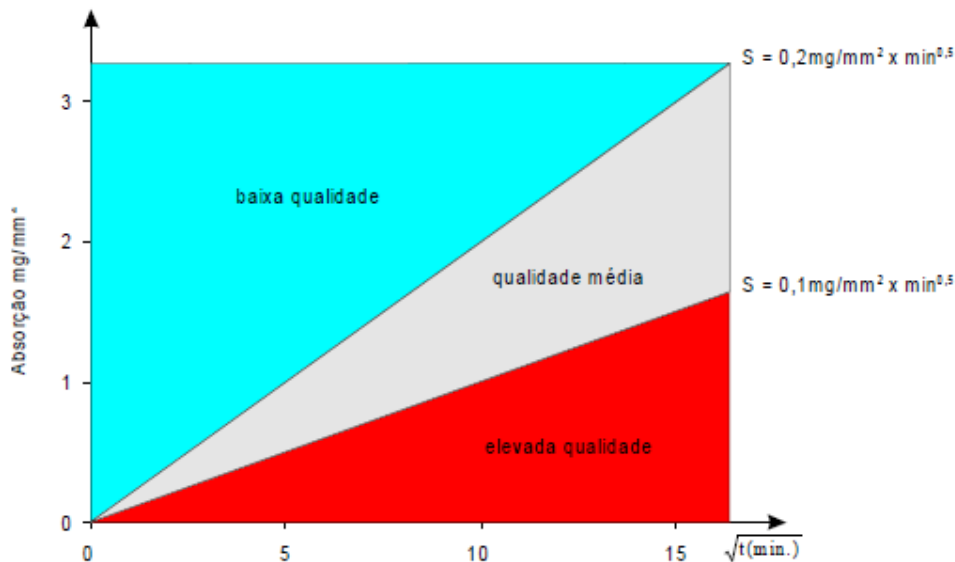


Figura 4.7. Qualidade do betão em função do coeficiente de absorção S

Na Figura 4.8, pode-se observar os resultados da absorção capilar em função do tempo de ensaio.

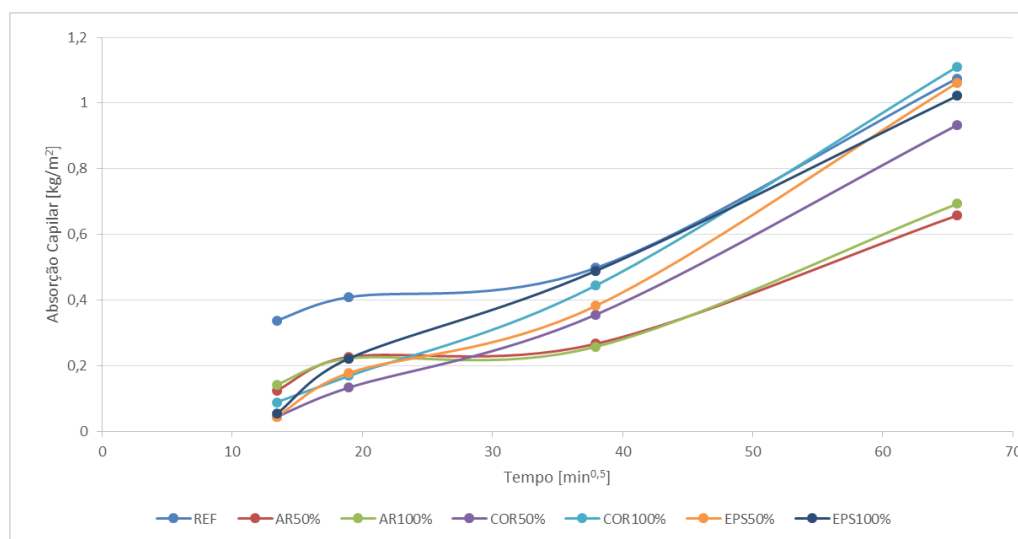


Figura 4.8. Absorção capilar dos betões

Em qualquer tipo de ensaio de absorção por capilaridade verifica-se que a absorção é elevada se os capilares são maiores e mais lenta se são de dimensões mais reduzidas e portanto poder-se-á inferir da qualidade do mesmo de acordo com os resultados obtidos para a absorção ou coeficiente de absorção.

Convém ainda referir, que a porosidade do agregado é um parâmetro condicionante na capacidade de absorção do betão, podendo dizer-se que para betões com elevada dosagem de cimento, quanto mais poroso é o agregado grosso, menos absorvente é o respetivo betão. Pensa-se que a porosidade da superfície do agregado permite a penetração da matriz no seu

interior, baixando também a relação água/cimento nessa zona; estas causas originam uma zona de transição entre o agregado e a matriz de melhor qualidade, relativamente aos betões comuns. Por outro lado, o agregado poroso contém uma reserva de água que pode fomentar uma cura interna do betão, melhorando a sua compacidade e evitando que a matriz seque [48].

5. Conclusões e propostas de trabalhos futuros

5.1. Conclusões

O desenvolvimento de uma unidade de alvenaria em betão com metodologias construtivas viáveis em termos técnicos e económicos, é um dos principais objetivos desta dissertação. A indústria da construção civil utiliza, frequentemente, princípios construtivos tecnicamente complexos que implicam a utilização de mão-de-obra qualificada. Estes fatores contribuem significativamente para um aumento dos custos de construção. Para além disso, a elevada complexidade destes sistemas construtivos conduz a muitas anomalias que resultam de uma má compreensão de todo o processo construtivo, por parte dos trabalhadores.

Os sistemas de alvenaria com junta seca apresentam mecanismos que potenciam uma ligação física entre os blocos, o que inviabiliza a utilização de argamassa tanto nas juntas verticais como nas juntas horizontais. A par disto, os sistemas apresentados foram desenvolvidos com o objetivo de criar um conceito novo que visa potenciar a sua utilização pelo cliente, mesmo que este não apresente quaisquer conhecimentos técnicos. Estes são factos que asseguram a viabilidade do desenvolvimento e da otimização destes sistemas, que conduzem a um retorno financeiro considerável.

A simplicidade construtiva da unidade de alvenaria em betão desenvolvida neste estudo foi comprovada, em muito devido a este só prever a utilização de argamassa apenas nas juntas horizontais. Estes fatores permitem a inclusão de trabalhadores, com menos qualificação, no processo construtivo, uma vez que os blocos são simplesmente justapostos, em linha descontínua.

Antes de se colocar qualquer material, ou sistema construtivo no mercado, é essencial averiguar se este satisfaz requisitos e exigências que garantam a sua adequabilidade ao uso a que se destina. Para tal, devem ser realizados ensaios laboratoriais para apurar as suas características físicas e para se verificar se estes respondem positivamente às solicitações a que serão sujeitos. O elemento desenvolvido apresenta um bom comportamento quando ensaiado á compressão.

Em termos económicos, a unidade desenvolvida é deveras mais vantajosa que as unidades tradicionais. São muitos os fatores que contribuem para uma redução dos encargos financeiros associados aos diferentes processos construtivos, sendo o custo de aquisição do material aproximado ao dos sistemas de alvenaria convencionais.

A utilização de resíduos sólidos urbanos e industriais na composição das alvenarias também foi um dos principais objetivos deste estudo. A realização da campanha experimental englobou a preparação de betões com a substituição parcial e total dos agregados naturais por agregados reciclados e agregados leves.

Com base nos ensaios no estado fresco, verifica-se que o aumento da substituição de agregados naturais por agregados leves origina betões com massas volúmicas inferiores, quando comparados com o betão de referência. Adicionalmente, um maior valor de massa volúmica está tipicamente associado um maior valor de consistência.

Relativamente aos ensaios no estado endurecido, o ensaio de resistência à compressão, revela que os betões com substituição por agregados leves apresentam uma evolução da resistência à compressão mais lenta em relações aos betões com substituição por agregados reciclados e o betão de referência, nas idades de 3 e 7 dias. Embora o betão de referência tenha valores superiores de resistência à compressão, a diferença para os betões com substituição por agregados reciclados não é significativa. Essa diferença é apenas significativa para os betões com substituição por agregados leves, verificando-se nestes valores mais baixos de resistência à compressão. Adicionalmente verifica-se o aumento da resistência à compressão dos betões ao longo do tempo.

No que diz respeito ao comportamento face à absorção de água por capilaridade, verifica-se que, a absorção de água por capilaridade para os betões com 50% de substituição de agregados naturais por agregados reciclados é inferior ao betão de referência, o contrário confirma-se para os restantes betões, Sendo a composição com substituição de 100% EPS que se verifica os valores mais elevados. Adicionalmente, verifica-se que tipicamente a um menor valor de absorção de água por capilaridade está associado um maior valor de resistência à compressão.

A principal conclusão a retirar desta dissertação pela análise e observação dos resultados obtidos, é que se verifica um grande potencial na utilização de agregados reciclados e leves, pois a sua incorporação não reduz significativamente o comportamento físico nem mecânico dos betões. Assim a viabilidade da incorporação dos agregados reciclados e leves estudados fornece ainda a possibilidade de reutilizar vários resíduos quer urbanos quer industriais e a diminuição da necessidade de recorrer à extração de recursos naturais.

5.2.Propostas para trabalhos futuros

Este trabalho mostrou a viabilidade da produção de unidades de alvenaria de betão com agregados leves e reciclados. Com este estudo foi possível obter comportamentos coerentes com a normalização vigente, quer no estado fresco, quer no estado endurecido. Seria agora interessante aprofundar as restantes propriedades que não foram analisadas nesta dissertação, indo também ao encontro das exigências normativas.

Seria interessante definir uma metodologia para controlo e caracterização dos resíduos, para utilização como agregado na produção de unidades de alvenaria.

Poderia ser relevante uma análise do comportamento térmico e acústico das unidades de alvenaria de betão deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. B. L. e. G. V. João P. Gouveia, *Soluções construtivas em alvenaria*, Coimbra, 2007.
- [2] M. F. P. Pereira, *Anomalias em Paredes de Alvenaria sem função Estrutural*, Guimarães: Universidade do Minho, 2005.
- [3] H. d. Sousa, *Alvenarias em Portugal situação actual e perspectivas futuras*, Porto: FEUP, 2002, p. 24.
- [4] Norma Portuguesa NP EN 771-3, *Especificações para unidades de alvenaria. Parte 3: Unidades de betão de agregados (blocos de betão de agregados correntes e leves)*, IPQ, 2012.
- [5] P. B. Lourenço, *Seminário sobre Paredes de Alvenaria*, Guimarães: Universidade do Minho, 2002.
- [6] H. J. C. d. Sousa, *Materiais para Alvenaria- Apreciação de algumas produções e sugestões visando a melhoria na qualidade*, Porto, 1988.
- [7] E. 1.-1.-1. *Eurocode 6: Design of Masonry Structures - Part 1-1: Common Rules for reinforced and Unreinforced Masonry Structures*, European Standard, 2005.
- [8] Norma Portuguesa NP EN 771-1, *Especificações para unidades de alvenaria. Parte 1: Unidades cerâmicas (tijolos cerâmicos)*, Lisboa: IPQ, 2012.
- [9] Norma Portuguesa NP EN 771-2, *Especificações para unidades de alvenaria. Parte 2: Unidades silico-calcárias (blocos silico-calcários)*, Lisboa: IPQ, 2012.
- [10] Norma Portuguesa NP EN 771-5, *Especificações para unidades de alvenaria. Parte 5: Unidades de pedra*, Lisboa: IPQ, 2012.
- [11] Norma Portuguesa NP EN 771-6, *Especificações para unidades de alvenaria. Parte 6: Unidades de pedra natural*, Lisboa: IPQ, 2012.
- [12] Norma Portuguesa NP EN 197-1, *Cimento. Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes*, Lisboa: IPQ, 2001.
- [13] J. Coutinho, *Materiais de construção 2*, Porto: FEUP, 2002.
- [14] M. H. Paiva, *Caracterização Reológica de Argamassas*, Aveiro: UA, 2005.
- [15] L. Gil, “<http://www.apcor.pt/userfiles/File/Caderno%20Tecnico%20F%20PT.pdf>,” [Online]. [Acedido em 22 06 2014].
- [16] S. Maria, *Aplicação estrutural de Cortiça para Melhoria da Segurança passiva em Caso de Impacto. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica*, Aveiro: Universidade de Aveiro, 2008.
- [17] M. Martins, *Comportamento Físico de Argamassas de Reboco com Regranulado Negro de Cortiça. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil*, Instituto Superior Técnico, 2010.
- [18] A. Berlofa, *A viabilidade do uso de poliestireno expandido na indústria da construção civil*, Brazil: Centro Paula Souza: Centro Tecnológico da zona leste, 2009.
- [19] Especificação LNEC E 64, *Cimentos- Determinação da massa volúmica*, 1979.
- [20] Norma Portuguesa NP EN 1097-3, *Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados- Parte 3: Determinação da Baridade e do volume de vazios*, Lisboa: IPQ, 2002.
- [21] Norma Portuguesa NP EN 1097-6, *Ensaio das Propriedades mecânicas e físicas*

- dos agregados- Parte 6: Determinação da massa volúmica e absorção de água*, Lisboa: IPQ, 2003.
- [22] Norma Portuguesa NP EN 933-1, *Ensaaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise Granulométrica. Método de Peneiração*, Lisboa: IPQ, 2000.
- [23] J. E. e. M. P. Lourenço J., Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto, 2004.
- [24] Norma Portuguesa NP EN 1008, *Água de amassadura para betões. Especificações para a amostragem, ensaio de avaliação de aptidão da água, incluindo água recuperada nos processos da indústria de betão, para fabrico de betão*, Lisboa: IPQ, 2003.
- [25] Norma Portuguesa NP EN 206-1, IPQ, 2007.
- [26] Norma Portuguesa NP EN 772-16, IPQ, 2011.
- [27] Norma Portuguesa NP EN 772-20, IPQ, 2002.
- [28] L. S. Franco, São Paulo: EPUSP/PCC, 1998.
- [29] A. Melo, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2000.
- [30] ACI COMMITTEE 211, ACI-Manual of Concrete Practice, 1992.
- [31] CEB/FIP, London: The Construction Press, 1977.
- [32] J. S. Medeiros, São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1993.
- [33] S. J. Ferreira, São Paulo: ABCP, 1995.
- [34] G. Dreux, Paris: Presses de ENPC, 1986.
- [35] A. Coutinho, vol. II, Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1988.
- [36] Norma Portuguesa NP EN 12350, Lisboa: IPQ, 2002.
- [37] ASTM C1170-06, ASTM, 2006.
- [38] Norma Portuguesa NP EN 12390-2, Lisboa: IPQ, 2003.
- [39] Norma Portuguesa NP EN 12390-3, Lisboa: IPQ, 2003.
- [40] Norma Portuguesa NP EN 12390-7, IPQ, 2009.
- [41] M. Conceição, Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2011.
- [42] Especificação LNEC E393, Lisboa: LNEC, 1993.
- [43] RILEM TC 116-PCD, RILEM, 1999.
- [44] FBE, Sidney: University of new South Wanes, 2000.
- [45] EN 1992-1-1, *Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1: General rules and rules for buildings*, Brussels: CEN, 2002.
- [46] M. G. Vieira, *Betões de elevado desempenho com agregados leves – Durabilidade e microestrutura*, Lisboa: IST Universidade Técnica de Lisboa, 2000.
- [47] R. .. Browne, *Field investigations: site & laboratory tests: maintenance repair and rehabilitation of concrete structures*, Lisboa: CEEC, 1991.
- [48] M. V. e. A. Gonçalves, *Durabilidade de betões com agregados leves*, Lisboa: Instituto Superior Técnico , 2001.
- [49] P. B. Lourenço, “Dimensionamento de Alvenarias Estruturais,” 1999.
- [50] J. O. D. Lourenço P. Barros, “Paredes de alvenaria e os sismos,” em *Sísmica 2004*, Guimarães, 2004.

ANEXOS

ANEXO A.
Estudo dos betões

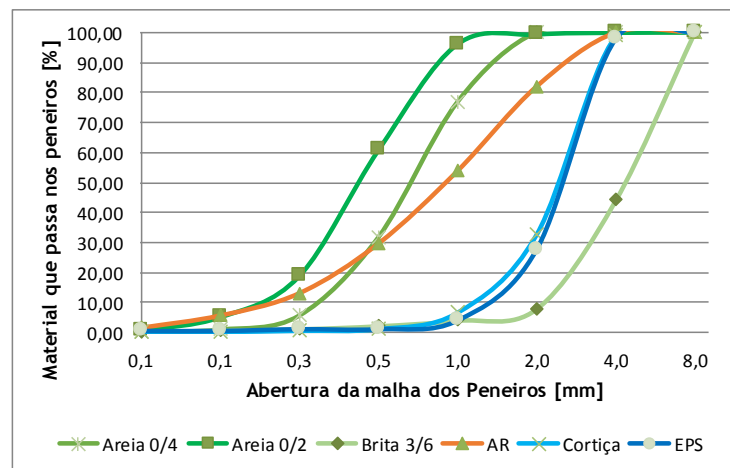
Anexo A.1.
Betão de referência

Tabela A.1.1. Composição do betão de referência

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DOS BETÕES						
Identificação do betão			Operador			
REF			Rolando Pereira			
Caracterização dos materiais			Traço dos betões			
Ligantes	Baridade [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em valores absolutos	Em valores percentuais	Valores kg/m ³ de betão	
Água	1073,3	3100,0	1	9,1%	281,82	
Agregados	Baridade [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em valores absolutos	Em valores percentuais	Valores kg/m ³ de betão	
Areia 0/2	1293,3	2559,0	2	18,2%	465,27	
Areia 0/4	1425,0	2586,0	3	27,3%	705,27	
Brita 3/6	2032,0	2700,0	5	45,5%	1227,27	
AR	1703,4	2310,0	0	0,0%	0,00	
Cortiça	95,7	148,5	0	0,0%	0,00	
EPS	12,2	39,1	0	0,0%	0,00	
	Baridade [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	11 Soma de controlo			
Água	-	1000,0	Percent. de substituição		0	
			Percentagem a/c		0,9	

Abertura da malha (mm)	Curvas Granulométricas dos agregados em percentagem de material passado					
	Areia 0/2	Areia 0/4	Brita 3/6	AR	Cortiça	EPS
8,000	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
4,000	99,90	100,00	44,02	99,91	98,78	97,70
2,000	99,31	100,00	7,89	81,92	32,52	27,59
1,000	96,04	76,70	4,06	53,70	6,48	4,02
0,500	60,67	31,57	2,21	29,46	1,01	1,15
0,250	18,79	5,52	1,20	12,90	0,51	1,15
0,125	5,13	0,87	0,72	5,47	0,10	0,57
0,063	0,68	0,17	0,24	1,43	0,00	0,57
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mód. Finura	2,202	2,853	5,399	3,166	4,606	4,678

Curvas Granulométricas de todos os agregados



Anexo A.2. Betões finais

Tabela A.2.2. Composição betão AR50%

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DOS BETÕES						
Identificação do betão			Operador			
AR50%			Rolando Pereira			
Caracterização dos materiais			Traço dos betões			
Ligantes	Baridade [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em valores absolutos	Em valores percentuais	Valores kg/m ³ de betão	
Água	1073,3	3100,0	1	9,1%	281,82	
Agregados	Baridade [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em valores absolutos	Em valores percentuais	Valores kg/m ³ de betão	
Areia 0/2	1293,3	2559,0	2	18,2%	465,27	
Areia 0/4	1425,0	2586,0	1,5	13,6%	352,64	
Brita 3/6	2032,0	2700,0	5	45,5%	1227,27	
AR	1703,4	2310,0	1,5	13,6%	315,00	
Cortiça	95,7	148,5	0	0,0%	0,00	
EPS	12,2	39,1	0	0,0%	0,00	
	Baridade [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	11 Soma de controlo			
Água	-	1000,0	Percent. de substituição		50	
			Percentagem a/c		0,95	

Abertura da malha (mm)	Curvas Granulométricas dos agregados em percentagem de material passado					
	Areia 0/2	Areia 0/4	Brita 3/6	AR	Cortiça	EPS
8,000	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
4,000	99,90	100,00	44,02	99,91	98,78	97,70
2,000	99,31	100,00	7,89	81,92	32,52	27,59
1,000	96,04	76,70	4,06	53,70	6,48	4,02
0,500	60,67	31,57	2,21	29,46	1,01	1,15
0,250	18,79	5,52	1,20	12,90	0,51	1,15
0,125	5,13	0,87	0,72	5,47	0,10	0,57
0,063	0,68	0,17	0,24	1,43	0,00	0,57
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mód. Finura	2,202	2,853	5,399	3,166	4,606	4,678

Curvas Granulométricas de todos os agregados

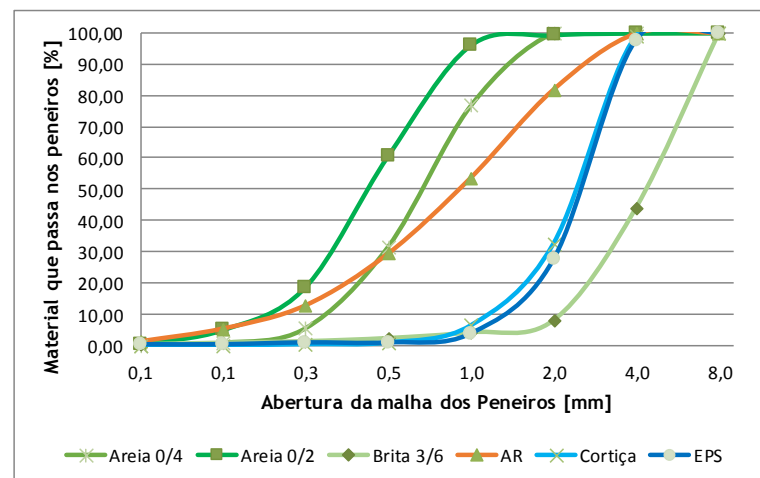


Tabela A.2.3. Composição betão AR100%

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DOS BETÕES						
Identificação do betão			Operador			
AR100%			Rolando Pereira			
Caracterização dos materiais			Traço dos betões			
Ligantes	Baridade [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em valores absolutos	Em valores percentuais	Valores kg/m ³ de betão	
Água	1073,3	3100,0	1	9,1%	281,82	
Agregados	Baridade [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em valores absolutos	Em valores percentuais	Valores kg/m ³ de betão	
Areia 0/2	1293,3	2559,0	2	18,2%	465,27	
Areia 0/4	1425,0	2586,0	0	0,0%	0,00	
Brita 3/6	2032,0	2700,0	5	45,5%	1227,27	
AR	1703,4	2310,0	3	27,3%	630,00	
Cortiça	95,7	148,5	0	0,0%	0,00	
EPS	12,2	39,1	0	0,0%	0,00	
	Baridade [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	11 Soma de controlo			
Água	-	1000,0	Percent. de substituição		100	
			Percentagem a/c		0,95	

Abertura da malha (mm)	Curvas Granulométricas dos agregados em percentagem de material passado					
	Areia 0/2	Areia 0/4	Brita 3/6	AR	Cortiça	EPS
8,000	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
4,000	99,90	100,00	44,02	99,91	98,78	97,70
2,000	99,31	100,00	7,89	81,92	32,52	27,59
1,000	96,04	76,70	4,06	53,70	6,48	4,02
0,500	60,67	31,57	2,21	29,46	1,01	1,15
0,250	18,79	5,52	1,20	12,90	0,51	1,15
0,125	5,13	0,87	0,72	5,47	0,10	0,57
0,063	0,68	0,17	0,24	1,43	0,00	0,57
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mód. Finura	2,202	2,853	5,399	3,166	4,606	4,678

Curvas Granulométricas de todos os agregados

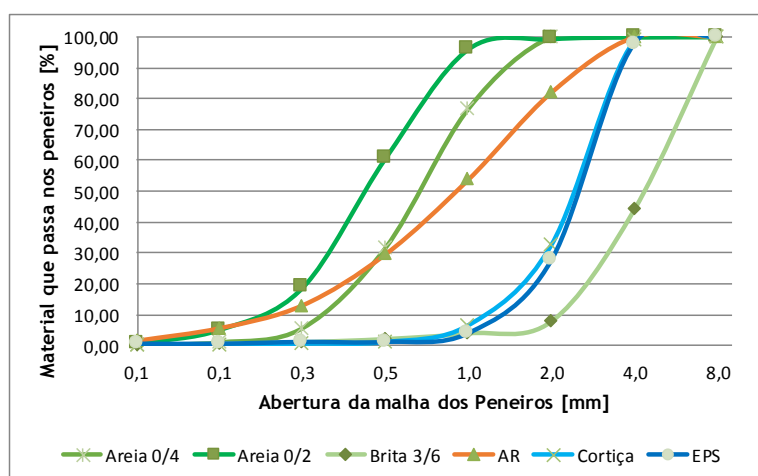


Tabela A.2.4. Composição betão COR50%

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DOS BETÕES						
Identificação do betão			Operador			
COR50%			Rolando Pereira			
Caracterização dos materiais			Traço dos betões			
Ligantes	Baridade [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em valores absolutos	Em valores percentuais	Valores kg/m ³ de betão	
Água	1073,3	3100,0	1	9,1%	281,82	
Agregados	Baridade [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em valores absolutos	Em valores percentuais	Valores kg/m ³ de betão	
Areia 0/2	1293,3	2559,0	2	18,2%	465,27	
Areia 0/4	1425,0	2586,0	1,5	13,6%	352,64	
Brita 3/6	2032,0	2700,0	5	45,5%	1227,27	
AR	1703,4	2310,0	0	0,0%	0,00	
Cortiça	95,7	148,5	1,5	13,6%	20,25	
EPS	12,2	39,1	0	0,0%	0,00	
	Baridade [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	11 Soma de controlo			
Água	-	1000,0	Percent. de substituição		50	
			Percentagem a/c		0,95	

Abertura da malha (mm)	Curvas Granulométricas dos agregados em percentagem de material passado					
	Areia 0/2	Areia 0/4	Brita 3/6	AR	Cortiça	EPS
8,000	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
4,000	99,90	100,00	44,02	99,91	98,78	97,70
2,000	99,31	100,00	7,89	81,92	32,52	27,59
1,000	96,04	76,70	4,06	53,70	6,48	4,02
0,500	60,67	31,57	2,21	29,46	1,01	1,15
0,250	18,79	5,52	1,20	12,90	0,51	1,15
0,125	5,13	0,87	0,72	5,47	0,10	0,57
0,063	0,68	0,17	0,24	1,43	0,00	0,57
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mód. Finura	2,202	2,853	5,399	3,166	4,606	4,678

Curvas Granulométricas de todos os agregados

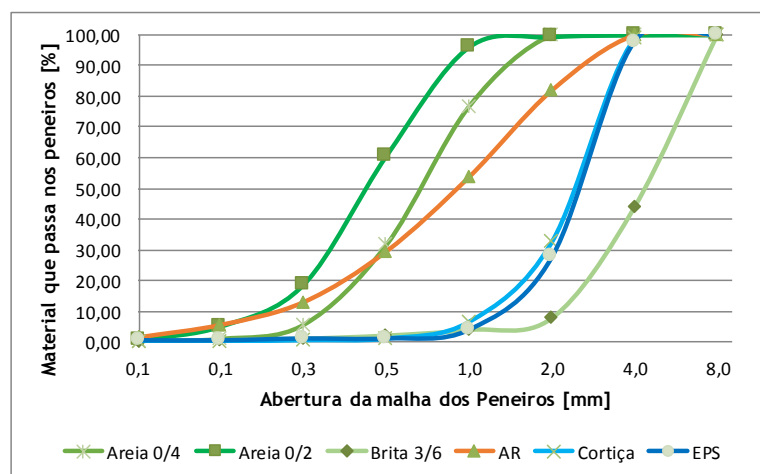


Tabela A.2.5. Composição betão COR100%

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DOS BETÕES						
Identificação do betão			Operador			
COR100%			Rolando Pereira			
Caracterização dos materiais			Traço dos betões			
Ligantes	Baridade [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em valores absolutos	Em valores percentuais	Valores kg/m ³ de betão	
Água	1073,3	3100,0	1	9,1%	281,82	
Agregados	Baridade [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em valores absolutos	Em valores percentuais	Valores kg/m ³ de betão	
Areia 0/2	1293,3	2559,0	2	18,2%	465,27	
Areia 0/4	1425,0	2586,0	0	0,0%	0,00	
Brita 3/6	2032,0	2700,0	5	45,5%	1227,27	
AR	1703,4	2310,0	0	0,0%	0,00	
Cortiça	95,7	148,5	3	27,3%	40,50	
EPS	12,2	39,1	0	0,0%	0,00	
	Baridade [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	11 Soma de controlo			
Água	-	1000,0	Percent. de substituição		100	
			Percentagem a/c		0,95	

Abertura da malha (mm)	Curvas Granulométricas dos agregados em percentagem de material passado					
	Areia 0/2	Areia 0/4	Brita 3/6	AR	Cortiça	EPS
8,000	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
4,000	99,90	100,00	44,02	99,91	98,78	97,70
2,000	99,31	100,00	7,89	81,92	32,52	27,59
1,000	96,04	76,70	4,06	53,70	6,48	4,02
0,500	60,67	31,57	2,21	29,46	1,01	1,15
0,250	18,79	5,52	1,20	12,90	0,51	1,15
0,125	5,13	0,87	0,72	5,47	0,10	0,57
0,063	0,68	0,17	0,24	1,43	0,00	0,57
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mód. Finura	2,202	2,853	5,399	3,166	4,606	4,678

Curvas Granulométricas de todos os agregados

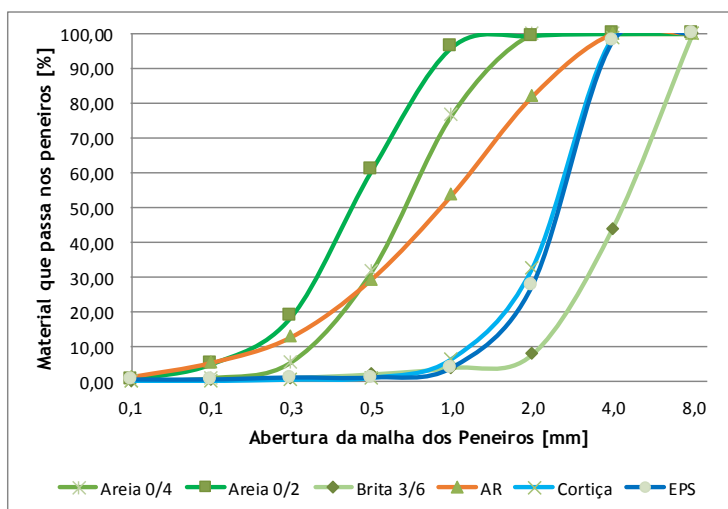


Tabela A.2.6. Composição EPS50%

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DOS BETÕES						
Identificação do betão			Operador			
EPS50%			Rolando Pereira			
Caracterização dos materiais			Traço dos betões			
Ligantes	Baridade [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em valores absolutos	Em valores percentuais	Valores kg/m ³ de betão	
Água	1073,3	3100,0	1	9,1%	281,82	
Agregados	Baridade [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em valores absolutos	Em valores percentuais	Valores kg/m ³ de betão	
Areia 0/2	1293,3	2559,0	2	18,2%	465,27	
Areia 0/4	1425,0	2586,0	1,5	13,6%	352,64	
Brita 3/6	2032,0	2700,0	5	45,5%	1227,27	
AR	1703,4	2310,0	0	0,0%	0,00	
Cortiça	95,7	148,5		0,0%	0,00	
EPS	12,2	39,1	1,5	13,6%	5,33	
	Baridade [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	11 Soma de controlo			
Água	-	1000,0	Percent. de substituição		50	
			Percentagem a/c		0,95	

Abertura da malha (mm)	Curvas Granulométricas dos agregados em percentagem de material passado					
	Areia 0/2	Areia 0/4	Brita 3/6	AR	Cortiça	EPS
8,000	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
4,000	99,90	100,00	44,02	99,91	98,78	97,70
2,000	99,31	100,00	7,89	81,92	32,52	27,59
1,000	96,04	76,70	4,06	53,70	6,48	4,02
0,500	60,67	31,57	2,21	29,46	1,01	1,15
0,250	18,79	5,52	1,20	12,90	0,51	1,15
0,125	5,13	0,87	0,72	5,47	0,10	0,57
0,063	0,68	0,17	0,24	1,43	0,00	0,57
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mód. Finura	2,202	2,853	5,399	3,166	4,606	4,678

Curvas Granulométricas de todos os agregados

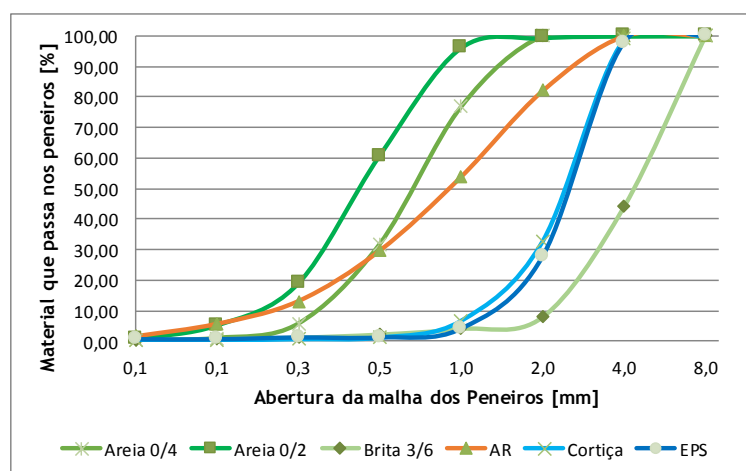


Tabela A.2.7. Composição EPS100%

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DOS BETÕES					
Identificação do betão			Operador		
EPS100%			Rolando Pereira		
Caracterização dos materiais			Traço dos betões		
Ligantes	Baridade [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em valores absolutos	Em valores percentuais	Valores kg/m ³ de betão
Água	1073,3	3100,0	1	9,1%	281,82
Agregados	Baridade [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em valores absolutos	Em valores percentuais	Valores kg/m ³ de betão
Areia 0/2	1293,3	2559,0	2	18,2%	465,27
Areia 0/4	1425,0	2586,0	0	0,0%	0,00
Brita 3/6	2032,0	2700,0	5	45,5%	1227,27
AR	1703,4	2310,0	0	0,0%	0,00
Cortiça	95,7	148,5	0	0,0%	0,00
EPS	12,2	39,1	3	27,3%	10,66
Água	-	1000,0	11	Soma de controlo	
Percent. de substituição					100
Percentagem a/c					0,95

Abertura da malha (mm)	Curvas Granulométricas dos agregados em percentagem de material passado					
	Areia 0/2	Areia 0/4	Brita 3/6	AR	Cortiça	EPS
8,000	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
4,000	99,90	100,00	44,02	99,91	98,78	97,70
2,000	99,31	100,00	7,89	81,92	32,52	27,59
1,000	96,04	76,70	4,06	53,70	6,48	4,02
0,500	60,67	31,57	2,21	29,46	1,01	1,15
0,250	18,79	5,52	1,20	12,90	0,51	1,15
0,125	5,13	0,87	0,72	5,47	0,10	0,57
0,063	0,68	0,17	0,24	1,43	0,00	0,57
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mód. Finura	2,202	2,853	5,399	3,166	4,606	4,678

Curvas Granulométricas de todos os agregados

