

Aproveitamento de Materiais Resultantes de uma Demolição Selectiva

Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente

Autor: Márcia Marina Fonseca da Silva

Orientador pela FEUP: Professor Catedrático António Manuel Antunes Fiúza

Co-Orientador pelo Grupo Soares da Costa, SA: Eng. Tânia Campos Duarte

Porto, Julho 2010

Assinatura do Orientador: _____

Agradecimentos

Agradeço às entidades que comigo colaboraram na elaboração deste trabalho, fornecendo informação e orientando-me de modo a que fosse possível que o mesmo existisse, nomeadamente o Grupo Soares da Costa e a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Ao professor António Fiúza e à Engenheira Tânia Campos Duarte pela orientação ao longo da tese, partilha de conhecimentos, disponibilidade, apoio e incentivo.

Às professoras Aurora Futuro e Maria de Lurdes Dinis, pela disponibilidade para me ajudarem nos trabalhos laboratoriais e pelo apoio quando dúvidas surgiram.

Aos amigos mais chegados, pelo incentivo e calma que me transmitiram nos momentos de maior dificuldade e pela partilha de alegria quando tudo correu pelo melhor. Um sentido Obrigada pelo sorriso que sempre me conseguiram fazer esboçar.

À minha família, pela confiança que depositaram em mim, pelos sacrifícios que fizeram para que eu pudesse terminar a minha formação académica, por todo o amor, alegria e atenção sem reservas.

Sumário

A crescente produção de resíduos constitui numa problemática preocupante nos dias de hoje, sendo que o sector da construção contribui em larga escala para este aumento, como um dos principais responsáveis pela saturação dos aterros. Assim sendo, uma forma de evitar a produção de resíduos e fazer da construção e demolição de edifícios uma actividade mais sustentável poderá ser a adopção de um método de demolição que possibilite realizar uma valorização dos resíduos e consequente diminuição do total de resíduos a depositar em aterro. A demolição selectiva (ou desconstrução) permite realizar a demolição de um edifício por fases, retirando os materiais e fazendo a sua separação na origem, possibilitando o seu posterior encaminhamento para reutilização directa ou reciclagem, seguindo sempre as prioridades evidenciadas na hierarquia de gestão de resíduos aplicada ao sector da construção. Após uma listagem dos principais resíduos que resultam de uma desconstrução, são enunciadas aplicações possíveis para cada tipo de material e alguns dos processos de reciclagem que sofrem. Foi realizado um pequeno estudo acerca da obra de reabilitação que deu origem à Pousada do Porto, Freixo Palace Hotel, em que foram quantificadas percentagens relativas dos resíduos resultantes e enumerados os destinos dados aos mesmos, apresentando-se posteriormente soluções alternativas de gestão dos resíduos com vista a uma maior sustentabilidade.

Abstract

The growing waste production is a concerning issue nowadays, and the construction sector largely contributes to this increase as major driver of landfill saturation. One way to avoid the waste production and turn the construction and demolition into a more sustainable activity may be to adopt a method that allows performing a demolition waste recovery and subsequent decrease of the total waste to be deposited in landfills. The selective demolition (or deconstruction) allows the complete building demolition in stages, removing the materials and making its separation at the source, allowing the subsequent submission and its direct reuse or recycling, always following the priorities set in the hierarchy of waste management applied to the construction industry. After making a list of the main materials that result from a deconstruction, possible applications and recycling techniques are considered for each type of material. Then a study case was conducted on the rehabilitation work that led to the Pousada do Porto, Freixo Palace Hotel, which quantified the relative percentages of each material and set the destinations for them, presenting further alternatives for waste management, minding a greater sustainability.

Índice Geral

1	Introdução.....	1
1.1	Considerações Gerais.....	1
1.2	Enquadramento Legal.....	2
1.3	Objectivos e Metodologia.....	5
1.4	Estrutura do trabalho.....	6
2	A Demolição Selectiva.....	7
2.1	A Hierarquia de Gestão dos Resíduos Aplicada ao Sector da Construção.....	7
2.2	A Importância da Demolição Selectiva.....	10
2.3	Sequência da Demolição.....	10
2.4	Materiais Resultantes de uma Demolição Selectiva com potencialidade para utilização noutros projectos.....	12
2.4.1	Betão.....	12
2.4.2	Materiais Cerâmicos.....	13
2.4.3	Vidro.....	14
2.4.4	Metais.....	15
2.4.5	Madeira.....	15
2.4.6	Papel e cartão.....	16
2.4.7	Plásticos.....	16
2.4.8	Pedra.....	18
2.4.9	Materiais perigosos.....	18
2.4.10	Materiais de isolamento.....	19
3	Processos de Reciclagem, Reutilização e Recuperação dos Materiais e suas Aplicações... 21	
3.1	Betão.....	21
3.1.1	Contaminantes que dificultam a reciclagem do betão.....	23
3.1.2	Fases que ocorrem nas estações de tratamento do betão.....	23
3.1.3	Aplicações dos agregados de betão reciclado.....	24

3.2	Materiais Cerâmicos.....	26
3.2.1	Reutilização no processo produtivo de material novo.....	27
3.2.2	Utilização de agregados de material cerâmico como material de enchimento e estabilização para infra-estruturas	27
3.2.3	Agregados para fabrico de betão e argamassas	28
3.2.4	Solo para courts de ténis.....	28
3.2.5	Substrato para plantas	29
3.3	Vidro	30
3.4	Metais.....	31
3.4.1	Metais Ferrosos.....	31
3.4.2	Metais não ferrosos	31
3.5	Madeira	31
3.5.1	Filter Jointing.....	32
3.5.2	Pulping.....	32
3.5.3	Compostagem	32
3.5.4	Produção de Substratos	33
3.5.5	Moldagem	33
3.5.6	Trituração para produção de painéis aglomerados	33
3.5.7	Trituração para produção de telhas.....	33
3.5.8	Pirólise	33
3.5.9	Gaseificação	33
3.5.10	Incineração com Aproveitamento Energético	34
3.6	Papel e cartão.....	34
3.7	Plásticos.....	35
3.8	Pedra	36
3.9	Materiais de isolamento	37
3.9.1	Lã de rocha e lã de vidro	37
3.9.2	Placas de espuma PUR (poliuretano)	37

3.9.3	Placas de PS (poliestireno)	37
4	Parâmetros de Caracterização dos Materiais Demolidos Com Vista à Reutilização.....	38
4.1	Metodologia e Procedimento Experimental Para Cada Ensaio Realizado	41
4.1.1	Granulometria	41
4.1.2	Forma	42
4.1.3	Massa Volúmica e Absorção de Água	43
4.2	Cálculos Realizados e Resultados Obtidos	44
4.2.1	Granulometria	44
4.2.2	Forma	47
4.2.3	Massa Volúmica e Absorção de Água	48
4.3	Análise e Discussão dos Resultados	50
4.3.1	Granulometria	50
4.3.2	Forma	51
4.3.3	Massa Volúmica e Absorção de Água	51
5	Caso de estudo – A Pousada do Porto, Freixo Palace Hotel	54
5.1	Breve Introdução Histórica ao Edifício.....	54
5.2	Principais Materiais Resultantes da Obra	56
5.3	Destinos dos Resíduos Resultantes da Obra	59
5.4	Proposta de Opções de Gestão de Resíduos Alternativas	61
6	Conclusões e Recomendações	64
7	Referências Bibliográficas	66
	Anexo I.....	69
	Anexo II.....	71

Índice de Figuras

Figura 1 - Hierarquia de Gestão dos Resíduos segundo a Directiva 2008/98/CE	3
Figura 2 - Hierarquia da gestão de resíduos para a demolição e construção [Adaptado de Couto et al, 2006]	8
Figura 3 - Tijolos resultantes de uma demolição [Fonte: www.staywithclay.com]	14
Figura 4 - Madeira resultante de uma demolição selectiva.....	16
Figura 5 - Aspecto da lã de rocha [Fonte: www.isolatec.com.br]	19
Figura 6 - Aspecto da lã de vidro [Fonte: www.isolatec.com.br]	20
Figura 7 - Betão de demolição após britagem [Fonte: www.ensu.eng.br/materiais].....	21
Figura 8 – Tijolo resultante de demolição após britagem [Fonte: www.staywithclay.com]	28
Figura 9 - Court de ténis [Fonte: www.staywithclay.com].....	29
Figura 10 - Telhados "verdes" [Fonte: www.staywithclay.com]	29
Figura 11 - Madeira recuperada de uma demolição selectiva [Fonte: www.calfinder.com]	32
Figura 12 - Um exemplo das diferentes fases de reciclagem dos plásticos [Fonte: Guia do Projecto APPRICOD]	36
Figura 13 - Peneiros a crivar o material	41
Figura 14 - Aspecto de um peneiro de barras utilizado na realização do ensaio.....	43
Figura 15 - Curva granulométrica para os agregados reciclados de material cerâmico	45
Figura 16 - Curva granulométricas para os agregados reciclados de betão	46
Figura 17 – Fachada Principal do Palácio do Freixo	54
Figura 18 - Vista da Margem Sul do Douro dos edifícios do Palácio do Freixo e das Moagens Harmonia.....	55
Figura 19 - Fachada lateral do edifício das Moagens Harmonia	55
Figura 20 - Aspecto do interior do edifício durante a demolição [Fonte: Melo, 2010]	56
Figura 21 - Percentagens das quantidades de cada material nos resíduos resultantes do desmantelamento e demolição da empreitada da Pousada do Porto, Freixo Palace Hotel	57

Figura 22 - Reaproveitamento de pedra resultante de desmontes para execução de nova alvenaria	58
Figura 23 - Zona de stock de materiais para reaproveitamento nos jardins do Palácio do Freixo	58
Figura 24 - Lajeado da casa das máquinas, executado com granito proveniente do desmantelamento	58
Figura 25 - Reaproveitamento de material escavado, cubos e lajeados [Fonte: Melo, 2010] ...	59
Figura 26 -Triagem, separação e encaminhamento dos resíduos por entidades licenciadas [Fonte: Melo, 2010].....	59
Figura 27 - Madeira resultante do desmantelamento do edifício [Fonte: Melo, 2010]	60

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Diferentes aspectos dos materiais a ensaiar, antes, durante e após britagem	40
Tabela 2 - Análise granulométrica dos agregados reciclados de material cerâmico	45
Tabela 3 - Análise granulométrica dos agregados reciclados de betão	46
Tabela 4 - Teor de finos de cada um dos materiais ensaiados.....	47
Tabela 5 – Massa de material registada para cada fracção granulométrica do peneiro de malha e do peneiro de barras, para cada material separadamente.....	47
Tabela 6 - Resultados obtidos para as diferentes massas volúmicas dos agregados reciclados de betão	49
Tabela 7 - Resultados obtidos para as diferentes massas volúmicas dos agregados reciclados de material cerâmico.....	50
Tabela 8 - Percentagem de absorção de água após a imersão durante 24horas	50
Tabela 9 - Propriedades que deveriam ter sido analisadas para que os agregados fossem aplicados na produção de betão, em adição às propriedades que foram testadas	53
Tabela 10 - Quantidades de materiais resultantes da empreitada de demolição selectiva da Pousada do Porto, Freixo Palace Hotel, representadas em percentagem em relação ao total de resíduos produzidos.....	56
Tabela 11 - Operações realizadas no destino dado aos resíduos após a demolição selectiva da Pousada do Porto, Freixo Palace Hotel	60

Índice de Equações

Equação 1 - Percentagem de finos da amostra.....	46
Equação 2- Índice de Achatamento	47
Equação 3 - Massa volúmica do material impermeável das partículas	48
Equação 4 - Massa volúmica das partículas saturadas com a superfície seca	49
Equação 5 - Massa volúmica das partículas	49
Equação 6 - Absorção de água	49

1 Introdução

1.1 Considerações Gerais

O sector da construção em Portugal representa, em termos quantitativos, aquele que mais resíduos destinados a aterro produz. Os resíduos resultantes deste sector são denominados de resíduos de construção e demolição (RCD) e constituem uma problemática dos dias de hoje, uma vez que são, na sua grande maioria, encaminhados para aterro sem que seja equacionada a hipótese da valorização dos mesmos. Esta opção não é, de todo, sustentável e evidencia algumas consequências negativas uma vez que o espaço em aterro é limitado e as quantidades de RCD produzidas são muito elevadas, levando ao rápido esgotamento dos aterros destinados para o efeito. Dos resíduos produzidos pelo sector, aqueles que são produzidos em maiores quantidades são o betão e os materiais cerâmicos, fragmentados e misturados, constituindo cerca de 50% do peso total dos RCD [Brito, 2006]. No entanto, deve ter-se em conta que este valor corresponde a resíduos provenientes tanto de construção como de demolição, tendo em especial que quando se fala apenas de resíduos de demolição, a percentagem correspondente a estes materiais tende a aumentar.

Até há bem pouco tempo, o processo de demolição de um edifício era considerado um processo pouco técnico, em que interessava sobretudo a rapidez. Este tipo de demolição, designado por demolição tradicional, poderia ser realizado de variadas formas (como por exemplo através de implosão ou utilização de máquinas de grandes porte), sendo o resultado aproximadamente o mesmo: a produção de resíduos, constituídos por materiais variados e misturados, cuja separação seria uma tarefa árdua e morosa de realizar. A demolição tradicional não possibilita a separação eficiente de resíduos de forma que estes possam ser reaproveitados noutras aplicações, o que provoca o seu encaminhamento preferencial para aterro. Em resumo, o sistema corrente de demolição em Portugal continua a implicar o recurso a equipamentos mecânicos de grande porte, gerando grandes volumes de resíduos de demolição misturados.

É importante referir que os resíduos de demolição são muito variáveis tanto em quantidades como em componentes que os constituem, uma vez que a sua composição depende da época de construção do edifício a demolir, da zona geográfica em que se encontra e do uso para o qual estava vocacionado. Por exemplo um edifício que tenha sido construído no litoral terá incorporada maioritariamente alvenaria cerâmica enquanto que os edifícios habitacionais no interior do país, provavelmente terão incorporada uma maior quantidade de alvenaria de pedra. Assim, os resíduos de demolição são caracterizados por conterem uma grande diversidade de materiais e por esta razão são caracterizados por uma grande heterogeneidade.

O sector da construção, ao longo dos anos, foi tomando consciência de que as suas actividades eram nocivas para o meio ambiente e recentemente começaram a realizar-se estudos de modo a que as actividades do sector se tornem mais sustentáveis. Assim criaram-se prioridades no sector, como por exemplo a reabilitação de edifícios realizada em detrimento da demolição dos mesmos ou da construção de edifícios novos. Estas medidas poderão influenciar as quantidades de resíduos produzidas, tanto em trabalhos de construção, como de demolição.

Quando a reabilitação não é viável, faz-se então uma demolição selectiva, que possibilita a separação de materiais encontrados no edifício e potencia a sua valorização através de reutilização ou reciclagem.

1.2 Enquadramento Legal

Actualmente, a gestão de resíduos em Portugal é regulamentada pelo Decreto-Lei nº 178/2006, transposição da directiva 2006/12/CE, que estabelece o regime geral da gestão de resíduos. Este Decreto-Lei assenta no princípio da hierarquia das operações de gestão de resíduos e assim define a ordem de prioridades que se devem dar em relação ao destino dos mesmos, para que se dê uma melhor gestão com vista à promoção do desenvolvimento sustentável. O mesmo Decreto-Lei enuncia que a eliminação definitiva de resíduos, nomeadamente a sua deposição em aterro, constitui a alternativa menos desejável, justificando-se apenas quando não existirem outras opções viáveis, técnica ou financeiramente. Os produtores de resíduos são responsáveis pela separação dos mesmos na origem e deve ser privilegiado o recurso às melhores tecnologias disponíveis, com custos sustentáveis, que permitam prolongar o ciclo de vida dos materiais através da sua reutilização.

No final do ano 2010, o Decreto-Lei nº 178/2006 deverá ser revogado pela transposição de uma nova directiva europeia. A Directiva 2008/98/CE assenta no conceito de Hierarquia de Gestão de Resíduos sendo que esta define uma ordem de prioridades do que constitui a melhor opção ambiental global na legislação e política dos resíduos. De acordo com a nova directiva, o objectivo é aproximar a União Europeia de uma “sociedade de reciclagem”, evitando a produção de resíduos, promovendo a valorização dos mesmos e sua utilização, preservando os recursos naturais e fomentando o conceito de desenvolvimento sustentável. Nesta directiva, a Hierarquia de Gestão de Resíduos é bem definida, constituindo um princípio geral da legislação e da política de prevenção e da gestão de resíduos e pode ser utilizada para estabelecer prioridades nas acções para se dar a implementação de programas numa certa comunidade.

Na Figura 1 ilustra-se a Hierarquia de Gestão dos Resíduos segundo a nova directiva, de uma forma esquemática, sendo que o topo da pirâmide representa a primeira opção da hierarquia a ser considerada e a base representa a opção menos desejável. Após a figura, é comentada sucintamente cada uma das opções a tomar, organizadas de acordo com a sua prioridade na hierarquia.



Figura 1 - Hierarquia de Gestão dos Resíduos segundo a Directiva 2008/98/CE

i. Prevenção e Redução

A redução/prevenção é a primeira prioridade na Hierarquia uma vez que “aquilo que não é produzido não necessita de ser gerido”. Esta prioridade prevê uma redução das quantidades ou toxicidade dos resíduos gerados e é a primeira opção de dos mesmos, sendo a forma mais eficaz de reduzir as quantidades dos resíduos, os custos associados ao seu manuseio e os seus impactes ambientais. A redução pode ser conseguida de diversas formas como por exemplo através da utilização de tecnologias mais limpas na manufactura de novos produtos, novos designs, produtos mais limpos (utilização de componentes menos tóxicos) e o aumento de vida útil dos materiais.

ii. Preparação para a Reutilização

A reutilização é a segunda prioridade na Hierarquia. Esta prática é muito atractiva uma vez que se dá uma poupança significativa de materiais e uma redução dos resíduos destinados a aterro. Além disso, pode haver uma vantagem económica uma vez que se se puder reutilizar um material para um determinado fim, poder-se-á poupar o custo de um material novo. No entanto, deve ter-se em conta que poderão existir alguns custos associados à reutilização de resíduos uma vez que muitas vezes são necessárias limpezas adicionais e transporte para que o material seja viável para reutilização.

iii. Reciclagem

A reciclagem de resíduos consiste na terceira prioridade da Hierarquia de Gestão de Resíduos e consiste na recuperação de materiais e processamento dos mesmos de modo a que criar um novo produto de mercado, que poderá ter ou não a mesma aplicação do resíduo que lhe deu origem. Porém deve ter-se em atenção que um determinado material

poderá ter um potencial de reciclagem elevado mas não apropriado, ou seja, a reciclagem poderá não ser viável se o reprocessamento do material envolver gastos energéticos e emissão de poluentes mais elevados do que a produção do produto original. Deve ainda ter-se em conta que a reciclagem de materiais só fará sentido se existir um mercado capaz de absorver os produtos reciclados. Além destes factores, para que a reciclagem seja possível, deverá existir um sistema de separação dos materiais na origem.

iv. Outros Tipos de Valorização

Como outros tipos de valorização devem considerar-se a compostagem e a valorização energética. A compostagem consiste num processo de degradação da matéria orgânica em meio aeróbio (na presença de oxigénio) e em condições controladas, através da acção de microrganismos. Deste processo resulta um composto que poderá ser utilizado como fertilizante ou como corrector de solos. A valorização energética poderá ser realizada de duas formas distintas, sendo uma a digestão anaeróbia e outra a incineração com aproveitamento energético. A digestão anaeróbia consiste na degradação da matéria orgânica em condições anaeróbias (na ausência de oxigénio), realizada por microrganismos anaeróbios, dando-se a produção do digerido e de um gás denominado de biogás. O biogás é constituído por metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) e como possui um elevado poder calorífico, poderá ser utilizado para produção de energia eléctrica, aquecimento ou abastecimento de redes de gás municipal. O digerido resultante poderá ser utilizado como corrector de solos, embora possa ser necessário realizar compostagem para que se criem condições favoráveis à sua utilização. A incineração com recuperação energética é realizada através da combustão controlada dos resíduos, com aproveitamento do calor gerado para produção de energia eléctrica ou aquecimento.

v. Eliminação

A eliminação dos resíduos consiste na alternativa menos desejável na hierarquia e pode ser realizada através de processos e métodos que não ponham em risco a saúde pública e que não constituam uma ameaça para o meio ambiente. A eliminação poderá ser realizada através da incineração sem aproveitamento energético ou da deposição controlada em aterro.

Os resíduos produzidos pelo sector da construção constituem um fluxo específico regulamentado pelo Decreto-Lei nº 46/2008, sendo este mais direccionado para os RCD do que o Decreto-Lei nº 178/2006. Este estabelece o regime das operações de gestão de RCD, compreendendo a sua prevenção e reutilização e as suas operações de recolha, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação. Os produtores e os operadores de gestão de RCD devem dar cumprimento às disposições legais aplicáveis aos fluxos específicos de resíduos contidos nos mesmos, designadamente aqueles que são relativos a embalagens, equipamentos eléctricos e electrónicos, óleos, pneus usados e resíduos contendo bifenis policlorados (PCB).

É ainda importante referir a existência da Lista Europeia de Resíduos de acordo com a Portaria nº 209/2004, de 3 de Março, uma vez que esta consiste numa lista que classifica os resíduos de uma forma homogénea, de acordo com o sector onde são produzidos. Esta

classificação consiste na atribuição de um número de 6 dígitos a cada resíduo, sendo os 2 primeiros dígitos correspondentes ao sector que lhe deu origem. Existe ainda uma distinção dos resíduos perigosos através da sinalização no final do seu código LER com um asterisco, enquanto que os resíduos não perigosos não possuem qualquer sinalização. Ao todo, nesta lista existem 20 classes, sendo que os RCD estão representados na lista através da Classe 17. Porém, é de referir que nem todos os RCD estão representados nesta classe, facto que se justifica pela existência de resíduos representados noutras classes, que poderão igualmente resultar de uma empreitada. São exemplos desta afirmação os resíduos incluídos na Classe 08 (resíduos do fabrico, formulação, distribuição e utilização de revestimentos [tintas, vernizes e esmaltes vítreos], colas, vedantes e tintas de impressão), na Classe 13 (óleos usados e resíduos de combustíveis líquidos, excepto óleos alimentares e classes 05, 12 e 19), na Classe 14 (resíduos de solventes, fluidos de refrigeração e gases propulsores orgânicos, excepto 07 e 08), na Classe 15 (resíduos de embalagens, absorventes, panos de limpeza, materiais filtrantes e vestuário de protecção não anteriormente especificado) e, finalmente, na Classe 16 (resíduos não especificados noutras classes desta lista, como as pilhas e o equipamento eléctrico e electrónico).

1.3 Objectivos e Metodologia

Os principais objectivos deste trabalho prendem-se com a identificação de todos os materiais resultantes de uma demolição selectiva e que possam ser reaproveitados no mesmo ou em outros projectos, estabelecer parâmetros de caracterização de materiais visando a sua reutilização ou reciclagem na mesma ou em outras aplicações, definir processos de reutilização e reciclagem dos materiais resultantes da demolição selectiva e, finalmente, testar a eficácia do processo com um exemplo prático simples, um caso de estudo, sendo que a obra que foi designada para o efeito foi a do edifício da Antiga Fábrica de Moagem Harmonia, mais conhecida de momento pelo nome de Pousada do Porto, Freixo Palace Hotel.

O presente trabalho foi realizado em colaboração com a empresa Sociedade de Construções Soares da Costa, SA, que disponibilizou orientação, informação pertinente e amostras para a realização da parte experimental do trabalho. Os ensaios propriamente ditos foram realizados em laboratório nas instalações do Departamento de Engenharia de Minas e Geoambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

A metodologia seguida para o desenvolvimento do presente trabalho foi dividida em três fases principais. Numa primeira fase fez-se uma recolha de informação e enquadramento legal, uma selecção da lista de resíduos com potencialidade para serem utilizados em novos projectos e uma caracterização física e química dos materiais resultantes de demolição. Numa fase intermédia foram desenvolvidos processos de avaliação de parâmetros e descreveram-se processos de reciclagem, reutilização e/ou recuperação. Numa fase final foi realizada a avaliação da viabilidade ambiental da utilização dos materiais de demolição, através de um exemplo prático (caso de estudo).

1.4 Estrutura do trabalho

A estrutura deste trabalho consiste em seis capítulos principais. Num primeiro capítulo é realizada uma pequena introdução ao trabalho, considerando algumas definições e considerações gerais, assim como o enquadramento legal, os objectivos finais e metodologia seguida.

Num segundo capítulo é evidenciada a importância da realização de uma demolição selectiva em detrimento da demolição tradicional, seguindo uma hierarquia de gestão de resíduos aplicada ao sector da construção e referindo qual a melhor sequência de demolição selectiva de um edifício, fazendo distinção entre duas fases principais, o desmantelamento e a demolição da estrutura propriamente dita. Neste capítulo são ainda enumerados os principais materiais com potencialidade de reaproveitamento no mesmo ou em outros projectos que poderão resultar deste tipo de demolição, bem como uma breve descrição de cada um deles bem como onde se podem encontrar num edifício a demolir.

No terceiro capítulo são referidos os processos de reutilização ou reciclagem, de acordo com a tipologia de material, bem como se faz referência às principais aplicações conhecidas para os materiais a ser reciclados ou reutilizados.

No quarto capítulo é feita uma caracterização dos materiais que foram cedidos como amostras pela Sociedade de Construções Soares da Costa, SA. Neste capítulo é descrito o trabalho experimental realizado e quais os parâmetros que foram determinados no decorrer do mesmo, bem como os resultados obtidos e a análise e discussão que destes advêm. A análise e discussão dos resultados são feitas com base nos resultados obtidos e a sua comparação com a norma europeia que especifica certos requisitos de conformidade (EN 12620) que os materiais devem seguir para serem utilizados na aplicação escolhida (a análise é feita para a utilização de agregados reciclados grossos na produção de betão).

No quinto capítulo é apresentado o caso de estudo realizado, que consistiu na empreitada de reabilitação da antiga fábrica de moagens Harmonia de modo a que esta desse origem à Pousada do Porto, Freixo Palace Hotel. Assim, numa primeira parte faz-se uma pequena introdução histórica ao edifício e ao edifício vizinho (Palácio do Freixo, que também faz parte da pousada) e numa segunda parte faz-se a análise das quantidades de resíduos resultantes da demolição selectiva realizada na empreitada, apresentando algumas possíveis explicações das aplicações que os resíduos resultantes tiveram no edifício. Por fim, é realizada uma análise da gestão de resíduos realizada na obra e dos diferentes destinos que foram dados a cada tipologia de resíduos, seguida de uma proposta de gestão dos mesmos a realizar numa obra futura semelhante (com aplicação no mesmo projecto e não em outros).

No sexto capítulo são apresentadas as principais conclusões e ilações a retirar do trabalho teórico realizado, bem como do trabalho experimental, tendo em conta todas as limitações que existiram durante o decorrer do mesmo. São apresentadas também algumas recomendações a trabalhos futuros realizados acerca do mesmo tema.

No sétimo capítulo é apresentada a bibliografia consultada ao longo da realização de todo o trabalho, bem como os websites consultados, a legislação portuguesa em vigor e a normalização europeia utilizada.

2 A Demolição Selectiva

A demolição selectiva surge da necessidade de tornar a demolição de edifícios numa actividade que contribua positivamente para a sustentabilidade da indústria da construção. No entanto deve-se ter em atenção que esta apenas se deve realizar quando não for possível fazer uma reabilitação ou restauração do edifício, uma vez que uma demolição, mesmo sendo selectiva, irá produzir uma quantidade desnecessária de resíduos inertes devido, maioritariamente, à demolição do corpo estrutural do edifício. Se a reabilitação do edifício em causa não for viável, deverá então recorrer-se à alternativa mais sustentável possível, ou seja, a demolição selectiva.

A demolição selectiva, também designada de desconstrução, consiste numa separação prévia dos diferentes materiais com potencial de serem reaproveitados num edifício antes de ser demolida a sua estrutura principal. Esta separação é realizada de acordo com as características de cada material, de forma controlada, criteriosa, segura e eficiente, elemento a elemento, de modo a que sejam evitadas emissões de poeiras, ruídos e vibrações. Para a sua realização é necessária uma grande incorporação de mão-de-obra qualificada e utilização de instrumentos manuais, que geralmente implicam um maior intervalo de tempo, pelo que apenas existirá retorno do investimento se existir um mercado capaz de absorver os produtos resultantes, ou se o custo do material levado a aterro for suficientemente elevado para que esta solução seja desincentivada [Ruivo et al, 2004].

Este tipo de demolição ainda não foi adoptado pela maior parte das empresas do sector da construção em Portugal principalmente pela razão de que esta técnica implica maiores custos associados do que a demolição tradicional, maioritariamente pelo facto de ser necessária mão-de-obra que tenha conhecimentos técnicos, cruciais para que o processo se desenrole de forma correcta e também pelo facto de este ser um processo mais moroso do que a demolição tradicional. No entanto, deve-se considerar que os ganhos económicos da utilização deste tipo de técnica estão mais a jusante, na potencial elevada qualidade dos materiais a reutilizar ou a reciclar e na redução dos trabalhos de selecção na estação de reciclagem [Silveira, R.]. Em termos de ganhos ambientais, numa abordagem global para todo o sector da construção, esta técnica é bastante favorável em relação à demolição tradicional uma vez que a possibilidade de reutilização de materiais favorece a redução de matérias-primas consumidas, de emissões gasosas nocivas e de energia consumida no fabrico de produtos novos e ainda no transporte e deposição dos resíduos resultantes da demolição de edifícios.

2.1 A Hierarquia de Gestão dos Resíduos Aplicada ao Sector da Construção

A hierarquia de valorização de resíduos aplicada ao sector da construção que é apresentada na Figura 2, demonstra que existe uma maior eficácia do seu cumprimento quando se utiliza o processo de desconstrução, uma vez que com este tipo de processo, é possível fazer uma

valorização dos materiais retirados e assim as prioridades da hierarquia são cumpridas de uma forma mais eficaz.

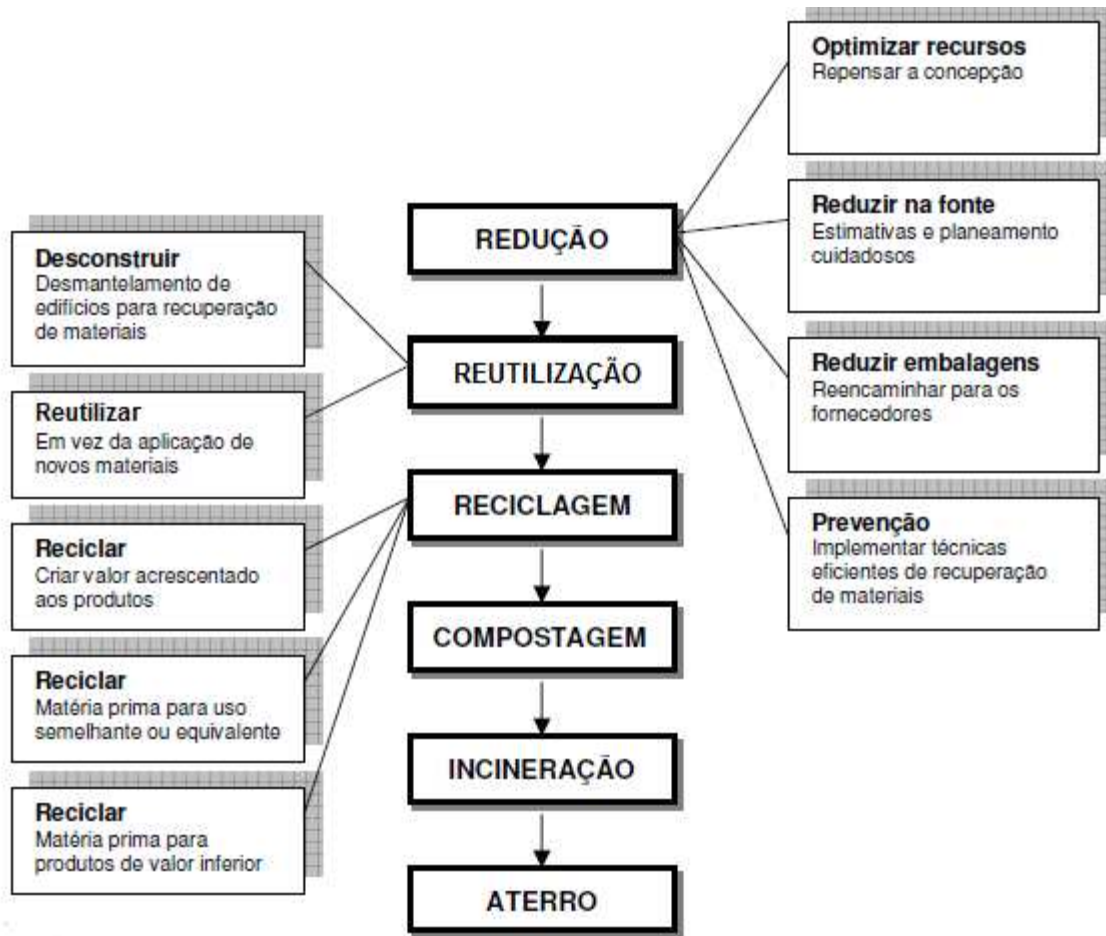


Figura 2 - Hierarquia da gestão de resíduos para a demolição e construção [Adaptado de Couto et al, 2006]

A primeira prioridade da hierarquia prende-se com a redução dos resíduos de demolição produzidos. Esta redução pode ser conseguida de diversas formas, como por exemplo a redução na fonte, que pressupõe a utilização de materiais mais duradouros e um planeamento rigoroso, a optimização de recursos minimizando desperdícios e quantidades excessivas de material, a redução de embalagens utilizadas reencaminhando as mesmas para os fornecedores e ainda a prevenção, que pressupõe a implementação de técnicas eficientes de recuperação de materiais.

A segunda prioridade na hierarquia consiste na reutilização de materiais. Esta pressupõe a desconstrução incluindo o desmantelamento cuidadoso dos materiais e a sua reutilização, no mesmo ou em outros projectos, ao invés da aplicação de materiais novos. Esta prioridade é uma das mais importantes para o sector da construção, uma vez que do ponto de vista da gestão de resíduos resultantes de demolição selectiva, é aquela que mais interesse terá. Assim, reduz-se a produção de resíduos e aumenta-se o tempo de vida útil do material, o que poderá ser considerado como uma mais valia do ponto de vista ambiental e reduzem-se os custos de compra de material novo o que poderá reduzir o custo global da obra onde estes materiais poderão ser aplicados. É ainda de considerar que se dá uma poupança de tempo e custos relativamente à

reciclagem, uma vez que este último processo implica custos de transporte e de processamento, além de que a sua realização alonga-se no tempo. O intervalo de tempo é ainda mais importante quando se pretende utilizar os resíduos reciclados na mesma obra de reabilitação.

A terceira prioridade na hierarquia prende-se com a reciclagem dos resíduos da indústria da construção, sendo que esta pode ser feita tendo em vista criar um valor acrescentado nos produtos ou criar matéria-prima para utilização equivalente ou de valor inferior. Esta prioridade também é uma das principais prioridades para o sector da construção, uma vez que é do interesse desta indústria reduzir a quantidade de resíduos destinados a aterro. Com este processo é possível reduzir em grande quantidade os resíduos resultantes de demolição que seriam destinados a aterro (principalmente inertes como o betão e os materiais cerâmicos), sendo esta considerada como a principal vantagem da reciclagem. Este processo envolve alguns custos e por esta razão é necessária uma análise prévia do mercado actual para se determinar se os custos do processo poderão ser compensados pela venda de material reciclado. Actualmente a reciclagem é alvo de variados estudos, principalmente no que diz respeito ao processamento de inertes resultantes de actividades de construção civil.

A compostagem constitui a quarta prioridade da hierarquia, apesar de esta apenas permitir valorizar a fracção orgânica dos resíduos. A compostagem consiste numa decomposição da matéria orgânica, realizada por microrganismos aeróbios, em condições controladas (parâmetros como temperatura, humidade, pH, tamanho das partículas a degradar, agitação e nutrientes devem ser controlados para que o processo se dê correctamente), resultando no final do processo um composto rico em nutrientes, que pode ser utilizado posteriormente como fertilizante ou correctivo de solos (o composto é de qualidade se a compostagem se realizar correctamente, em condições controladas). Geralmente esta é aplicada às madeiras resultantes das demolições que não são viáveis para reutilização.

A incineração, como quinta prioridade da hierarquia, pode ser dividida em incineração com ou sem aproveitamento energético. A incineração com aproveitamento energético tem prioridade em relação ao outro tipo de incineração uma vez que da queima dos resíduos pode resultar a produção de energia eléctrica (geralmente injectada na rede) e térmica (principalmente para aquecimento de águas nas instalações da entidade que realiza a incineração). A incineração sem aproveitamento energético destina-se apenas à eliminação dos resíduos, não sendo os custos operatórios e de amortização compensados pela venda de energia. No entanto, esta tecnologia reduz o volume dos resíduos em cerca de 90%, sendo esta a principal razão pela qual é preferível à deposição em aterro.

A alternativa menos desejável na hierarquia é a deposição controlada dos resíduos em aterro. Esta alternativa deve ser evitada ao máximo uma vez que não se dá a valorização de nenhum tipo de resíduos. Actualmente é usual imporem-se taxas de admissão de resíduos em aterro para que esta opção seja desincentivada. Este factor claramente constitui uma desvantagem para o sector da construção uma vez que, como se sabe, as quantidades de resíduos resultantes deste sector são muito elevadas, resultando em elevados custos de deposição. É ainda de referir que os aterros têm uma área e um volume limitados e considerando que as quantidades de resíduos a admitir são muito elevadas, os aterros destinados para o efeito acabam por ficar saturados num curto espaço de tempo.

2.2 A Importância da Demolição Selectiva

A desconstrução permite que haja a possibilidade de valorizar os materiais com potencial de serem reciclados, reutilizados ou reaproveitados noutras aplicações, diminuindo assim a quantidade de resíduos de demolição destinados a aterro. Possibilita ainda que haja uma inovação tecnológica no sector da construção, bem como a promoção da sustentabilidade, benefícios económicos e ambientais e o aparecimento de um novo mercado, o dos materiais usados [Couto et al, 2006].

Pode também considerar-se uma abordagem mais centrada no ciclo de vida do material (desde a extracção das matérias-primas até ao fim de vida útil do material), sendo que, implementando a demolição selectiva e a consequente possibilidade de valorização dos materiais, se evita a extracção e transformação de matérias-primas, transporte e produção de novos materiais de construção sendo ainda de considerar o prolongamento do tempo de vida dos materiais utilizados através da sua incorporação num novo edifício, fechando-se assim o ciclo de vida dos mesmos. Esta abordagem evidencia as grandes vantagens tanto económicas como ambientais que advêm da implementação desta técnica de demolição, uma vez que são evitados custos e impactes no meio ambiente através da redução dos processos necessários à produção de material novo.

Este processo deve ser incentivado apesar de ser aparentemente mais custoso e moroso do que o processo de demolição tradicional, uma vez que proporciona uma separação eficiente dos materiais resultantes da demolição, facilitando e acelerando assim o seu encaminhamento para os diferentes destinos, podendo existir um ganho económico nesta questão. É ainda de referir que ao se realizar uma separação eficiente dos diferentes tipos de materiais, se pode evitar o contacto de materiais com potencial para reaproveitamento com outros materiais considerados perigosos. Tal contacto poderia resultar numa contaminação dos materiais recuperáveis concedendo-lhes características de perigosidade.

2.3 Sequência da Demolição

A desconstrução pode ser subdividida em duas fases, o desmantelamento e a demolição da estrutura propriamente dita. A fase do desmantelamento é realizada previamente à demolição do corpo da estrutura, uma vez que consiste na extracção cuidadosa dos materiais com algum valor comercial, que possam ser reaproveitados de alguma forma, ou então, de materiais que poderão interferir na separação ou diminuir a qualidade dos agregados após a demolição do corpo estrutural do edifício. Esta fase é crucial neste processo, distinguindo a demolição selectiva da demolição tradicional onde o edifício é destruído sem ter em atenção os materiais com potencialidades para serem reaproveitados.

O desmantelamento é a fase que acarreta mais custos na realização da desconstrução, essencialmente pela necessidade de mão-de-obra qualificada (são necessárias certas aptidões e conhecimentos técnicos dos intervenientes nesta fase) e pelo tempo dispendido no processo de separação, sendo este realizado manualmente.

A fase do desmantelamento é constituída por etapas, uma vez que os materiais mais frágeis e em melhor estado são removidos em primeiro lugar. Assim sendo, a primeira etapa consiste numa remoção selectiva dos materiais com valor comercial. Como exemplos de alguns materiais removidos nesta etapa têm-se os materiais arquitectónicos com elevado valor, alguns tipos de telhas, vidraças, portas envidraçadas, encaixes eléctricos e alguns metais. A segunda etapa consiste na remoção de outros materiais, que estando acessíveis são mais facilmente removidos, como por exemplo os vãos exteriores e interiores com respectivas guarnições, todo o tipo de divisórias leves e acabamentos removíveis como tectos falsos, soalhos ou alcatifas, elevadores, redes de ar condicionado, coberturas, aparelhos e rede eléctrica, tubagens de águas, gás e esgotos. Uma terceira etapa consiste na remoção de materiais acessíveis, que se não forem retirados, diminuem o valor dos agregados após trituração, sendo exemplo destes os materiais de madeira, plásticos e volume de vidro excessivos. Além destes materiais, por vezes o gesso também pode ser retirado nesta fase. Existe depois uma quarta etapa em que se faz a remoção de materiais acessíveis que, se não forem retirados, poderão tornar os resíduos em materiais perigosos. Um exemplo bastante conhecido é o do amianto, ou asbestos, cuja utilização na construção foi proibida por legislação na Comunidade Europeia desde 1 de Janeiro de 2005.

Para estruturas industriais, existe ainda uma quinta etapa em que é adequado o tratamento químico “in-situ” de partes do edifício que foram contaminadas ao longo da sua vida com a sua posterior remoção. Chaminés e materiais superficiais como paredes, soalhos e coberturas dos telhados são exemplos de materiais que podem ser removidos nesta última etapa. No entanto, é de referir que esta ordem de trabalhos não é necessariamente aquela que deverá ser cumprida [Lourenço, 2007].

Após a fase de desmantelamento, dá-se a fase da demolição estrutural do edifício. Esta demolição deve ser realizada no sentido inverso ao da construção lógica do edifício e desta forma o processo deverá realizar-se piso a piso, no sentido descendente, começando pela cobertura e terminando no primeiro piso construído ou nas fundações.

A demolição do corpo estrutural do edifício deve ser realizada recorrendo a técnicas que facilitem a selecção “in-situ” dos materiais para que uma valorização posterior seja potenciada e é constituída pelas etapas seguintes [Lourenço, 2007]:

1. Demolição de corpos salientes em cobertura (chaminés e clarabóias);
2. Demolição do material de revestimento da estrutura;
3. Demolição da estrutura de cobertura;
4. Demolição dos tabiques de alvenaria de apoio da cobertura;
5. Demolição de material de enchimento para formação da pendente em coberturas;
6. Demolição de cabos, tirantes e escoras em coberturas;
7. Demolição da laje de esteira; inicia-se a demolição do último piso habitado;
8. Escoramento de consolas, arcos, abóbadas, assim como de todos os elementos que ameacem colapsar ou estejam degradados;
9. Demolição de revestimentos em paredes, pisos, tectos e escadas, incluindo tectos falsos e elementos de carpintaria e serralharia;
10. Demolição de tabiques e paredes divisórias;
11. Demolição da laje do piso e das abóbadas;

12. Demolição dos elementos de suporte vertical (paredes resistentes em estruturas tradicionais, pilares e núcleos em estruturas de betão armado);
13. Demolição do último troço de escada;
14. Repetição dos pontos 9 a 15 para os restantes pisos;
15. Demolição de muros de suporte de terras;
16. Demolição das fundações.

Existe uma série de critérios prioritários na execução da demolição da estrutura do edifício, definidos para que a actividade de demolição não se torne perigosa para os intervenientes. Alguns critérios são, por exemplo, o facto de que a demolição do edifício deve ser realizada no sentido inverso ao da sua construção lógica, a ordem do desmantelamento dos elementos deverá evitar que se deixe algum elemento em desequilíbrio de modo a que ao desmantelar outro, se dê a queda do primeiro, o desmantelamento de elementos constituídos por diversos materiais deve começar pelos de revestimento e acabar nos de suporte e os elementos que trabalhem á flexão ou compressão devem ser escorados de modo a que seja mantida a estabilidade do conjunto resultante, na ausência destes elementos.

2.4 Materiais Resultantes de uma Demolição Selectiva com potencialidade para utilização noutros projectos

Os materiais que resultam em maiores quantidades de uma demolição selectiva consistem essencialmente nos inertes, como o betão e os materiais cerâmicos, uma vez que incorporam o corpo estrutural do edifício e representam a maior fracção de resíduos resultantes. A listagem de materiais apresentada de seguida representa, de uma forma relativamente exaustiva, os resíduos resultantes de uma demolição selectiva que têm potencialidade para serem utilizados noutros projectos, sofrendo algum tipo de processamento (reciclagem ou recuperação) ou não (reutilização).

2.4.1 Betão

O betão é um material de construção de custo relativamente baixo em comparação com outros materiais que se utilizam para o mesmo fim e é constituído por agregados, ou seja, partículas de rochas com dimensões entre 0,1 e 20 mm (brita e areia), dispersas numa pasta constituída por cimento e água, em proporções devidamente definidas. O cimento (ligante) reage com a água, endurecendo, e assim a mistura adquire coesão e resistência que lhe permite servir como material de construção. O betão pode também conter barras de aço, que lhe conferem uma maior resistência, passando assim a ser designado de betão armado.

É ainda de referir que as propriedades do betão endurecido não são estáticas e por isso vão evoluindo ao longo do tempo. Cerca de 50 a 60% da resistência final do betão desenvolve-se nos primeiros 7 dias, 80 a 85% em 28 dias e mesmo ao fim de 30 anos de idade, têm-se verificado aumentos mensuráveis de resistência.

Os agregados são um material muito importante na constituição do betão uma vez que ocupam cerca de 70 a 80% do seu volume, ou seja, cerca de $\frac{3}{4}$ do volume total. A pasta de cimento poderia ser utilizada sem os agregados devido à sua resistência. Porém, verificar-se-ia uma instabilidade dimensional (fluência e retracção elevadas) e o custo seria muito maior (o cimento tem um custo considerável, principalmente devido aos elevados gastos de energia na sua produção e, sendo misturado com agregados, o custo diminui consideravelmente). Assim, pretende-se utilizar a maior quantidade de agregados possível na produção de betão, utilizando granulometrias desde a areia ao agregado grosso de modo a que o conteúdo de vazios seja minimizado, bem como a quantidade de pasta de cimento necessária.

Os agregados utilizados para o fabrico do betão podem ser classificados segundo vários critérios como por exemplo a natureza petrográfica, o modo de obtenção, dimensão ou massa volúmica das partículas. Quanto às dimensões das partículas, os agregados podem ser designados como “grossos” quando ficam retidos num peneiro de abertura de 4 mm e de “finos” quando passam no mesmo peneiro. Quanto à massa volúmica, os agregados podem classificar-se em leves, normais e pesados; os leves correspondem a uma massa volúmica inferior a $2,0 \text{ g/cm}^3$, os normais correspondem a uma massa volúmica entre $2,0$ e $3,0 \text{ g/cm}^3$ e os pesados correspondem a massas volúmicas superiores a $3,0 \text{ g/cm}^3$ [Silveira, sem data definida].

As propriedades mais importantes exigidas a um agregado para a produção de betão são de natureza geométrica, física e química tais que apresentem granulometria e forma adequada, resistência às forças, propriedades térmicas adequadas, propriedades químicas adequadas relativamente ao ligante e às acções exteriores e a isenção de substâncias prejudiciais [Coutinho, 1999].

A construção de edifícios em betão deu-se em massa a partir dos anos 30, sendo o betão armado aquele que veio a ser mais utilizado. Nestas construções, a estrutura do edifício é executada a partir do betão armado e as paredes de enchimento a partir de alvenaria de tijolo [Lourenço, 2007]. Assim, resultam grandes quantidades de resíduos inertes aquando da demolição dos edifícios construídos a partir deste conjunto de elementos.

Os resíduos de betão não têm, por norma, potencial para serem reutilizados para a mesma função, mas, no entanto, têm vindo a ser realizados variados estudos acerca da possibilidade da sua reciclagem para produção de agregados, que poderão ser utilizados em variadas aplicações.

2.4.2 Materiais Cerâmicos

Os materiais de construção cerâmicos podem ser considerados materiais sustentáveis uma vez que possuem uma durabilidade muito grande, requerem pouca manutenção e têm potencial de reutilização ou reciclagem. Entre os materiais cerâmicos resultantes da demolição de edifícios encontram-se maioritariamente tijolos, telhas, azulejos e porcelanas. No entanto, a maior fracção de material cerâmico resultante da demolição é constituída por tijolos, uma vez que a alvenaria de tijolo constitui cerca de 50% da quantidade de material utilizado na construção de edifícios [Ruivo et al, 2004].



Figura 3 - Tijolos resultantes de uma demolição [Fonte: www.staywithclay.com]

Alguns destes elementos poderão ser retirados por inteiro durante o desmantelamento, antes da demolição estrutural do edifício, potenciando assim a sua reutilização no mesmo ou em outros projectos. Estes elementos deverão ser manuseados com extremo cuidado para que não sejam danificados. Se tal não acontecer, a probabilidade de este tipo de material ser encontrado partido e misturado com outros resíduos de demolição é muito elevada. Porém, se for realizada uma demolição selectiva, existe a possibilidade de que estes materiais, mesmo estando fragmentados, se encontrem separados de outros e assim seja possível fazer a reciclagem dos mesmos, permitindo que os materiais reciclados possam ser utilizados para variadas aplicações.

No ciclo de vida dos materiais cerâmicos, existem fases pré-produção, como a extracção de matéria-prima, o transporte e armazenamento, e fases pós-produção, como os processos de distribuição, aplicação, utilização e demolição. Porém, são os processos produtivos que implicam os maiores impactes ambientais. Durante o processo produtivo dá-se a libertação de emissões gasosas para a atmosfera resultam essencialmente dos processos de cozedura, secagem e tratamentos como vidragem e pintura, consomem-se numerosos recursos como água, energia e matéria-prima e produzem-se resíduos, efluentes industriais e ruído. Assim sendo, há todo o interesse em reduzir a quantidade deste tipo de resíduos e também a sua produção, fazendo a reutilização dos materiais que não se encontrem danificados, tirando partido do longo ciclo de vida que este tipo de materiais poderão ter.

2.4.3 Vidro

A maior parte do vidro utilizado nos edifícios encontra-se nas janelas de exterior, o que resulta numa maior dificuldade na sua remoção, sendo assim usual que estes sejam encontrados partidos e misturados com outros tipos de resíduos [Ruivo et al, 2004].

O vidro representa uma pequena percentagem do peso total de um edifício mas não se deve descurar a sua importância uma vez que este é um material reciclável e a sua presença poderá influenciar negativamente a qualidade dos agregados reciclados de betão.

2.4.4 Metais

2.4.4.1 Metais Ferrosos

Os metais ferrosos como o ferro e o aço são o tipo de metais que são utilizados em maiores quantidades na construção civil, principalmente para a construção de estruturas metálicas e betão armado. A utilização deste tipo de materiais é bastante vantajosa uma vez que permite uma geração limitada de resíduos (as quantidades entregues em obra são apenas as necessárias), as suas propriedades magnéticas permitem que seja facilitada a sua separação dos restantes resíduos de demolição e, finalmente, são materiais totalmente recicláveis [Lourenço, 2007].

2.4.4.2 Metais não ferrosos

Quanto aos metais não ferrosos, aqueles que se encontram mais frequentemente nos resíduos de demolição são o cobre, o alumínio, o latão e o zinco. A sua separação é mais dificultada do que a dos metais ferrosos, uma vez que deve ser realizada manualmente por não existir uma forma economicamente viável de os remover mecanicamente.

De todos os metais não ferrosos que se podem encontrar durante a demolição de um edifício, o alumínio é aquele que constitui um alvo de maior atenção uma vez que é um metal que possui um valor comercial elevado, sendo habitualmente recuperado, reutilizado ou reciclado. É ainda de referir que variedade das ligas deste metal no sector da construção é relativamente pequena, o que facilita a sua fusão e o fabrico de novas peças [Ruivo et al, 2004]. As quantidades de alumínio presentes num edifício não são, usualmente, muito elevadas. Porém, a sua recuperação torna-se muito aliciante pelo facto de a sucata de alumínio poder representar uma receita elevada e assim cobrir parcialmente os custos da demolição. A separação do alumínio dos outros metais não ferrosos pode ser realizada manualmente ou através de métodos mecânicos como por exemplo a utilização de um separador de correntes parasitas.

2.4.5 Madeira

A madeira utilizada na construção é essencialmente aplicada em revestimentos, mobiliário, portas, janelas, tacos de madeira, entre outros. Antigamente, quando os edifícios eram essencialmente construídos em alvenaria de pedra, com vigas e soalhos de madeira, as quantidades deste material presentes nos resíduos de demolição seriam, naturalmente, mais elevadas.

Podem encontrar-se essencialmente três tipos de madeiras nos resíduos de demolição: as madeiras em bom estado com valor comercial, a madeira reconstituída ou manufacturada e a madeira separada após demolição. As primeiras consistem em portas ou peças de adorno antigas e outros resíduos sólidos de madeira como caixilharias e outros. Este material poderá também incluir madeira pintada com látex ou tintas de óleo. A madeira reconstituída ou manufacturada pode conter madeira maciça, contraplacado e aglomerados e o material poderá também incluir madeira pintada com látex ou tintas de óleo. A madeira separada após demolição (Figura 4) consiste na madeira que é retirada e separada dos resíduos de demolição misturados. Este material pode incluir montantes casuais, em baixas percentagens, de madeira tratada ou materiais não constituídos por madeira como por exemplo pregos [Ruivo et al, 2004].



Figura 4 - Madeira resultante de uma demolição selectiva

[Fonte: madeiradedemolicao.wordpress.com]

2.4.6 Papel e cartão

O papel e cartão, desde que limpos e secos, podem ser recolhidos selectivamente para depois serem triados e posteriormente reciclados [Lourenço, 2007]. Nos resíduos de demolição, o peso total deste tipo de material tem pouca expressão, embora deva ser considerado.

A deposição deste tipo de material em aterro constitui um desperdício tanto em termos económicos como em termos de ocupação desnecessária de espaço uma vez que, sendo um material biodegradável, poderá ser tratado de várias formas, como a reciclagem (já bastante divulgada para este tipo de material) ou a compostagem.

2.4.7 Plásticos

Os plásticos são materiais produzidos a partir de resinas sintéticas (polímeros), derivadas do petróleo e constituem um grave problema nos dias de hoje pelo facto de muitos não serem biodegradáveis, o que os torna em materiais de difícil e dispendiosa eliminação. Os plásticos podem ser constituídos por mais de 20 polímeros diferentes, por vezes de difícil distinção, e a sua separação deve ser manual, embora esta apenas funcione para alguns tipos de plásticos, uma vez que não existem métodos mecânicos suficientemente eficientes.

No caso particular da construção civil, a partir do século XX, com destaque especial para a segunda metade, os materiais convencionais do sector começaram a ser progressivamente substituídos por materiais poliméricos. De facto, tem-se verificado que o plástico é um material essencial para o sector, sendo utilizado para variadas aplicações desde instalações hidráulicas e

eléctricas aos acabamentos de uma obra, vindo a ser crescente a importância e peso destes materiais no segmento dos edifícios [Martins et al, 2004].

Segundo o guia do projecto APPRICOD (*Assessing the Potential of Plastics Recycling in the Construction and Demolition Activities*), o sector da construção é considerado o terceiro maior consumidor de plásticos, seguindo os usos domésticos e o sector das embalagens. O projecto APPRICOD é um projecto a nível europeu que tem como principais objectivos otimizar a recolha selectiva de resíduos plásticos de locais de construção e demolição (C&D), avaliar os custos associados à recolha selectiva dos resíduos plásticos de C&D e divulgar exemplos de gestão sustentável de RCD a nível europeu.

A utilização de plásticos na construção civil é uma opção atractiva uma vez que estes apresentam variadas vantagens em relação a outros tipos de materiais como o seu baixo peso, a sua aparência agradável, a sua resistência mecânica (que é adequada a um conjunto considerável de aplicações), a sua resistência à corrosão e a sua flexibilidade arquitectónica. Por outro lado, apresentam também algumas desvantagens contando-se entre estas a sua vulnerabilidade ao fogo, o seu baixo módulo de elasticidade e a sua perda de cor quando expostos às radiações ultravioleta. No entanto, estas desvantagens podem ser atenuadas ou eliminadas se se utilizarem aditivos na produção dos plásticos (deve ter-se em atenção que a utilização de um aditivo pode melhorar uma propriedade do plástico mas prejudicar outra).

O custo da utilização dos plásticos na construção civil também é um factor atractivo uma vez que quando se considera o custo por unidade de massa, este é substancialmente mais elevado do que o dos materiais concorrentes mas quando se considera o custo por unidade de volume útil, acontece o contrário. Além deste factor, é ainda de referir que este custo tende a diminuir, vindo a ser esta a tendência do mercado nos últimos anos [Martins et al, 2004].

A indústria da construção utiliza variados tipos de polímeros, sendo aqueles com mais expressão o polietileno (PE), de alta (PEAD) ou baixa densidade (PEBD), o polipropileno (PP), o poliestireno expandido (EPS), o policloreto de vinilo (PVC) e o poliuretano (PUR).

Segundo o Projecto APPRICOD, o plástico que é utilizado em maior quantidade na indústria da construção é o PVC, a partir do qual se produzem elementos como canos e tubos, pavimentos e revestimentos de paredes, caixilhos de janelas, perfis (para portas e janelas) e isolamentos. Os canos e tubos são aqueles que são utilizados em maiores quantidades na Europa, existindo a possibilidade de estes serem utilizados à superfície ou sob o solo para transportar diversas substâncias incluindo água potável, águas residuais e gás.

A vida funcional média dos plásticos aplicados na construção é de cerca de 35 anos. No entanto, existem variações da mesma de acordo com a aplicação do plástico. Por exemplo o papel de parede tem uma vida funcional de 5 anos, enquanto que os canos poderão ter um tempo de vida funcional mais estendido, podendo ir até aos 100 anos.

A quantidade de plásticos presente nos resíduos de demolição tem vindo a aumentar de acordo com uma utilização crescente dos plásticos na construção de edifícios a partir dos anos 60. Assim, os edifícios construídos a partir dessa época e que sofram uma demolição, apresentarão maiores quantidades de plásticos nos resíduos de demolição do que aqueles que tenham sido construídos num período de tempo anterior.

2.4.8 Pedra

Os resíduos de pedra que resultam da demolição de edifícios provêm, essencialmente, de construções realizadas em alvenaria de pedra. A alvenaria de pedra era muito utilizada anteriormente aos anos 30, a partir dos quais começou a ser utilizada, maioritariamente, a construção em betão. Ainda hoje podem ser encontrados edifícios construídos em alvenaria de pedra, principalmente em zonas rurais ou zonas históricas dos grandes centros urbanos.

Deve ter-se em conta que o tipo de pedra utilizado nestes edifícios varia de acordo com a zona em que estes estão inseridos. Por exemplo, o granito, sendo a rocha mais abundante na região norte de Portugal, seria naturalmente o material mais utilizado na construção em pedra, enquanto que no sul de Portugal o calcário seria a rocha predominante nas edificações [Ruivo et al, 2004].

Para que seja realizada uma caracterização rigorosa dos resíduos de pedra é crucial que exista informação acerca da zona, época e processo construtivo utilizado na obra.

A pedra pode ainda ser utilizada noutras aplicações que não a alvenaria. A chamada rocha ornamental que, como o próprio nome indica, serve maioritariamente para efeitos de decoração, pode ser utilizada em revestimentos interiores e exteriores, pavimentação, peças de mobiliário e projectos arquitectónicos gerais, entre outros. Este tipo de material é retirado na fase do desmantelamento com relativa facilidade uma vez que, geralmente, é um material considerado acessível.

2.4.9 Materiais perigosos

Existem diferentes tipos de materiais que se podem considerar perigosos e que se encontram nos resíduos de demolição. As características de perigosidade de um determinado material podem prender-se com a constituição do próprio material (como telhas de fibrocimento ou outros materiais que contenham alcatrão, amianto, chumbo, tintas, adesivos, acumuladores, baterias, óleos minerais usados, madeira tratada e lâmpadas fluorescentes, entre outros), ou podem ser concedidas a um determinado material não perigoso pelo contacto deste com substâncias perigosas, pelo que passa a ser considerado um resíduo perigoso.

O contacto de substâncias perigosas com os materiais pode dar-se de várias formas, sendo as mais vulgares a exposição de um material a uma determinada substância perigosa durante o seu tempo de vida ou o contacto dar-se durante a demolição. Quando um determinado material incorpora um elemento construtivo com uma determinada função e assim fica exposto ao contacto com substâncias perigosas durante o seu tempo de vida útil, é considerado um resíduo perigoso aquando da sua demolição. Exemplos deste tipo de elementos são as chaminés de fábrica, expostas durante anos a substâncias perigosas como gases tóxicos, passando as suas paredes a ser consideradas como material perigoso.

Existem ainda os materiais que se tornam perigosos por contaminação durante a demolição, em que materiais perigosos como latas de tintas de chumbo entram em contacto com outros materiais, como o betão ou os materiais cerâmicos fragmentados [Lourenço, 2007].

É ainda de referir que existem materiais que não são considerados perigosos até serem indevidamente encaminhados para o seu destino final. Por exemplo o gesso, sendo um material com elevado teor em sulfatos, poderá gerar ácido sulfúrico quando depositado em aterro. Algumas madeiras tratadas ou pintadas também podem ser consideradas como um resíduo

perigoso quando são indevidamente encaminhadas para incineração, uma vez que poderão originar gases tóxicos [Ruivo et al, 2004].

2.4.10 Materiais de isolamento

Os materiais de isolamento também são um componente dos resíduos de demolição, que pode ser facilmente esquecido. Estes materiais, quando são aplicados na construção de um edifício, têm normalmente a finalidade de proporcionar isolamento térmico e/ou acústico de uma determinada divisão. Alguns dos materiais mais utilizados no isolamento são apresentados de seguida.

2.4.10.1 Lã de rocha

A lã de rocha é um dos materiais mais utilizados para fins de isolamento no sector da construção uma vez que é tido como um material muito eficiente em termos de absorção acústica, cumprindo simultaneamente as exigências térmicas. Este material é normalmente imune à acção do fogo e tem como principais aplicações as paredes interiores, fachadas, pavimentos e coberturas inclinadas, protecção anti-incêndios (isolamento de condutas de ar condicionado) e correcções acústicas (estúdios de gravação, salas de espectáculo, entre outros).

Não retém água, não provoca alergias e não apodrece o que lhe confere um tempo de vida útil alongado. A sua instalação é facilitada pela sua leveza e flexibilidade, o que é também um factor atractivo para a indústria da construção. Porém, o seu fabrico implica um considerável gasto de energia e gera emissões de CO₂, que pode ser compensado pelo facto de lhe atribuirmos um uso adequado no que diz respeito ao isolamento térmico e assim a economia de energia gerada poderá superar este impacte negativo.



Figura 5 - Aspecto da lã de rocha [Fonte: www.isolatec.com.br]

2.4.10.2 Lã de vidro

A lã de vidro é um componente fabricado em forno a altas temperaturas a partir de sílica e sódio, aglomerados por resinas sintéticas, desenvolvidas especificamente para melhorar o isolamento térmico e acústico do edifício. A sua produção está associada à geração de partículas para a atmosfera e à emissão de gases tipo NO_x, SO₂ e CO₂ e implica também gastos significativos de energia e água. No entanto, em semelhança à lã de rocha, se lhe atribuirmos um uso adequado no que diz respeito ao isolamento térmico, a economia de energia gerada poderá superar este impacte negativo. As suas aplicações são equivalentes às da lã de rocha,

assim como a facilidade da sua instalação. É um material com grande durabilidade embora a lã de rocha tenha uma durabilidade superior. O seu manuseamento pode ser perigoso e nocivo para as vias respiratórias.



Figura 6 - Aspecto da lã de vidro [Fonte: www.isolatec.com.br]

2.4.10.3 Placas de espuma PUR (poliuretano)

As placas de espuma de poliuretano (PUR) são dos materiais mais eficientes para se fazer o isolamento térmico de um edifício uma vez que o seu índice de condutividade térmica é muito baixo. No entanto, estas placas de espuma não são recicláveis embora possam ser reutilizadas (as suas ligações moleculares são muito fortes e não poderão ser desfeitas sem consequências irreversíveis) e acarretam elevadas consequências ambientais, incluindo entre estas a libertação de CO₂ em obra.

2.4.10.4 Placas de PS (poliestireno)

As placas de PS têm numerosas vantagens. Entre estas contam-se as suas boas propriedades ópticas, elevado desempenho térmico com baixa condutibilidade, facilidade de manipulação, moldáveis por vácuo, possuem elevada resistência química e mecânica e são altamente resistentes à absorção de água.

3 Processos de Reciclagem, Reutilização e Recuperação dos Materiais e suas Aplicações

Para cada material resultante de demolição selectiva, é determinado um destino tendo em conta as suas características e a sua viabilidade económica. É de referir que o destino preferencial, de acordo com a hierarquia de gestão de resíduos aplicada à construção é a reutilização dos mesmos, uma vez que, sendo possível esta opção, são evitados resíduos e custos desnecessários. Se esta opção não for viável, então dever-se-á recorrer à reciclagem da máxima quantidade de materiais possível.

Seguidamente serão apresentadas as formas de valorização passíveis de serem realizadas para cada material resultante de demolição selectiva (desmantelamento ou demolição do corpo estrutural da edificação), organizadas de acordo com as prioridades da hierarquia de gestão dos resíduos (sugerindo a realização da reutilização, sempre que possível, anteriormente à reciclagem como forma de valorização), bem como as aplicações que lhes são atribuídas após reciclagem.

De notar que nem todos os materiais resultantes de uma demolição selectiva são incluídos neste capítulo, sendo apenas referidos aqueles que resultam em maiores quantidades ou que provocam impactes ambientais mais graves.

3.1 Betão

Geralmente, não existe a possibilidade de reutilizar o betão resultante de demolição para a mesma função sem existir um qualquer tipo de processamento. Porém, é usual fazer-se uma britagem do betão no local da obra e seu posterior encaminhamento para um destino definido.



Os resíduos de betão, depois de britados, poderão ser considerados como agregados reciclados e podem ser utilizados para diversos fins, como o enchimento em recuperações ambientais de pedreiras, os agregados de betão em fundações não estruturais ou o fabrico de cimento. Podem ainda ser utilizados em bases de estradas ou em acessos temporários.

Figura 7 - Betão de demolição após britagem [Fonte: www.ensu.eng.br/materiais]

A forma obtida dos grãos é condicionada pelo processo de britagem do material e pelo tipo de britadeiras utilizadas para o efeito. Como consequência, os agregados poderão ser angulosos e a sua textura pode ser classificada de áspera a muito áspera, devido à argamassa aderida à sua superfície. Devido a esta camada, que pode variar entre 25 a 65% do volume dos agregados, sendo tanto maior quanto maior for a fracção granulométrica, estes agregados deverão apresentar propriedades diferentes das dos agregados naturais. Algumas das propriedades mais importantes que terão diferentes resultados daqueles que são esperados nos agregados pétreos

são, nomeadamente, uma maior absorção de água, maior porosidade e, conseqüentemente, menor massa volúmica e maior deformabilidade. No entanto, a trabalhabilidade e características físicas do betão produzido com agregados reciclados são satisfatórias, sendo apenas necessário aumentar a quantidade de água de amassadura para que o nível de trabalhabilidade se mantenha, tendo em conta que os agregados reciclados para betão têm uma maior porosidade, o que leva a uma maior absorção de água.

Deve ter-se em atenção que o betão produzido com agregados reciclados não deve ser utilizado em exteriores uma vez que, sendo a porosidade e a absorção de água destes agregados superior à dos agregados naturais, a expansão e retracção do betão poderá aumentar e assim poder-se-á evitar a degradação por gelo/degelo em locais onde essas acções sejam relevantes [Ruivo et al, 2004].

É ainda de referir que a resistência do betão fabricado com agregados reciclados pode ter entre 80 a 100% a resistência do betão produzido com agregados naturais.

Para os problemas apresentados existem duas soluções potenciais [Ruivo et al, 2004]:

- i. Substituir 100% dos agregados naturais por agregados reciclados e aumentar as dimensões da estrutura em 10% - Para elementos estruturais em que a brita natural seja totalmente substituída por agregados reciclados, cujas dimensões sejam limitadas pela máxima deformação, deve ser considerado um aumento de 10% em termos de altura ou largura para garantir a rigidez necessária;
- ii. Substituir 20% dos agregados naturais por agregados reciclados – Esta substituição não reduz a qualidade do betão para resistências inferiores ou iguais a 65 MPa (Mega Pascal) e não terá conseqüências de maior quanto à sua deformabilidade. Porém, devido à menor resistência, poderá ser necessário construir paredes mais espessas entre compartimentos.

Estes agregados deverão estar em conformidade com os requisitos exigidos para os agregados naturais, bem como estar sujeitos a outros regulamentos relevantes para materiais de baixa densidade, com componentes não minerais ou outros contaminantes que possam influenciar a qualidade do betão a fabricar.

Após a britagem e a crivagem, a fracção dos 0 aos 4 mm, designada por finos, apresenta um baixo potencial de reciclagem devido às suas características próprias. Não é aconselhável a aplicação desta fracção em betão estrutural devido ao elevado teor de substâncias lixiviantes como os sulfatos e os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, entre outros. Porém, é possível lidar com a contaminação realizando, por exemplo, a demolição selectiva de chaminés, coberturas de amianto e produtos com gesso, a aplicação em circunstâncias controladas ou realização de uma limpeza.

Possíveis aplicações dos finos resultantes de britagem consistem na sua incorporação na construção de estradas, substituindo a areia, ou em argamassas, devido às suas propriedades pozolânicas.

3.1.1 Contaminantes que dificultam a reciclagem do betão

O betão não é um material fácil de reciclar e existem variados aspectos que poderão afectar a sua qualidade para reciclagem. Entre estes aspectos encontra-se o facto de os resíduos de betão entregues para reciclagem não deverem conter uma percentagem de madeira superior a 10%, em termos de volume. Caso contrário, a madeira deverá ser retirada anteriormente ou durante o processo de reciclagem utilizando-se para o efeito diversas técnicas de triagem como os métodos mecânicos ou a pirólise. Se na estação de tratamento existir um banho de água no processo, podem ser admitidos resíduos de madeira até 30% em volume [Lourenço, 2007].

Outros materiais que poderão ser encontrados na fracção de betão dos resíduos de demolição são o reboco com gesso e a anidrite (podem expandir-se devido à absorção de água e causar danos na superfície do betão), os blocos porosos de isolamento (afectam negativamente a resistência quando utilizados na produção de betão), o vidro (a sua separação é difícil uma vez que a sua densidade é muito próxima da do betão e a sua inclusão na produção de betão poderá produzir uma reacção álcalis-sílica e sua consequente deterioração prematura), os compostos de ferro (podem provocar expansão e aparecimento de manchas), o aço (pode provocar o aparecimento de ferrugem sobretudo se houver também a existência de cloretos), o alumínio e o zinco (poderão causar problemas se se der a libertação de oxigénio) e outros compostos como os cloretos, alguns plásticos, solos e resíduos de pavimentos betuminosos (estes contaminantes poderão provocar uma baixa durabilidade do betão produzido, ou uma redução da sua resistência).

3.1.2 Fases que ocorrem nas estações de tratamento do betão

Nas estações de tratamento destinadas à reciclagem de resíduos de betão, os escombros passam por diversas fases para depois serem encaminhados para diferentes destinos, conforme a aplicação a que se destinam. Dependendo das estações de tratamento, as fases pelas quais o betão passa para ser transformado em agregado poderão variar. Porém, existem algumas fases que são comuns a todas as estações de tratamento, sendo as mesmas apresentadas de seguida:

- 1º - Selecção de escombros a reciclar (dimensão de material, percentagem de aço em betão, percentagem de material cerâmico);
- 2º- Britagem de escombros e separação de metais;
- 3º - Crivagem para se realizar uma separação por granulometrias;
- 4º - Expedição do material britado.

O material britado é fornecido para as mais diversas aplicações, separado consoante a granulometria desejada para cada uma delas, sendo encaminhado por lotes granulométricos.

3.1.3 Aplicações dos agregados de betão reciclado

Após reciclagem, os resíduos de betão poderão ter variadas aplicações consoante o estado em que se apresentam. O betão triturado resultante de demolições poderá conter, ainda, algumas impurezas e por essa razão as suas aplicações preferenciais serão a sua utilização como base de enchimento para valas de tubagens ou como material de aterro. O betão triturado e crivado que contenha poucas ou nenhuma impurezas poderá ser utilizável como base em aterro ou como material de enchimento para sistemas de drenagem. Em alguns casos poderá também ser utilizado como sub-base na construção de estradas e como agregado reciclado para produção de betão. O betão que for triturado e crivado, sem impurezas e contendo menos de 5% de tijolo tem grande apetência para ser utilizado como material de aterro estrutural e como material de enchimento de valas para tubagens. É ainda utilizável na construção de estradas, como agregado reciclado para produção de betão e também no fabrico de componentes de pré-fabricados [Pereira,2002].

A reciclagem de betão como agregados tem vindo a ser uma hipótese bastante estudada, existindo já algumas aplicações em prática. No entanto, é de referir que nem todas as fracções granulométricas deste material poderão ser utilizadas para a mesma aplicação, nomeadamente a quantidade de materiais mais finos na produção de betão com agregados reciclados, que deverá ser limitada.

Até à data, as aplicações deste tipo de agregados que são mais estudadas e que já incluem alguma legislação inerente (em especial as especificações realizadas pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil) consistem na produção de betão não estrutural utilizando agregados reciclados, pavimentação rodoviária e a utilização do material mais fino na produção de argamassas de revestimento.

3.1.3.1 Utilização de agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos

A construção rodoviária, incluindo parques de estacionamento, constitui o mercado de maior potencial para o consumo de inertes reciclados na União Europeia. O referido potencial refere-se não só à construção de estradas novas, mas também ao processo de reparação de pavimentos rodoviários, onde a prática da reciclagem está já bastante difundida, dela advindo importantes benefícios ambientais. Esta é a aplicação dos agregados reciclados de betão que implica menos exigências em termos de constituintes e granulometrias, sendo pouco específica em relação a muitas das propriedades exigidas em comparação com outras aplicações, como por exemplo, a produção de betão com agregados reciclados. Em termos de parâmetros geométricos, as exigências prendem-se com classes granulométricas, sobretamanhos, teor de finos e qualidade dos mesmos, percentagem de partículas totalmente esmagadas ou partidas e totalmente roladas em agregados grossos. O único parâmetro de comportamento mecânico cuja determinação é exigida consiste na resistência à fragmentação e ao desgaste. Em termos de parâmetros químicos, só é exigida a determinação do teor de sulfatos solúveis em água e a libertação de substâncias perigosas. Estes parâmetros e os seus limites encontram-se publicados a especificação LNEC E473-2006, sendo que a mesma se encontra no Anexo I.

3.1.3.2 Utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos

A utilização de agregados reciclados na produção de betão de ligantes hidráulicos é uma aplicação deste tipo de material que implica um maior conjunto de exigências técnicas e parâmetros mais definidos do que a aplicação em pavimentos. A utilização de agregados reciclados é alvo de algumas limitações, principalmente no que diz respeito à sua proporção no conjunto dos agregados, no sentido de evitar variações não previstas no módulo de elasticidade, da fluência, da retracção e das propriedades relacionadas com a durabilidade. A especificação LNEC que estabelece os valores limite para cada parâmetro que é necessário determinar, é a especificação LNEC 471-2006 (Anexo II). Segundo esta especificação, as principais propriedades a determinar são nomeadamente a dimensão, a granulometria, os constituintes, a forma, o teor de finos, a resistência à fragmentação, a massa volúmica, a absorção de água, as reacções alcali-silica, a estabilidade volumétrica, o teor de cloretos e sulfatos solúveis em ácido, os constituintes orgânicos e outros constituintes que afectam a presa e a resistência do betão e a libertação de substâncias perigosas. Estas devem encontrar-se em conformidade com os limites enunciados na norma europeia EN 12620.

Nesta especificação não são estabelecidas exigências para os agregados reciclados finos, uma vez que estes dificultam o controlo da trabalhabilidade e comprometem a resistência mecânica dos betões.

São previstos três tipos de agregados diferentes, de acordo com as proporções dos constituintes que os compõem. Uma das classes tem como constituintes principais o betão, agregados não ligados e elementos de alvenaria, não havendo exigências quanto às percentagens relativas de cada um deles. As restantes classes são maioritariamente constituídas por betão, misturado ou não com agregados não ligados. As proporções dos constituintes de cada classe são especificadas no Quadro 1 da especificação em causa (Anexo II). Os agregados reciclados não podem ser utilizados em betões destinados a contactar com água para consumo humano.

3.1.3.3 Utilização de agregados de betão finos na produção de argamassas

As normas de ensaios para a especificação dos agregados para a produção de argamassa, devem estar em conformidade com os valores especificados na norma EN 13139. Alguns dos ensaios a realizar são comuns com aqueles realizados aos agregados reciclados grossos para produção de betão. Assim sendo, aqueles agregados que sejam mais finos e não possam ser utilizados na produção de betão, poderão ser testados conjuntamente e depois servir para a produção de argamassas.

As propriedades exigidas aos agregados para argamassas encontram-se divididas em três grupos, os geométricos, os físicos e os químicos. Como exemplos de requisitos geométricos têm-se as dimensões do agregado (dos 0 aos 8 mm), a granulometria, a forma das partículas e o teor de conchas (só para granulometrias superiores aos 4mm), o teor e qualidade dos finos. Os requisitos físicos que é necessário especificar e declarar para os agregados variam com a aplicação específica e origem do agregado. No entanto, quando requeridos, devem realizar-se ensaios de massa volúmica e absorção de água e de resistência ao gelo/degelo. Os requisitos químicos prendem-se com a determinação do teor de iões de cloro solúveis em água, a

determinação dos compostos contendo enxofre, os constituintes que alteram o tempo de presa e a resistência mecânica da argamassa, a durabilidade e reactividade álcalis-sílica.

3.1.3.4 Competitividade de custo entre agregados reciclados e agregados naturais

Embora os agregados reciclados já tivessem um preço e qualidade (apesar de a absorção de água dos agregados reciclados ser superior à dos agregados naturais) competitivos com os inertes naturais, nos últimos tempos tem-se assistido a uma maior procura de agregados provenientes de demolições, principalmente devido a uma maior difusão das especificações LNEC e aplicação do Decreto-lei nº 46/2008. Os preços dos agregados reciclados poderá ser considerado inferior ao dos agregados naturais uma vez que para os agregados reciclados apenas será necessária uma britagem do material, implicando custos energéticos, enquanto que os agregados naturais implicam a extracção de matéria-prima e britagem, o que sugere gastos energéticos mais significativos, até porque existe um maior número de operações a realizar. Esta diferença de custos é ainda mais significativa quando a reciclagem dos agregados de betão é realizada a nível local, reduzindo significativamente os custos com o transporte do material.

3.2 Materiais Cerâmicos

Os materiais cerâmicos encontrados nos resíduos de demolição têm um elevado potencial de reutilização caso não estejam danificados após uma demolição selectiva. Por exemplo as telhas, se forem removidas cuidadosamente e se mantiverem intactas, poderão ser reutilizadas no mesmo ou em projectos alternativos. No entanto, a situação mais comum verificada consiste em encontrar este tipo de materiais partidos e misturados com outros resíduos de demolição, nomeadamente o betão. Assim, a reciclagem de material cerâmico é, muitas vezes, a solução mais sustentável pela qual se deve optar.

O desmantelamento de alvenaria de tijolo requer muita mão-de-obra e sendo associada à triagem e limpeza destes materiais, traduz-se em custos elevados, pelo que estas operações só se justificam e só terão viabilidade económica se existir um mercado local capaz de absorver os materiais reciclados. Este factor pode ser decisivo e crucial para que se realize a reciclagem deste tipo de materiais uma vez que a utilização de tijolos reciclados poderá tornar-se mais dispendiosa do que a aplicação de tijolos novos.

É de referir que geralmente os tijolos estão ligados com argamassa cimentícia, de morosa e difícil remoção, implicando danos para o próprio tijolo (esta poderá ser removida através do calor). Nessas situações, os tijolos são processados por britagem, tal como acontece com a maior parte da fracção mineral do RCD [Ruivo et al, 2004].

Os tijolos resultantes de demolição podem ser de qualidade variada o que torna difícil avaliar a força e a capacidade de suportar peso da alvenaria produzida com tijolos reciclados. As normas europeias são bastante rigorosas e é extremamente difícil determinar a durabilidade dos tijolos reutilizados em novas estruturas.

Algumas propriedades do tijolo reciclado, como a porosidade e a estabilidade, tornam-no adequado para a sua aplicação como material de enchimento ou de superfície em estradas. Quando finamente britados, os materiais cerâmicos adquirem propriedades pozolânicas. Devido à presença de sílica reactiva, o material pode formar uma mistura de ligação quando incorporado com cal ou cimento e este efeito pode ser utilizado para produção de argamassa ou betão.

Após a britagem do material, a fracção dos 0 aos 4 mm pode ser utilizada como substituta para o barro ou areia nos tijolos de argila ou nos tijolos de silicato de sódio, respectivamente. Para ser utilizada na produção de tijolos, esta fracção não deverá conter cal para que sejam evitados efeitos adversos na resistência, retracção durante incêndio, durabilidade e cor. Devido às suas características desfavoráveis à retracção, fluência e resistência ao gelo/degelo, os agregados reciclados de alvenarias não devem ser utilizados em elementos de construção directamente expostos às condições atmosféricas, ou seja, nos exteriores [Pereira, 2002].

Os materiais cerâmicos reciclados têm várias aplicações possíveis, sendo muitas delas em comum com as aplicações do betão reciclado. Porém, existem outras aplicações em alternativa.

No geral, as aplicações potenciais e problemas associados a agregados de alvenaria reciclados são os mesmos que existem para os agregados reciclados de betão. Porém, existem algumas diferenças em relação aos mesmos como o facto de que os agregados de alvenaria não podem ser utilizados para o fabrico de betão asfáltico, uma vez que a sua porosidade é demasiado elevada e têm pouca resistência, tornando-os desfavoráveis para esta aplicação. Outros problemas são a baixa resistência, que impede a sua aplicação em camadas de sub-base de estradas, e a sua aplicação limitada na produção de betão com agregados reciclados, uma vez que para classes de resistência superiores a B22,5 a qualidade do betão pode ser comprometida devido à maior proporção de cimento necessária [Lourenço, 2007].

3.2.1 Reutilização no processo produtivo de material novo

Tem-se verificado, nos últimos anos, um aumento da recirculação dos resíduos cozidos, não vidrados, através da sua moagem e posterior reutilização na preparação da pasta. Esta reincorporação implica uma moagem dos resíduos cerâmicos, reduzindo-os a uma granulometria adequada ao processo, permitindo a fabricação de produtos de boa qualidade e reduzindo substancialmente a quantidade de matérias-primas consumidas e os impactes inerentes à sua extracção. Contudo, deve ter-se em conta que a quantidade destes resíduos não deve ser superior a 10% da composição final da pasta, sendo por isso necessário encontrar soluções alternativas de valorização dos materiais cerâmicos.

É ainda de referir que esta aplicação implicaria um elevado custo de transporte do material a reciclar para a central de produção de material novo, o que torna esta aplicação pouco viável.

3.2.2 Utilização de agregados de material cerâmico como material de enchimento e estabilização para infra-estruturas

Embora a alvenaria britada possa ser utilizada em estradas com pouco tráfego, não se adequa a tráfego pesado devido ao risco de deformação. O material substitui materiais naturais, como a areia e a gravilha, normalmente utilizado em grandes quantidades para esse efeito. De qualquer forma, o material não deve incluir materiais não cerâmicos que possam causar poluição. Os resíduos de tijolo, telhas ou alvenaria selectivamente demolida geralmente não constituem um problema a não ser que estejam contaminados com impurezas como lã mineral ou betão. Na Figura 8 está representado o aspecto que o material cerâmico deverá ter após ser realizada a britagem do mesmo.

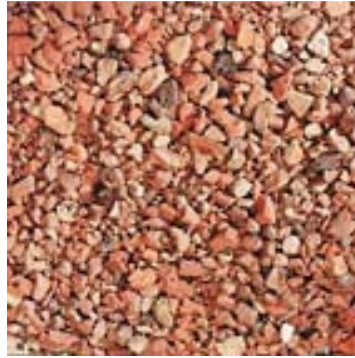


Figura 8 – Tijolo resultante de demolição após britagem [Fonte: www.staywithclay.com]

3.2.3 Agregados para fabrico de betão e argamassas

O material cerâmico, após britagem, pode também ser utilizado para enchimento e de valas de condutas e nivelar as mesmas, substituindo materiais naturais como a areia.

Para se aplicar nas condutas de canalização utiliza-se, normalmente, uma granulometria fina (0-4 mm) e as partículas de maiores dimensões poderão ser utilizadas para outras aplicações, como agregados em betão e argamassas.

A alvenaria britada para este fim não poderá conter contaminantes que possam causar poluição das águas subterrâneas.

A utilização do material cerâmico britado como agregados para produção de betão é uma alternativa viável, estando de momento a ser alvo de estudos em variados países. A produção deste tipo de agregados envolve operações como o esmagamento, a selecção e a limpeza dos resíduos cerâmicos resultantes de demolições. Porém, existe um impacte ambiental associado ao processo uma vez que se libertam grandes quantidades de poeiras durante o esmagamento e a passagem pelo crivo. Este impacte pode ser minimizado borrifando o material com água, sendo semelhante à solução que se utiliza nos problemas ligados à produção de agregados naturais. Para esta aplicação, os agregados estão sujeitos à normalização europeia, já referida para a aplicação de agregados reciclados de betão.

3.2.4 Solo para courts de ténis

O solo utilizada para se realizar o revestimento de courts de ténis é produzido pelo esmagamento de material cerâmico (tijolos e telhas) vermelho, até atingir uma granulometria de 0-4 mm no mínimo, sendo que quanto mais fino, melhor será o resultado.

As diferentes cores e qualidades de terra usada nos courts são atribuídas de acordo com os diferentes tipos de tijolos moídos e a qualidade da mesma traz numerosos benefícios como uma melhor drenagem da água, uma maior densidade (menor dispersão pelo vento) e a ausência de problemas com musgo. A sua produção poderá levar à libertação de poeiras mas o problema poderá ser minimizado se forem utilizados chuveiros de água. Na Figura 9 é representado um court de ténis cujo solo é coberto com este material.



Figura 9 - Court de ténis [Fonte: www.staywithclay.com]

As exigências para a terra utilizada em courts de ténis prendem-se com a permeabilidade, a distribuição granulométrica e a estabilidade a movimentos elásticos, sendo estas estabelecidas por entidades que regulamentam o desporto. A camada de finos à superfície é colocada sobre camadas de maior granulometria, que podem ser constituídas por materiais cerâmicos britados.

3.2.5 Substrato para plantas

Os chamados solos artificiais são misturas realizadas pelo Homem, respeitando as características essenciais de um solo gerado por processos naturais. Na sua produção, para se atingirem as características físico-químicas desejáveis de um solo fértil, devem ser avaliadas as diferentes matérias-primas a adicionar e as suas quantidades relativas.

O material cerâmico britado pode ser utilizado como substrato para plantas (suprindo as necessidades de matéria mineral), quando misturado com outras substâncias normalmente aplicadas no cultivo das mesmas, isto é, o composto orgânico (como fonte de matéria orgânica). Este tipo de material adequa-se a pequenos jardins no topo de edifícios, ou seja, os telhados de apartamentos poderão ser revestidos com uma membrana polimérica densa e cobrir-se com uma camada de 10 a 30 cm do material cerâmico britado. Este material foi estudado e comparado com outros materiais normalmente utilizados para o mesmo efeito (como a argila expandida), obtendo bons resultados. A sua porosidade permite-lhe uma boa retenção de água, à qual as plantas recorrem em períodos de tempo seco. Contudo, deve ter-se em atenção que o



Figura 10 - Telhados "verdes" [Fonte: www.staywithclay.com]

material cerâmico contém algum peso, o que poderá constituir uma desvantagem evidente.

Uma outra solução alternativa para os materiais cerâmicos britados é a sua utilização como material de enchimento em volta das raízes das árvores em locais onde o tráfego afecta o solo, compactando-o e assim comprometendo a sua capacidade de absorção de água e ar. Na Figura 10 está representado um exemplo do que se entende por telhados “verdes”, em que são colocadas plantas no topo do telhado de um edifício.

3.3 Vidro

Antes de se recorrer a um processo de reciclagem de vidro, deve-se verificar se o vidro terá características que permitam a sua reutilização. Porém, a reutilização do vidro não é uma prática muito comum quando este está incluído nos RCD, uma vez que é muito difícil manter o vidro inócuo aquando da demolição de edifícios. A presença de vidro nos RCD misturados não é favorável uma vez que existe a possibilidade de a sua presença diminuir a qualidade dos inertes quando estes são encaminhados para reciclagem.

O vidro é um material reciclável, sendo comum a sua recuperação e reintegração no processamento e produção de vidro novo. No entanto, este deve ser separado por cores “in situ” uma vez que o vidro incolor poderá ser aplicado em fins mais diversos do que o vidro colorido, não devendo ser reciclados conjuntamente [Lourenço, 2007].

Além da possibilidade de reciclagem para fabrico de vidro novo, este pode ainda ser reaproveitado para outros fins que não aquele enunciado anteriormente. Alguns exemplos são a preparação de agregados para betão, a preparação de pavimentação de estradas com “asfalto cristalino” ou ainda incorporação no fabrico de isolamento de fibras de vidro, azulejos e ladrilhos. Na preparação de agregados para betão é possível utilizar resíduos de vidro devido às suas características inertes. No entanto, deve ter-se em conta que a presença destes nos agregados poderá diminuir a resistência mecânica do produto acabado. A utilização do vidro como “asfalto cristalino” para a pavimentação de estradas e pistas de aeroportos poderá trazer vantagens uma vez que este tipo de asfalto arrefece mais devagar do que o asfalto corrente, permitindo uma compactação mais adequada, mesmo a baixas temperaturas [Lourenço, 2007]. Existem ainda estudos acerca da utilização de resíduos de vidro em argamassas de revestimento. Estes incidem no desenvolvimento de argamassas de substituição para rebocos de edifícios antigos com incorporação de resíduos de vidro resultantes da indústria vidreira, tirando partido da sua composição e assim contribuindo para a obtenção de argamassas compatíveis com alvenarias antigas [Fragata et al, data desconhecida].

Existem alguns obstáculos à recuperação de vidro, podendo estes ser de ordem técnica ou económica. Os obstáculos de ordem técnica prendem-se com a necessidade de remoção dos contaminantes existentes, como os metais, plástico ou papel a juntar à ausência de tecnologias que realizem a separação do vidro automaticamente, sem a necessidade de intervenção humana. Envolver mão-de-obra na separação do vidro dos contaminantes poderá ser complicado (diferentes tipos ou cores de vidro poderão ser considerados contaminantes, assim como outros materiais) por razões de segurança. Os obstáculos económicos prendem-se com os elevados gastos de energia na produção de vidro. Porém, é de considerar que a produção de vidro reciclado envolve consumos energéticos menores (as temperaturas de fusão são menores quando são utilizados resíduos de vidro) do que a produção de vidro novo.

A Vidrologic – Gestão de Resíduos e Ambiente, Lda, é uma empresa que se dedica à reciclagem de vidro proveniente da indústria automóvel e construção, em Portugal e na Galiza. Os resíduos de vidro recebidos são utilizados para criar matéria-prima, denominada de Calcín, podendo ser utilizada em sectores como o da cerâmica ou o da indústria vidreira. Esta empresa normalmente fornece contentores aos produtores de resíduos de vidro e responsabiliza-se pela recolha dos mesmos. Porém, os resíduos de vidro deverão estar devidamente separados de contaminantes.

3.4 Metais

Os metais são os materiais utilizados na construção civil cuja recuperação é mais facilitada, uma vez que a sua reciclagem consiste na reintegração no seu ciclo de produção sem se dar uma alteração significativa das suas propriedades e características. [Ruivo et al,2004].

3.4.1 Metais Ferrosos

Os metais ferrosos, como o aço e o ferro, são facilmente separados dos restantes RCD através da utilização de um electroímã, devido às suas propriedades magnéticas. No caso específico do aço, sendo este utilizado como reforço no betão armado, apenas poderá ser separado dos restantes RCD após a britagem do betão. O aço deve ser preferencialmente reutilizado sem se dar o seu processamento, por motivos de economia de energia. Porém, se a sua reutilização directa não for viável, recorre-se à fusão do material para se dar a produção de aço novo. O aço reciclado mantém as suas propriedades como a dureza, resistência e flexibilidade.

3.4.2 Metais não ferrosos

Dos metais não ferrosos, aquele que tem uma maior importância em termos de custos é o alumínio, uma vez que a recuperação do mesmo é muito compensadora financeiramente, podendo mesmo chegar a cobrir os custos da realização da demolição selectiva. O alumínio é 100% reciclável e, com a sua reciclagem, poupa-se cerca de 95% da energia necessária para produzi-lo pela primeira vez, a partir do minério bauxite, que lhe dá origem. É ainda de referir que este metal pode ser reciclado infinitamente uma vez que a reciclagem não danifica a sua estrutura e pode ser utilizado em qualquer produto, com a mesma qualidade do alumínio recém-produzido por mineração. Assim, a recuperação de fragmentos de alumínio, mesmo que seja em pequenas quantidades, é compensadora financeiramente.

3.5 Madeira

Os resíduos de madeira podem ser facilmente reutilizados se estiverem em bom estado de conservação e não se encontrarem danificados (por exemplo portas e janelas de dimensões *standard* poderão facilmente vir a ser reutilizadas noutras construções ou usadas em carpintaria na produção de novos produtos). Antigamente, a madeira era um material muito mais utilizado na construção civil do que é nos dias de hoje. Isto deve-se ao facto de que a madeira era normalmente utilizada para revestimento de soalhos e estrutura dos edifícios. Assim, a madeira desses soalhos, desde que em bom estado de conservação, poderá ser utilizada para o mesmo fim no mesmo ou em outros projectos.

Além da reutilização, realizada com facilidade no caso de a madeira se encontrar em bom estado de conservação, existem variadas formas de reciclar madeira, quando a sua reutilização não é viável. Os resíduos de madeira que não sejam viáveis para reutilização poderão ser reciclados de diferentes formas consoante o seu grau de contaminação e alteração. Os resíduos de madeira provenientes de elemento construtivos podem ser processados de diversas maneiras. Alguns exemplos são a trituração para a utilização como material de aterro, a limpeza

e transformação em adubo e a transformação dos resíduos para utilização em produtos derivados da madeira. É ainda de considerar a possibilidade de transformar os elementos maiores em peças de mobiliário ou elementos construtivos. Na Figura 11 está representada madeira que foi retirada de um edifício através de demolição selectiva.



Figura 11 - Madeira recuperada de uma demolição selectiva [Fonte: www.calfinder.com]

Os processos mais utilizados para realizar a reciclagem de madeira são mencionados seguidamente.

3.5.1 Filter Jointing

Este processo consiste na agregação de materiais de modo a atingirem dimensões utilizáveis, sendo possível produzir pranchas, vigas e lâminas de madeira. Os adesivos utilizados não constituem um problema ambiental aquando da reciclagem do material. *O Filter Jointing* apenas poderá ser aplicado a madeira limpa.

3.5.2 Pulping

No *Pulping*, os resíduos de madeira são submetidos a processos termodinâmicos para a produção de polpa de madeira de modo a que a partir desta seja possível a produção de papel. Este processo é apenas aplicado a madeira que seja limpa e não processada.

3.5.3 Compostagem

Na compostagem os resíduos de madeira são reduzidos em tamanho e misturados com lamas e solos, formando fertilizantes orgânicos por acção bacteriológica. A compostagem apenas poderá ser aplicada à fracção biodegradável da madeira, limitando o tipo de madeira a ser recuperada. Assim, a madeira a ser tratada por compostagem deverá ser madeira limpa, não processada anteriormente.

3.5.4 Produção de Substratos

Neste processo os resíduos de madeira são cortados em finos fios para a produção de tapetes de turfa, utilizada como meio de cultivo em estufas ou para misturar com compostos de plantação. O tratamento requer madeira limpa, embora seja aceitável utilizar resíduos de madeira com tratamentos de pincel e imersões. O processo poderá ser aplicado a madeira limpa ou com contaminações ligeiras.

3.5.5 Moldagem

Os resíduos de madeira são misturados com ligantes (poderão ser orgânicos), sendo seguidamente comprimidos em moldes para produzir placas e outros produtos. Fibras de madeira podem ser moldadas com cimento para produzir placas. A moldagem poderá ser aplicada a madeira limpa ou madeira ligeiramente contaminada.

3.5.6 Trituração para produção de painéis aglomerados

Neste processo, as fibras de madeira são ligadas para formar painéis. Tendo em conta os requerimentos de qualidade, o processo é limitado a resíduos de madeira limpa. Quando os painéis aglomerados são incinerados, é provável que ocorra a formação de óxidos de azoto (NO_x).

3.5.7 Trituração para produção de telhas

Neste processo as fibras de madeira são misturadas com óxido de magnésio e polifosfato de amónio para produzir telhas. Todos os tipos de madeira podem ser utilizados excepto painéis e madeira prensada.

3.5.8 Pirólise

Neste processo materiais carbónicos são aquecidos na ausência de oxigénio para que sejam produzidos combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos. O combustível sólido resultante é o carvão vegetal e o líquido é o chamado óleo pirolítico (contém um elevado poder calorífico). A pirólise só é aplicada a madeira que seja limpa ou ligeiramente contaminada.

3.5.9 Gaseificação

A Gaseificação converte madeira velha num gás inflamável que poderá ser utilizado como combustível. Este processo é atractivo porque elementos como pregos e tinta, que noutros

processos poderão ser considerados contaminantes, não constituem um problema. Este processo pode ser aplicado a todos os tipos de madeira.

3.5.10 Incineração com Aproveitamento Energético

Esta tecnologia faz proveito do elevado poder calorífico da madeira, utilizando-a para produção de energia eléctrica. Geralmente este processo desenrola-se em centrais especializadas na queima de biomassa.

Como se pode verificar, os resíduos de madeira limpa terão a possibilidade de ser reciclados através de todos os processos acima descritos, enquanto que, por exemplo, os resíduos de madeira colados ou prensados terão apenas a hipótese de ser reciclados através do processo de gaseificação.

Estão ainda em estudo métodos alternativos de aplicação dos resíduos de madeira que consistem na utilização dos mesmos como *biofuel* para os automóveis. O objectivo é extrair etanol dos resíduos de madeira e utilizá-lo como combustível em automóveis. O bioetanol, produzido a partir de biomassa vegetal, é um combustível “limpo” uma vez que a libertação de CO₂ durante a sua queima se insere num ciclo fechado (considera-se que o CO₂ libertado compensa o CO₂ que foi assimilado pela árvore, através da fotossíntese, ao longo do seu tempo de vida). O bioetanol é um combustível 40% mais barato do que a gasolina e contribui significativamente (cerca de 80%) para a redução de emissões gasosas nocivas ao ambiente e à saúde humana. O princípio de produção do bioetanol é semelhante ao do biodiesel, porém, este combustível ainda não tem muita aceitação em Portugal.

3.6 Papel e cartão

O papel e o cartão são dos materiais cuja reciclagem está actualmente mais divulgada e para a qual existe uma grande sensibilização pública. Desde que limpos e secos, poderão ser recolhidos selectivamente, triados e catalogados e, posteriormente, reciclados. A reutilização de papel e cartão não é possível se estes forem resultantes de demolições e, por isso, a opção de gestão mais sustentável consiste na reciclagem dos mesmos.

O papel é composto por fibras, que por sua vez podem ser recicladas cerca de 3 a 5 vezes, pelo que a reciclagem do papel implica, por vezes, a adição de pasta de papel virgem para substituir as fibras degradadas [Lourenço,2007].

3.7 Plásticos

De todos os plásticos que são utilizados na construção civil apenas alguns terão potencialidade para serem reciclados. Os plásticos podem dividir-se em termofixos ou termoplásticos. Os materiais que são termofixos não são recicláveis, deixando-nos apenas com a possibilidade de reciclar os termoplásticos.

Os materiais termoplásticos necessitam de calor para serem enformados e mantêm a forma assim que arrefecem. Estes materiais podem ser reaquecidos e re-enformados várias vezes, sem que ocorra uma alteração significativa das suas propriedades e assim poderão ser reciclados várias vezes. No entanto, deve ter-se em atenção que as temperaturas muito elevadas e o reprocessamento repetido sem limitações podem causar a sua degradação ou decomposição [Martins et al, 2004]. Alguns exemplos de plásticos termoplásticos são o PVC, o PE e o PS e têm a vantagem de serem recicláveis. No entanto, é de referir que quando estes materiais estão combinados com outros formando compósitos, a sua reciclagem revela-se mais complicada.

Os materiais termofixos, ou também designados por termoendurecíveis, são plásticos enformados para uma determinada forma e depois são endurecidos, mantendo-se rígidos. Estes materiais não podem amolecidos após este processo de endurecimento, sob a pena de se degradarem ou decomporem, o que impede a sua reciclagem. Um exemplo deste tipo de plásticos é o poliuretano (PUR), frequentemente utilizado em isolamentos térmicos nos edifícios.

Segundo o projecto APPRICOD, a reciclagem dos plásticos pode dar-se de duas formas distintas, a reciclagem mecânica e a reciclagem química para que se dê a transformação dos resíduos de plástico em matéria-prima. A reciclagem mecânica consiste no reprocessamento dos materiais por meios mecânicos em novos produtos plásticos. Este tipo de reciclagem é realizado quando existem quantidades suficientes e a qualidade do material é adequada. A reciclagem química é mais complexa do que a reciclagem mecânica e consiste da decomposição dos plásticos nos seus constituintes químicos, recorrendo, habitualmente, ao calor e à pressão. Este método é adequado para grandes quantidades de plásticos misturados e é exclusivo para a valorização deste tipo de material. A reciclagem química reduz o consumo de recursos petrolíferos usados na produção mas deve ter-se em conta que esta é uma opção que requer uma instalação dispendiosa e altamente especializada. A reciclagem de plástico após o seu consumo é complexa, uma vez que os materiais poderão conter contaminantes residuais desconhecidos. As etapas principais da reciclagem deste material consistem numa **inspecção**, em que os materiais são inspeccionados para verificar se existem contaminações, uma **pré-triagem**, uma **granulação**, em que os plásticos são moídos e lavados, uma passagem num tanque de **flutuação**, onde os diferentes materiais granulados são separados, uma **secagem** (os granulados plásticos devem ser secos, uma vez que a humidade diminui a qualidade do produto final), **fusão**, onde os plásticos são derretidos pela acção do calor e da pressão num extrusor (deve ter-se em conta que diferentes plásticos têm diferentes pontos de fusão), uma **filtragem**, onde o plástico derretido é forçado a passar por uma tela fina de modo a que sejam removidos contaminantes que tenham passado no ciclo de lavagem e, finalmente, a **peletização**, em que as tiras são arrefecidas e cortadas em pedaços para vender. Na Figura 12 é representado esquematicamente um exemplo da sequência de fases que sucedem na reciclagem de plásticos, segundo o Guia do Projecto APPRICOD.



Figura 12 - Um exemplo das diferentes fases de reciclagem dos plásticos [Fonte: Guia do Projecto APPRICOD]

As técnicas de reciclagem dependem do tipo de resíduo plástico a reciclar. Se os plásticos forem duros, então utilizam-se métodos mecânicos como a trituração, triagem, re-granulação, extrusão e produção de produtos reciclados.

Se a reciclagem de plásticos não for uma opção viável, a incineração com aproveitamento energético é a segunda melhor opção para a valorização dos resíduos de plástico uma vez que estes possuem um elevado poder calorífico. Assim, esta acaba por ser uma solução minimamente sustentável uma vez que se dá um aproveitamento energético, o que permite recuperar uma porção substancial da energia utilizada na produção de produtos plásticos.

No entanto, deve ter-se em conta que a gama de aplicação dos plásticos reciclados a alto nível apresenta limitações dado que é inevitável que se dêem alterações em certas propriedades destes materiais. É necessário adicionar material novo no processo de reciclagem e os plásticos misturados têm um número limitado de vezes que podem ser reciclados, sendo necessária a sua deposição em aterro ou incineração [Lourenço, 2007].

3.8 Pedra

Este material aparece em quantidades significativas quando um edifício mais antigo necessita de reabilitação ou demolição, uma vez que antigamente a alvenaria de pedra era muito utilizada.

Os ornamentos de pedra utilizados nos edifícios antigos podem ser limpos e reutilizados em novas construções. Os agregados resultantes de britagem de alvenaria de pedra podem ser utilizados em variadas aplicações como a restauração e conservação de fachadas de edifícios antigos, como material de enchimento depois de britada e crivada, sub-bases de pavimentos e agregados para betão novo [Pereira, 2002].

3.9 Materiais de isolamento

3.9.1 Lã de rocha e lã de vidro

Os resíduos provenientes deste material podem ser novamente fundidos para fabricação de lã de rocha. No entanto desconhecem-se operações de valorização deste tipo de resíduos em Portugal. A sua eliminação consiste na deposição em aterro para resíduos industriais não perigosos.

3.9.2 Placas de espuma PUR (poliuretano)

As placas de espuma PUR intactas poderão ser reutilizadas sem qualquer tratamento adicional. Porém, a espuma PUR colocada “in-situ” está fortemente ligada a outros materiais, dificultando a sua remoção. Não são conhecidas formas de reciclagem deste material e se o mesmo for depositado em aterro, existe a possibilidade de ocorrer lixiviação de isocianetos.

3.9.3 Placas de PS (poliestireno)

As placas de PS que não sejam danificadas na demolição, poderão ser recuperadas e utilizadas. As placas de PS que estejam danificadas, poderão ser trituradas e utilizadas como condicionador de solos (excepto o PS hidráulico que é hidrofóbico). O PS pode ainda ser reciclado uma vez que se trata de um material termoplástico. Assim, poderá ser amolecido e incorporado num processo de produção de material novo (embora este processo não seja realizado actualmente).

4 Parâmetros de Caracterização dos Materiais Demolidos Com Vista à Reutilização

Para se fazer uma caracterização dos materiais demolidos com vista à sua reutilização ou reciclagem, deve ter-se em consideração as diferentes aplicações em que os materiais poderão ser utilizados. Isto deve-se ao facto de que os parâmetros mais importantes a ter em conta poderão variar consoante a utilização a dar ao material. Neste capítulo, são apenas considerados os parâmetros mais importantes para os materiais que, regra geral, resultam em maiores quantidades dos RCD e possuem um elevado potencial de reciclagem. Assim, como os materiais que resultam em maiores quantidades da maioria das empreitadas em que é necessário realizar uma demolição são os materiais inertes como o betão e os materiais cerâmicos irá dar-se uma maior evidência à caracterização dos mesmos para que se possa proceder a uma valorização.

Como já foi referido anteriormente, o betão não poderá ser reutilizado sem existir um qualquer tratamento prévio. Assim, a reciclagem será a única alternativa sustentável a adoptar. A reciclagem de betão implica a sua transformação em agregados, existindo a possibilidade de aplicá-los em variados projectos, com diferentes finalidades. Quanto aos materiais cerâmicos, estes poderão ter algumas aplicações em comum com os resíduos reciclados de betão, fazendo assim mais sentido caracterizar estes dois tipos de resíduos considerando-os, no geral, como agregados. Os agregados reciclados poderão, por sua vez, ter diferentes utilizações consoante as suas propriedades físicas e químicas. As aplicações de agregados reciclados mais estudadas consistem na utilização de agregados reciclados na produção de betão novo, a aplicação dos mesmos em camadas não ligadas de pavimentos e ainda utilização da fracção mais fina para produção de argamassas. As propriedades mais importantes a determinar diferem de aplicação para aplicação, levando a uma caracterização dos agregados mais específica. As principais vantagens da utilização dos agregados reciclados na pavimentação prendem-se com o facto de esta ser a forma mais simples de reutilizar os agregados, envolvendo menos tecnologia do que as outras aplicações, implicando um custo menor, além de que os agregados utilizados poderão ser constituídos por diversos materiais inertes contidos nos RCD, não necessitando de separação. Quando se refere à produção de argamassas utilizando agregados reciclados, pode dizer-se que o resíduo poderá ser reciclado no local gerador do mesmo, evitando custos com transporte, havendo uma redução no consumo de cimento e cal, os inertes moídos adquirem propriedades pozolânicas e dá-se um aumento na resistência à compressão das argamassas. No entanto, esta aplicação poderá conter algumas limitações como por exemplo o facto de as argamassas resultantes sofrerem de problemas de fissuração, possivelmente devido à excessiva quantidade de finos implicada.

Porém, a aplicação escolhida para a realização do trabalho experimental foi a produção de betão com agregados reciclados em substituição da areia e da brita naturais e assim, a caracterização dos agregados irá incidir nas propriedades mais importantes para esta aplicação.

A caracterização dos resíduos resultantes de demolição selectiva realizou-se com base em amostras cedidas pela empresa Sociedade de Construções Soares da Costa, SA. Estas amostras representam todos os materiais deste tipo que resultam de desconstrução, uma vez que deverão

possuir características similares a todos os outros. Porém, deve ter-se em conta que cada resíduo é um resíduo, dependente da qualidade dos materiais que lhe deram origem. Ainda assim, para efeitos do estudo, considerou-se que estas amostras seriam representativas de todos os materiais similares às mesmas, que resultassem do mesmo tipo de demolição. Os materiais cedidos para realizar a parte experimental do trabalho limitaram-se a betão e materiais cerâmicos, mais especificamente, alvenaria de tijolo, provenientes da demolição de um edifício construído dos anos 80. Devido às pequenas quantidades de material disponibilizado (por razões de transporte), poucos ensaios puderam ser realizados e a amostra poderá não ser significativa. Em todo o caso, foram realizados alguns ensaios sobre o material disponível e assim poderá dar-se alguma realidade ao trabalho desenvolvido.

Após a escolha da aplicação pretendida, foram determinados quais os ensaios a realizar de modo a que a análise do material fosse a mais completa possível. A escolha dos ensaios realizou-se através da análise de uma especificação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), que contém informação acerca das propriedades e requisitos mínimos de conformidade dos agregados reciclados grossos para todas as aplicações em betão. A especificação LNEC analisada é a E 471-2006 e constitui um guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões ligantes hidráulicos. Infelizmente, para a maior parte dos ensaios a realizar seriam necessários lotes com uma massa mínima definida, bastante superior àquela que havia disponível e, com esta limitação, alguns ensaios foram eliminados à partida. Outra limitação com a qual se deparou foi o facto de que algumas normas que deveriam ser seguidas para determinar certas propriedades eram provisórias e não foi possível ter acesso às mesmas num intervalo de tempo favorável para a realização do trabalho experimental.

É ainda de referir que os trabalhos experimentais foram realizados nas instalações da FEUP (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto), constituindo numa outra limitação, uma vez que os laboratórios da FEUP não possuem todo o equipamento necessário para a realização de alguns ensaios. Tendo em conta todas estas restrições, determinou-se que os ensaios a realizar seriam os seguintes, seguindo as normas de ensaio específicas para cada um dos parâmetros e os requisitos de conformidade de acordo com a norma geral NP EN 12620:







- a) Dimensão – Norma de Ensaio NP EN 933-1
- b) Granulometria – Norma de Ensaio NP EN 933-1
- c) Forma – Norma de Ensaio NP EN 933-3
- d) Teor de finos – Norma de Ensaio NP EN 933-1
- e) Massa Volúmica – Norma de Ensaio NP EN 1097-6
- f) Absorção de Água - Norma de Ensaio NP EN 1097-6

O material cedido pela Sociedade de Construções Soares da Costa, SA, consistia em dois tipos de material, betão e alvenaria (com tijolo e argamassa). Assim sendo, os ensaios referidos anteriormente foram realizados em duplicado, um para cada tipo de material, analisados

separadamente. Decidiu-se realizar ensaios separados para cada tipo de material de modo a que houvesse uma distinção entre os agregados reciclados de betão e os agregados reciclados de alvenaria e assim ser possível comparar os resultados entre si.

O primeiro passo realizado em laboratório foi a britagem do material, num britador de maxilas. Na Tabela 1 estão representadas algumas fotografias tiradas antes, após e durante a britagem de cada tipo de material.

Tabela 1 - Diferentes aspectos dos materiais a ensaiar, antes, durante e após britagem

	Tijolos	Betão
Antes		
Durante		
Após		

4.1 Metodologia e Procedimento Experimental Para Cada Ensaio Realizado

4.1.1 Granulometria

A granulometria dos agregados pode ter uma grande influência sobre as propriedades do betão, particularmente no que se refere à compacidade e à trabalhabilidade (maior ou menor facilidade com que o betão é amassado, transportado, colocado, compactado e acabado e a maior ou menor facilidade de segregação durante estas operações). Deve ter-se em conta que a dimensão máxima do agregado, a razão entre grossos e finos e o conteúdo de finos são factores que influenciam a quantidade de água necessária para produzir o betão e, portanto, também a sua trabalhabilidade. Em geral, a influência da granulometria diminui com o aumento da dosagem de cimento, enquanto que o aumento de material fino poderá afectar a coesão da mistura.

Após a britagem do material disponível, foi seguida a norma NP EN 933-1, ou seja, fez-se uma crivagem do material de modo a separar as diferentes classes granulométricas, em granulometria decrescente, resultantes da britagem. Para o efeito utilizaram-se os peneiros correspondentes a normas europeias. É de referir que a massa necessária para este ensaio seria de 10 kg no mínimo (segundo o Quadro 1 da norma em causa) e a mesma não foi conseguida com o material disponibilizado.

A coluna de peneiros utilizada é constituída por um certo número de peneiros encaixados e dispostos de cima para baixo por ordem decrescente de dimensão de aberturas de malha, com fundo e tampa. Como eram necessárias muitas classes granulométricas, fizeram-se várias séries de crivagens de cada material, passando este por 6 crivos de cada vez. A peneiração realizada não foi manual, tendo-se feito o recurso a meios mecânicos para que a mesma fosse feita com mais precisão e num menor intervalo de tempo. Como a peneiração foi realizada através de métodos mecânicos, foi impossível utilizar uma coluna completa com todas as classes granulométricas, pelo que a classificação foi realizada, numa primeira fase para os materiais mais grosseiros e posteriormente, completou-se a série com os peneiros inferiores. Na Figura 13 pode ver-se a instalação que permite fazer a peneiração.



Figura 13 - Peneiros a crivar o material

Após a separação por granulometrias, o material de cada classe é pesado para se determinar a massa correspondente à fracção retida em cada peneiro (M_1) e assim ser possível realizar uma análise granulométrica.

As curvas granulométricas são fundamentais para apreciar rapidamente a granulometria do agregado e as deficiências que possa ter a nível de certas fracções, por exemplo a falta de

partículas de dada dimensão. As mesmas são também um cálculo fundamental para certos métodos utilizados na composição do betão (métodos que definem quantidades dos componentes do betão). É ainda de referir que existe a possibilidade de obter uma curva deste tipo a partir de uma mistura de agregados diferentes, desde que haja conhecimento das curvas de cada um dos constituintes da mistura [Coutinho, 1999].

Através deste ensaio é ainda possível fazer a determinação do teor de finos presente na amostra. Esta determinação é importante, uma vez que para se produzir betão com agregados reciclados, o teor de finos deverá ser diminuto. Estes poderão afectar negativamente as características do betão produzido, aumentando a sua absorção de água e diminuindo a sua resistência, entre outros.

4.1.2 Forma

A forma das partículas dos agregados afecta o comportamento do betão, uma vez que influi sobre as suas propriedades, como trabalhabilidade, compacidade, ângulo de atrito interno, entre outras e, em última análise, sobre todas aquelas que dependem da quantidade de água de amassadura. Além destes factores, a existência de partículas achatadas é de extrema importância uma vez que estas tendem a orientar-se horizontalmente quando incorporadas no betão, originando planos de rotura privilegiados. Sob estes planos poderá existir acumulação de água, impedindo uma correcta aderência entre o agregado e a pasta de cimento, resultando num aumento considerável da permeabilidade e na diminuição da tensão de rotura. Assim, pode considerar-se que as partículas menos desejadas são aquelas que são lamelares, podendo influenciar negativamente as características finais do betão. Por sua vez, aqueles agregados que tenham uma percentagem inferior de partículas achatadas serão os mais desejáveis [Coutinho, 1999].

Para se caracterizar a forma das partículas é necessário definir parâmetros geométricos claros. A forma das partículas pode ser caracterizada por três dimensões, a espessura, a largura e o comprimento. As normas europeias referem, como base da análise da forma das partículas, o índice de achatamento e o índice de forma. Contudo, a especificação LNEC que foi seguida (E 471-2006) apenas requer a determinação do índice de achatamento (norma NP EN 933-3). O procedimento especificado na norma aplica-se a fracções granulométricas dos 4 aos 80 mm.

O índice de achatamento providencia o quociente entre massa das partículas achatadas ou lamelares e a massa da amostra, sendo consideradas partículas lamelares, aquelas cuja espessura seja inferior a metade da sua dimensão nominal.

O ensaio consiste em duas operações de peneiração sendo a primeira realizada através do mesmo procedimento realizado para a determinação das diferentes granulometrias, já realizadas no ensaio anterior, e uma peneiração realizada com peneiros de barras (com ranhuras paralelas). O índice total de achatamento corresponde à massa total de partículas que passam nos peneiros de barras, expressa em percentagem da massa total seca de partículas ensaiadas. No Quadro 1 da norma NP EN 933-3 é especificada a correspondência entre a fracção granulométrica e a largura da ranhura do peneiro de barras.

A Figura 14 representa o aspecto de um dos peneiros de barras utilizados para realizar o ensaio de determinação da forma segundo a norma NP EN 933-3.



Figura 14 - Aspecto de um peneiro de barras utilizado na realização do ensaio

A peneiração com os peneiros de barras é realizada manualmente (contrariamente à peneiração realizada com peneiros de malha), fazendo passar uma determinada fracção granulométrica pelo peneiro, pesando-se posteriormente a quantidade de material que passou pelo mesmo.

4.1.3 Massa Volúmica e Absorção de Água

A massa volúmica e a absorção de água são determinadas consoante os procedimentos descritos na norma NP EN 1097-6. O método utilizado foi o método do picnómetro para agregados de granulometrias entre 0,063 e 31,5mm.

A massa volúmica define-se como sendo a propriedade do agregado que corresponde à massa contida por unidade de volume, ou seja, reflecte a proporção entre a massa e o volume do agregado. A massa é determinada pela pesagem das partículas saturadas com superfície seca e uma outra pesagem do mesmo provete após secagem em estufa. O volume determina-se a partir da massa de água deslocada. Como existem várias fracções granulométricas a analisar, deve fazer-se a separação da amostra em fracções dos 4 ao 31,5 mm (grossos) e dos 0,063 aos 4 mm (finos).

Para a realização deste ensaio não se teve em conta a massa mínima do provete uma vez que não existia massa suficiente na amostra inicial, como já foi referido anteriormente. Previamente à realização do ensaio, o material a ensaiar foi lavado, de forma a que estivesse o mais limpo possível. Após secagem do material numa estufa a uma temperatura de cerca de 110 °C, o mesmo foi pesado e posteriormente imerso em água destilada dentro do picnómetro até cerca de 3 cm do topo. Seguidamente o picnómetro foi agitado com cuidado, utilizando uma vareta de plástico para agitar o material e assim retirar o ar ocluído na sua totalidade. Em seguida foi colocada a tampa e levou-se o picnómetro a uma câmara termostática (equivalente ao banho

Maria) a cerca de 22°C durante 24 horas. Este procedimento foi realizado para ambos os materiais a ensaiar e também para ambas as fracções granulométricas.

Para os agregados mais grossos, após as 24 horas em banho Maria, retirou-se o picnómetro, agitou-se para retirar o ar ocluído, adicionou-se água destilada até transbordar e colocou-se a tampa sem deixar ar. Após a secagem do picnómetro, pesou-se o mesmo (M_2) e registou-se a temperatura da água. Então, removeu-se o agregado da água, colocou-se por cima de um pano para escorrer a água e, posteriormente, espalhou-se por cima de outro pano de modo a formar uma camada monogranular e secar um pouco. Entretanto, encheu-se o picnómetro com água destilada (de igual forma à que se realizou anteriormente), pesou-se (M_3) e mediu-se a temperatura da água. Após o agregado estar húmido mas sem películas de água visíveis à superfície, foi pesado (M_1) e colocado novamente numa estufa até apresentar massa constante (M_4).

Para os agregados mais finos, após as 24 horas em banho Maria, agitou-se o picnómetro para retirar o ar ocluído, encheu-se o picnómetro até transbordar e colocou-se a tampa sem deixar ar. De seguida, secou-se, pesou-se (M_2) o picnómetro e mediu-se a temperatura da água. Após esta operação, decantou-se a maior parte da água que cobria o provete, esvaziou-se o picnómetro sobre um tabuleiro, espalhou-se o provete molhado numa camada uniforme sobre a base do tabuleiro e expôs-se o agregado a uma leve corrente de ar de modo a evaporar a humidade superficial. Remexeu-se o provete em intervalos regulares de modo a assegurar uma secagem uniforme. Entretanto, encheu-se o picnómetro com água destilada (de igual forma à que se realizou anteriormente), pesou-se (M_3) e mediu-se a temperatura da água. Após a verificação de que as partículas de agregado não aderiam umas às outras, foi pesado (M_1) e colocado novamente numa estufa até apresentar massa constante (M_4).

4.2 Cálculos Realizados e Resultados Obtidos

4.2.1 Granulometria

Nas tabelas seguintes (Tabela 2 e Tabela 3) são representadas as fracções retidas em cada peneiro para cada um dos materiais, seguidas de uma representação gráfica das curvas granulométricas de cada material (Figura 15 e Figura 16).

A massa retida em cada peneiro foi aquela que foi ensaiada em laboratório, através do processo de crivagem do material. As dimensões dos peneiros utilizados, segundo a norma europeia NP EN 12620 foram o Basic set + set 2 (como foi seguida a versão europeia da norma, em inglês, o termo utilizado foi o correspondente à mesma, não tendo sido possível identificar o termo na norma portuguesa). Posto isto, os peneiros obrigatórios seriam aqueles que estão especificados na Tabela 1 da mesma norma.

Tabela 2 - Análise granulométrica dos agregados reciclados de material cerâmico

Peneiros (mm)	Massa Retida M_i (g)	% Relativa	Passados Acumulados (%)	Retidos Acumulados (%)
31,5	39,08	1,80	98,20	1,80
25	18,11	0,83	97,37	2,63
20	73,85	3,39	93,98	6,02
16	155,37	7,14	86,84	13,16
12,5	277,45	12,75	74,09	25,91
10	210,92	9,69	64,40	35,60
8	234,5	10,78	53,62	46,38
6,3	166,27	7,64	45,98	54,02
5	131,62	6,05	39,94	60,06
4	117,94	5,42	34,52	65,48
2	212,18	9,75	24,77	75,23
1	160,4	7,37	17,40	82,60
0,5	121,85	5,60	11,80	88,20
0,25	92,12	4,23	7,56	92,44
0,125	63,86	2,93	4,63	95,37
0,063	45,55	2,09	2,54	97,46
0	55,2	2,54	0,00	100,00
Total	2176,27	100,00		

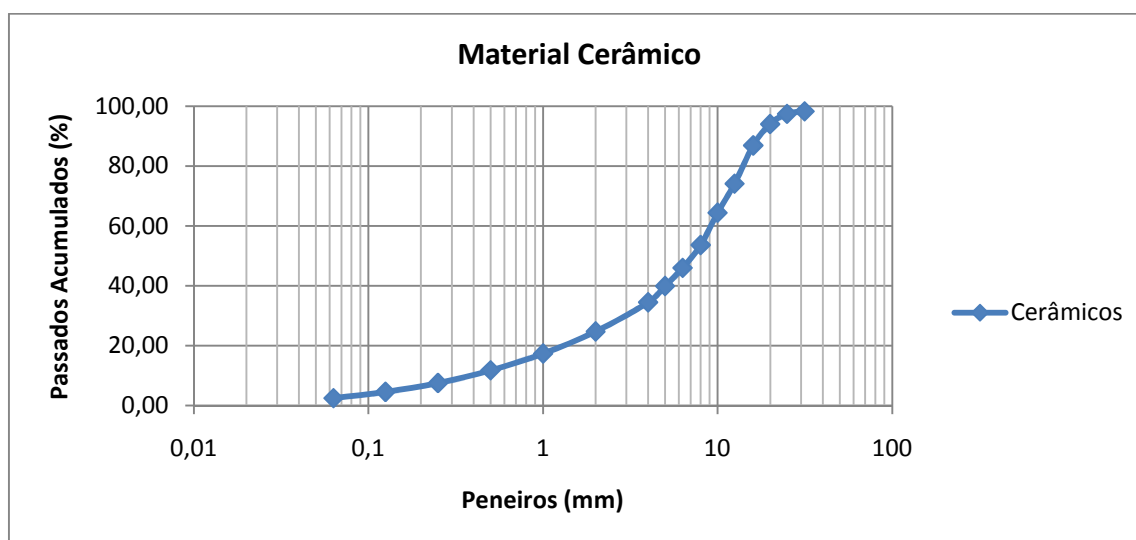


Figura 15 - Curva granulométrica para os agregados reciclados de material cerâmico

A percentagem relativa de cada uma das fracções granulométricas é calculada através da razão entre a massa retida em cada peneiro e a massa total de amostra. Por “Passados Acumulados” entende-se a percentagem total de agregado que passa através do peneiro e por “Retidos Acumulados” entende-se a percentagem total de agregado retido no peneiro em causa.

Tabela 3 - Análise granulométrica dos agregados reciclados de betão

Peneiros (mm)	Massa Retida M ₁ (g)	% Relativa	Passados Acumulados (%)	Retidos Acumulados (%)
31,5	28,35	1,38	98,62	1,38
25	69,69	3,38	95,24	4,76
20	162,30	7,87	87,37	12,63
16	288,14	13,98	73,39	26,61
12,5	243,86	11,83	61,56	38,44
10	244,44	11,86	49,70	50,30
8	188,08	9,13	40,57	59,43
6,3	131,20	6,37	34,20	65,80
5	100,50	4,88	29,33	70,67
4	87,30	4,24	25,09	74,91
2	138,84	6,74	18,36	81,64
1	114,66	5,56	12,79	87,21
0,5	90,79	4,41	8,39	91,61
0,25	67,86	3,29	5,09	94,91
0,125	51,03	2,48	2,62	97,38
0,063	35,45	1,72	0,90	99,10
0	18,52	0,90	0,00	100,00
Total	2061,01	100,00		

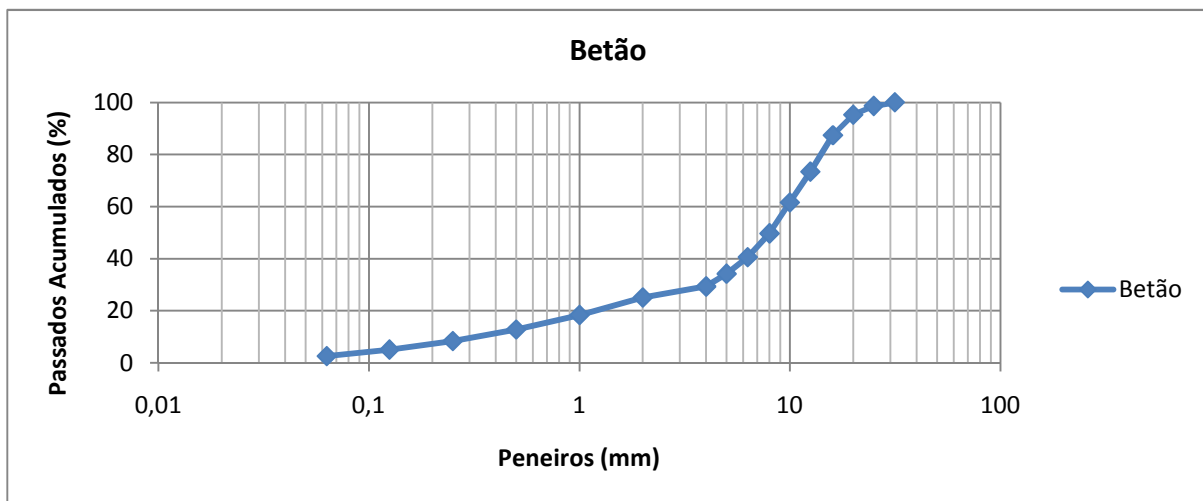


Figura 16 - Curva granulométricas para os agregados reciclados de betão

Através deste ensaio, é também possível determinar o teor de finos existente na amostra. Assim, a percentagem de finos (f) que passa através do peneiro de 0,063 mm é calculada de acordo com a expressão:

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$$

Equação 1 - Percentagem de finos da amostra

em que: M_1 é a massa seca do provete;

M_2 é a massa seca do material com granulometria superior a 0,063;

P é a massa do material peneirado retido no recipiente do fundo.

Através da expressão foi calculado o teor de finos para cada um dos materiais sendo que os resultados obtidos estão representados na tabela seguinte (Tabela 4).

Tabela 4 - Teor de finos de cada um dos materiais ensaiados

Material	f
Betão	0,90
Material Cerâmico	2,54

4.2.2 Forma

Na Tabela 5 estão representados os valores da massa de cada material para cada fracção granulométrica no peneiro de malha e no peneiro de barras.

Tabela 5 – Massa de material registada para cada fracção granulométrica do peneiro de malha e do peneiro de barras, para cada material separadamente.

Peneiro de barras (mm)	Cerâmicos		Betão		Peneiro de malha (mm)	Cerâmicos		Betão	
	Massa que passa (g)	Massa que passa (g)	Massa que passa (g)	Massa que passa (g)		Massa retida (g)	Massa retida (g)	Massa retida (g)	Massa retida (g)
20	0	0	0	0	31,5/40	39,08	28,35	39,08	28,35
16	18,11	32,24	18,11	32,24	25/31,5	18,11	69,69	18,11	69,69
12,5	15,32	24	15,32	24	20/25	73,85	162,3	73,85	162,3
10	15,45	41,56	15,45	41,56	16/20	155,37	288,14	155,37	288,14
8	28,85	27,68	28,85	27,68	12,5/16	277,45	243,86	277,45	243,86
6,3	14,52	34,24	14,52	34,24	10/12,5	210,92	244,44	210,92	244,44
5	12,91	28,52	12,91	28,52	8/10	234,5	188,08	234,5	188,08
4	21,62	20,82	21,62	20,82	6,3/8	166,27	131,2	166,27	131,2
3,15	16,23	22,64	16,23	22,64	5/6,3	131,62	100,5	131,62	100,5
2,5	15,6	21,29	15,6	21,29	4/5	111,19	87,13	111,19	87,13
Total	158,61	252,99	158,61	252,99	Total	1418,36	1543,69	1418,36	1543,69

Após a realização do ensaio, é possível calcular o índice de Achatamento através da Equação 2:

$$FI = \frac{M_2}{M_1} \times 100$$

Equação 2- Índice de Achatamento

em que: M_1 é a soma das massas, em gramas, das partículas de cada uma das fracções granulométricas;

M_2 é a soma das massas, em gramas, das partículas de cada uma das fracções granulométricas que passa pelo peneiro de barras correspondente;

FI é o Índice de Achatamento.

Através da expressão, é possível calcular Índice de Achatamento para cada um dos materiais ensaiados. Assim sendo, pode dizer-se que o índice de achatamento, arredondado às unidades para cada material é de:

$$FI (Cerâmicos) = 11$$

$$FI (Betão) = 16$$

O valor do índice de achatamento deve ser inferior a 35 ou 50, conforme as proporções dos constituintes do betão a produzir (de acordo com a norma EN 12620, capítulo 4.4, Quadro 8) e como ambos os materiais têm um índice inferior ao valor estabelecido na norma, pode dizer-se que estão em conformidade.

4.2.3 Massa Volúmica e Absorção de Água

Os cálculos realizados para determinação da massa volúmica e da absorção de água são os mesmos para as duas fracções de agregados ensaiados. São calculados três tipos de massas volúmicas para cada provete:

- a. Massa volúmica do material impermeável das partículas (ρ_a) – relação entre a massa de uma amostra de agregado seca em estufa e o volume que esta amostra ocupa dentro de água, incluindo quaisquer poros internos fechados mas excluindo poros acessíveis à água. A expressão que lhe dá origem é a seguinte:

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

Equação 3 - Massa volúmica do material impermeável das partículas

em que ρ_w representa a massa volúmica da água à temperatura medida durante o ensaio, em megagramas por metro cúbico (Mg/m^3), e os vários M_i correspondem às variadas massas que foram determinadas durante o ensaio, em gramas (g).

- b. Massa volúmica das partículas saturadas com a superfície seca (ρ_{ssd}) – relação entre a massa da amostra do agregado incluindo a massa da água alojada nos poros acessíveis à água e o volume que a amostra ocupa na água incluindo tanto os poros

internos fechados como os poros acessíveis á água. A expressão que lhe dá origem é a seguinte:

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

Equação 4 - Massa volúmica das partículas saturadas com a superfície seca

em que ρ_w representa a massa volúmica da água à temperatura medida durante o ensaio, em megagramas por metro cúbico (Mg/m^3), e os vários M_i correspondem às variadas massas que foram determinadas durante o ensaio, em gramas (g).

- c. Massa volúmica das partículas (ρ_{rd}) – Massa das partículas secas por unidade de volume. A expressão que lhe dá origem é a seguinte:

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

Equação 5 - Massa volúmica das partículas

em que ρ_w representa a massa volúmica da água à temperatura medida durante o ensaio, em megagramas por metro cúbico (Mg/m^3), e os vários M_i correspondem às variadas massas que foram determinadas durante o ensaio, em gramas (g).

O cálculo da absorção de água (em percentagem da massa seca) após a imersão durante vinte e quatro horas é realizado de acordo com a expressão:

$$WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4}$$

Equação 6 - Absorção de água

De seguida são apresentados os resultados obtidos para os agregados reciclados de betão, após serem realizados os cálculos respectivos das diferentes massas volúmicas.

É ainda de referir que a temperatura da água verificada durante a realização dos ensaios foi de 22°C.

Tabela 6 - Resultados obtidos para as diferentes massas volúmicas dos agregados reciclados de betão

Betão	Grossos		Finos	
	(Mg/m ³)	(kg/m ³)	(Mg/m ³)	(kg/m ³)
ρ_a	2,64	2637,63	2,54	2535,01
ρ_{rd}	2,11	2106,93	1,61	1607,74
ρ_{ssd}	2,31	2307,69	1,97	1972,72

Tabela 7 - Resultados obtidos para as diferentes massas volúmicas dos agregados reciclados de material cerâmico

Material Cerâmico	Grossos		Finos	
	(Mg/m ³)	(kg/m ³)	(Mg/m ³)	(kg/m ³)
ρ_a	2,48	2478,86	2,34	2340,58
ρ_{rd}	1,91	1908,53	1,73	1728,90
ρ_{ssd}	2,14	2138,10	1,99	1989,66

A absorção de água que se obteve para cada material de acordo com a sua granulometria é evidenciada na Tabela 8.

Tabela 8 - Percentagem de absorção de água após a imersão durante 24 horas

		WA ₂₄ (%)
Material Cerâmico	Grossos	12,0
	Finos	15,1
Betão	Grossos	9,5
	Finos	22,7

4.3 Análise e Discussão dos Resultados

4.3.1 Granulometria

A análise granulométrica do material ensaiado deve estar de acordo com o Quadro 3 do capítulo 4.3.2 da norma EN 12620. Este quadro classifica os agregados em determinadas classes conforme algumas especificações, que consistem nos requerimentos gerais da granulometria.

Ambos os agregados analisados encontram-se classificados nos agregados grossos, com dimensão D/d > 2 mm e D > 11,2 mm (sendo D a dimensão do peneiro maior e d a dimensão do peneiro menor). O limite da percentagem de passados, em massa, foi cumprido e, sendo assim, os agregados são classificados como pertencendo à categoria Gc90/15.

Segundo a norma EN 12620, o teor de finos deverá ser inferior a 3 ou 4%, de acordo com os constituintes do agregado. De qualquer das formas, ambos os agregados em que foi realizado o trabalho experimental apresentaram teores de finos inferiores a qualquer um dos valores especificados, logo pode-se afirmar que ambos os materiais estão em conformidade com a norma. Considerando que os agregados ensaiados são do tipo grosseiro, os agregados de betão

pertencem à categoria $f_{1,5}$ e os agregados de material cerâmico classificam-se como pertencentes à categoria f_4 . É ainda de referir que seria expectável um teor de finos superior para os materiais cerâmicos uma vez que estes são caracterizados por uma maior fragilidade do que a do betão.

4.3.2 Forma

O valor do índice de achatamento deve ser inferior a 35 ou 50, ou seja, os agregados devem ser classificados como pertencentes as categorias inferiores ou iguais às categorias Fl_{35} ou Fl_{50} , conforme as proporções dos constituintes do betão a produzir (de acordo com a norma EN 12620, capítulo 4.4, Quadro 8). Como ambos os materiais têm um índice inferior ao valor estabelecido na norma, pode dizer-se que estão em conformidade, classificando-se os agregados de betão como pertencentes à categoria Fl_{20} e os agregados de material cerâmico à categoria Fl_{15} , cumprindo assim os requisitos necessários para a sua aplicação.

Pode ainda dizer-se que a percentagem de partículas lamelares nos agregados de material cerâmico é inferior à mesma de agregados de betão, o que indica que se estes fossem incorporados no fabrico de betão, influenciariam menos as características que dependem da água da amassadura do que os agregados reciclados de betão. No entanto, como ambos se encontravam bastante abaixo do limite estipulado na especificação LNEC, ambos poderiam ser utilizados.

4.3.3 Massa Volúmica e Absorção de Água

A massa volúmica dos agregados ensaiados deve cumprir o valor especificado na especificação do LNEC, ou seja, deve ser superior a 2000 kg/m^3 para agregados que tenham como constituintes principais o betão, agregados não ligados e elementos de alvenaria (não existindo exigências em relação às percentagens relativas de cada um), ou superior a 2200 kg/m^3 para agregados que sejam constituídos maioritariamente por betão, misturado ou não com agregados não ligados. Estes valores estipulam que os agregados reciclados a utilizar em betão deverão ser classificados como agregados normais ou pesados.

Quanto à absorção de água, esta deve estar em conformidade com a especificação do LNEC, ou seja, a percentagem de água absorvida após imersão durante vinte e quatro horas deve ser inferior a 7%.

Analisando os resultados obtidos através dos ensaios realizados, pode verificar-se que os agregados reciclados de betão não cumprem os requisitos especificados na norma, ou seja, evidenciam uma massa volúmica inferior a 2200 kg/m^3 e os agregados de material cerâmico também não estão em conformidade, evidenciando uma massa volúmica inferior a 2000 kg/m^3 . Estes valores podem ser justificados pelo facto de a amostra cedida não ser significativa, associada às perdas inevitáveis inerentes à realização dos ensaios. De qualquer das formas, não sendo cumprido um dos requisitos mínimos especificados, os agregados não deverão ser considerados adequados para a aplicação em estudo.

Quanto à absorção de água após imersão durante vinte e quatro horas, após a análise dos resultados chegou-se à conclusão que nenhum dos materiais cumpria os requisitos especificados para a aplicação dos agregados reciclados na produção de betão. Uma absorção de água superior à verificada em agregados naturais já era esperada. Porém, não se esperava que a mesma não estivesse em conformidade com as normas publicadas. Sendo assim, uma vez que ambos os materiais se encontram em não conformidade, nenhum deles deve ser considerado para a aplicação em estudo.

Os valores obtidos poderão ser justificados pelas limitações apresentadas anteriormente, como por exemplo as pequenas quantidades de material ensaiado, mas também pelo tipo de britador utilizado. É de considerar que o tipo de britador utilizado poderá influenciar a massa volúmica e a absorção de água de um determinado material, podendo ter interferido neste estudo.

Verificou-se ainda que a massa volúmica e a absorção de água variam de forma inversa, ou seja, quanto maior for a massa volúmica, menor será a absorção de água, sendo que o inverso também se verifica. De facto, a absorção de água será tanto maior quanto mais porosos forem os componentes do resíduo, o que se traduz numa baixa massa volúmica.

Pode ainda dizer-se que a absorção de água aumenta proporcionalmente à diminuição da granulometria, devido ao aumento da superfície específica.

Segundo estudos realizados recentemente, pode dizer-se que a absorção de água dos agregados reciclados é superior à mesma dos agregados naturais, o que traduz numa maior necessidade de incorporação de água na produção de betão com agregados reciclados. Assim, para os agregados reciclados que apresentam um elevado teor de absorção de água, é frequentemente sugerida uma pré-saturação de modo a manter uma qualidade uniforme do betão durante a sua produção.

Apesar de não ser necessário fazer uma análise aos finos (a especificação seguida apenas considera a aplicação de agregados reciclados grossos), esta foi igualmente realizada para que esta fracção possa ser aproveitada para outras aplicações que não a produção de betão com agregados reciclados grossos, como por exemplo a sua utilização na produção de argamassas de revestimento.

Deve ter-se em atenção que o não cumprimento de um requisito não significa que o material dê origem a um betão de má qualidade. Porém, quando mais do que uma propriedade não de encontra em conformidade com os limites estipulados, é pouco provável que o betão produzido com esse material seja de qualidade.

É ainda de referir que se o material testado nestes ensaios laboratoriais tivesse uma aplicação real na produção de betão, existiriam outros ensaios que deveriam ser realizados para verificar se o material estaria apto a ser utilizado para este fim.

Como já foi referido anteriormente, os restantes ensaios necessários não foram realizados por várias razões contando-se entre estas limitações de massa de amostra disponibilizada, de

equipamento disponível para ensaio e de intervalo de tempo necessário para a sua realização, bem como dificuldades em obter algumas das normas de ensaio necessárias à realização do procedimento experimental. Além dos ensaios realizados em laboratório, aqueles que seria necessário realizar caso os agregados testados fossem realmente para aplicar na produção de betão, estão representados na tabela seguinte (Tabela 9), bem como as normas que deveriam ser seguidas para a sua realização e os valores limite correspondentes para que os mesmos estivessem em conformidade com a norma EN 12620.

Existem propriedades que não são previstas pela norma EN 12620 e por este motivo não aparecem valores limite para esse tipo de propriedades na tabela seguinte.

Tabela 9 - Propriedades que deveriam ter sido analisadas para que os agregados fossem aplicados na produção de betão, em adição às propriedades que foram testadas

Propriedades	Norma de Ensaio	Requisito de Conformidade
Constituintes	pr EN 933-11	Satisfazer uma classe do Quadro 1 da E 471-2006
Resistência à fragmentação	NP EN 1097-2	LA ₅₀
Reacções álcalis-sílica	ver LNEC E 461	Classe a declarar
Estabilidade volumétrica	NP EN 1367-4 (Anexo A)	Retracção ≤ 0,075%
Teor de cloretos solúveis em ácido	pr EN 1744-5	Valor a declarar
Teor de sulfatos solúveis em ácido	NP EN 1744-1, §12	AS _{0,8}
Teor de enxofre total	NP EN 1744-1, §11	S ≤ 1,0%
Constituintes orgânicos que afectam a presa e a resistência do betão	NP EN 1744-1, §15	Satisfazer alíneas a) e b) do §6.4.1
Outros constituintes que afectam a presa e a resistência do betão	pr EN 1744-6	Valor a declarar
Libertação de substâncias perigosas	EN 12457-4	Inertes

Aquelas propriedades em que não aparece um valor limite nos requisitos de conformidade são aquelas que não são previstas pela norma EN 12620. Quanto à libertação de substâncias perigosas, a especificação E 471-2006 remete para a Decisão do Conselho 2003/33/CE.

5 Caso de estudo – A Pousada do Porto, Freixo Palace Hotel

5.1 Breve Introdução Histórica ao Edifício

A Pousada do Porto, Freixo Palace Hotel é um edifício com elevado valor histórico e patrimonial. É constituída por dois edifícios, o antigo Palácio do Freixo (Figura 17) e o edifício da antiga fábrica das Moagens Harmonia, que tem uma privilegiada vista sobre o rio Douro. Fica localizada na freguesia de Campanhã, a montante da Ponte do Freixo e perto da desembocadura do Rio Tinto.



Figura 17 – Fachada Principal do Palácio do Freixo

O Palácio do Freixo foi edificado no século XVIII, por volta do ano de 1742, em estilo barroco com influência portuguesa, sendo o projecto da autoria do famoso arquitecto Nicolau Nasoni. O edifício foi mandado erigir por D. Jerónimo de Távora e Noronha, senhor abastado entre Douro e Minho, sendo este o responsável pela vinda do arquitecto italiano para o Porto. Em meados do século XIX, no ano de 1850, o palácio é vendido a António Afonso Velado, passando a constituir a sua residência particular. Mais tarde, em Março de 1890, os jardins e o edifício são vendidos à Companhia Harmonia, que instalou aí uma fábrica de moagens, sofrendo uma ampliação no ano de 1891. Dessa ampliação surgiu um novo edifício onde iria laborar efectivamente a fábrica de moagens e que hoje constitui a edificação que inclui os quartos de luxo da Pousada do Porto, Freixo Palace Hotel.

No ano de 1984, o Palácio do Freixo é adquirido pelo Instituto do Emprego e Formação Profissional (IEFP) e no ano de 1993, cede as instalações ao Pelouro de Animação da Cidade da Câmara Municipal do Porto. O Museu da Ciência e Indústria foi instalado no edifício da antiga fábrica em 1997 e pretendia ser um pólo temático dedicado à história da indústria portuense, apresentando as suas várias etapas, sectores, tecnologias e protagonistas. No ano de 1999, a

Câmara Municipal do Porto estabelece um protocolo com o Ministério do Equipamento, Planeamento e Administração do Território, confirmando a transferência das propriedades para a autarquia, assegurando as instalações do Museu da Ciência e Indústria no edifício das antigas Moagens Harmonia. Quando o empreendimento ficou a cargo do Grupo Pestana, este museu terá sido transferido para um outro local apropriado, indicado pela autarquia da cidade do Porto.



Figura 18 - Vista da Margem Sul do Douro dos edifícios do Palácio do Freixo e das Moagens Harmonia

No âmbito do Porto 2001, o Palácio foi alvo de uma intervenção de restauro. Porém, por não lhe ter sido atribuído qualquer tipo de uso desde essa data, os seus interiores e exteriores acabaram por se degradar. O edifício das Moagens Harmonia era uma edificação industrial que obedecia às necessidades produtivas da época. A reabilitação dos dois edifícios que posteriormente deram origem à Pousada do Porto, Freixo Palace Hotel consistiu num projecto que aproveitasse todo o potencial dos dois edifícios, proporcionasse um bom aproveitamento funcional e que fosse compatível com o valor histórico dos mesmos, respeitando a identidade de cada um [Melo, 2010].



Figura 19 - Fachada lateral do edifício das Moagens Harmonia

A Pousada foi inaugurada no ano de 2009 e actualmente, o Palácio do Freixo é considerado monumento nacional e acolhe as áreas comuns e o restaurante, enquanto que os 88 quartos da nova pousada se encontram no edifício vizinho, onde laborava a antiga Fábrica de Moagens Harmonia.

5.2 Principais Materiais Resultantes da Obra

A obra de reabilitação do edifício da actual Pousada do Porto, Freixo Palace Hotel é vulgarmente designado desta forma, embora se possa considerar que esta reabilitação consistiu essencialmente numa demolição selectiva. Pode assim considerar-se esta obra para efeitos do caso de estudo, uma vez que de todo o edifício, apenas restaram as paredes exteriores e os pilares de ferro que suportavam a edificação, mantidos pelo seu bom estado de conservação e posteriormente adaptados aos usos hoteleiros.



Figura 20 - Aspecto do interior do edifício durante a demolição [Fonte: Melo, 2010]

Entre os materiais que constituíam os resíduos de demolição resultantes da reabilitação, podem contar-se a madeira, o vidro, o plástico, os metais ferrosos (ferro e aço) e não ferrosos (cobre, latão e bronze), materiais de construção contendo amianto, mistura de betão, tijolos, ladrilhos e outros materiais cerâmicos e ainda resíduos sólidos urbanos equiparados. A Tabela 10 representa as quantidades de materiais resultantes da empreitada de demolição selectiva da Pousada do Porto, Freixo Palace Hotel e as percentagens representativas de cada tipologia de resíduo. A Figura 21 representa as percentagens correspondentes a cada tipo de resíduo em relação ao total de resíduos produzidos na mesma obra de demolição.

Tabela 10 - Quantidades de materiais resultantes da empreitada de demolição selectiva da Pousada do Porto, Freixo Palace Hotel, representadas em percentagem em relação ao total de resíduos produzidos

Designação do Resíduo	% Relativa
Mistura de betão, tijolos, ladrilhos e outros materiais cerâmicos	37,35%
Madeira	53,14%
Vidro	1,31%
Plástico	0,09%
Cobre, Latão e Bronze	0,03%
Ferro e Aço	6,58%
Material de Construção Contendo Amianto	1,34%
Mistura de Resíduos Urbanos Equiparados	0,17%

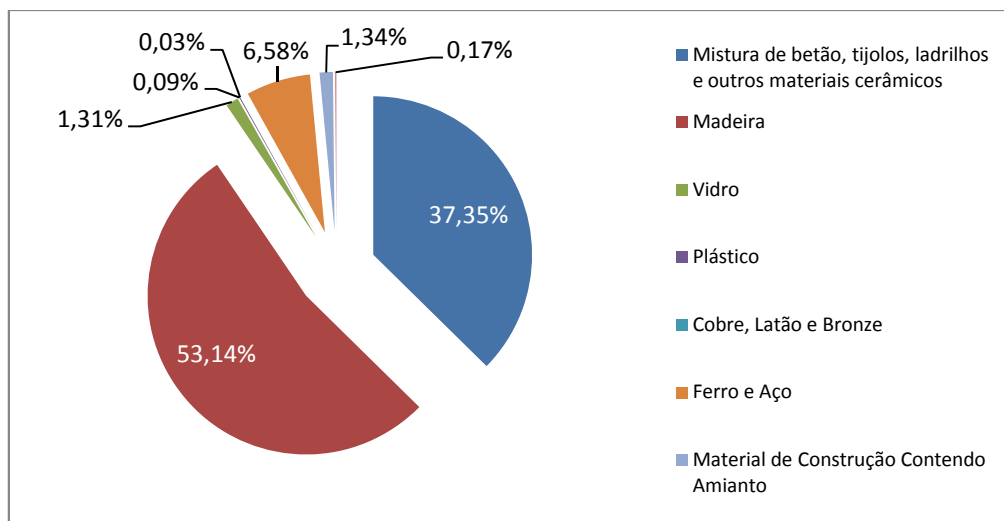


Figura 21 - Percentagens das quantidades de cada material nos resíduos resultantes do desmantelamento e demolição da empreitada da Pousada do Porto, Freixo Palace Hotel

Como seria de esperar, analisando as quantidades de materiais resultantes da empreitada de demolição da antiga fábrica de moagens Harmonia, os materiais que resultam em maiores quantidades são a madeira, o entulho (mistura de betão, tijolos, ladrilhos e outros materiais cerâmicos) e os metais ferrosos. Porém, não é muito usual a quantidade de madeira ser superior à quantidade de entulho. Pode explicar-se esta situação pelo facto do edifício ser antigo e ter sido construído numa época em que a madeira era mais utilizada, principalmente para fins estruturais ou revestimentos, nomeadamente as vigas, que eram totalmente constituídas por madeira maciça.

Além dos materiais resultantes da demolição enumerados anteriormente, em que foi necessária uma gestão de resíduos e atribuição de operadores de destino, resultaram também outros que não estão evidenciados dos dados apresentados. Estes não estão referidos na informação disponibilizada pela Sociedade de Construções Soares da Costa, SA devido ao facto de que a sua reutilização na mesma obra se deu sem necessidade de recorrer a um destino exterior à empreitada. Exemplos de materiais que possuíam um potencial de reutilização muito elevado e que foram reaproveitados para a reabilitação da Pousada do Porto, Freixo Palace Hotel foram as vigas metálicas que suportavam o edifício da Companhia de Moagens Harmonia, que se mantiveram localizadas nos mesmos pontos e também a pedra, resultante de desmontes, que foi reaproveitada na mesma obra para execução de alvenaria, mais especificamente na casa das máquinas para o elevador e nos jardins, essencialmente na execução de lancis, campeamento de floreiras e muros dos arranjos exteriores. Apenas terá sido possível fazer uma reutilização destes materiais pelo facto de se ter realizado uma demolição selectiva, uma vez que se se tivesse realizado uma demolição tradicional, a alvenaria de pedra teria sido, certamente, fragmentada impossibilitando a sua reutilização sem existir um qualquer tipo de processamento.

Na Figura 22 é representada a pedra antes do desmantelamento e após a sua reutilização. Ainda se pode dizer que os lajeados em granito encontrados na casa das máquinas são provenientes do granito desmontado do edifício (Figura 24).



Figura 22 - Reaproveitamento de pedra resultante de desmontes para execução de nova alvenaria

[Fonte: Melo, 2010]

A obra da reabilitação do edifício das antigas Moagens Harmonia, como uma das empreitadas piloto para o desenvolvimento do índice de Sustentabilidade em Obra, no âmbito do projecto de Sustentabilidade do Grupo Soares da Costa, implicou um esforço adicional na implementação de medidas mais sustentáveis no que diz respeito á gestão de resíduos fazendo, sempre que possível, a reutilização dos mesmos. No entanto, os materiais que foram geridos por entidades externas e que foram reciclados, não voltaram a ser utilizados na mesma obra.



Figura 23 - Zona de stock de materiais para reaproveitamento nos jardins do Palácio do Freixo

[Fonte: Melo, 2010]



Figura 24 - Lajeado da casa das máquinas, executado com granito proveniente do desmantelamento

[Fonte: Melo, 2010]

Além da pedra que foi reutilizada, deve-se ainda referir o material de escavação, que foi utilizado como material de enchimento para aterro de valas, bem como o seu reaproveitamento dos cubos e do lajeado.



Figura 25 - Reaproveitamento de material escavado, cubos e lajeados [Fonte: Melo, 2010]

5.3 Destinos dos Resíduos Resultantes da Obra

Os resíduos resultantes da obra de demolição selectiva da Pousada do Porto, Freixo Palace Hotel, tiveram diferentes destinos de acordo com a sua tipologia. Na Figura 26 está representada a triagem e separação de resíduos realizada na origem e a sua divisão em contentores, de modo a que fossem transportados e tratados por entidades devidamente licenciadas para o efeito. Na Tabela 11 estão representados os diferentes destinos que foram dados aos resíduos, após o transporte e tratamento dado pelo operador que realizou a sua gestão.



Figura 26 -Triagem, separação e encaminhamento dos resíduos por entidades licenciadas [Fonte: Melo, 2010]

Tabela 11 - Operações realizadas no destino dado aos resíduos após a demolição selectiva da Pousada do Porto, Freixo Palace Hotel

Designação do Resíduo	Operação de Destino
Mistura de betão, tijolos, ladrilhos e outros materiais cerâmicos	Aterro
Madeira	Reciclagem
Vidro	Reciclagem
Plástico	Aterro
Cobre, Latão e Bronze	Armazenamento
Ferro e Aço	Armazenamento
Material de Construção Contendo Amianto	Aterro
Mistura de Resíduos Urbanos Equiparados	Aterro

Os materiais resultantes de demolição selectiva que se encontram na tabela anterior são apenas aqueles que necessitaram de uma gestão por parte de entidades licenciadas. Na verdade, existiram outros tipos de resíduos que resultaram da mesma desconstrução mas que foram directamente reaproveitados na obra de reabilitação. Estes materiais encontravam-se em boas condições para serem reutilizados no local e com este aproveitamento, os custos associados à gestão destes resíduos foi eliminado.

No caso especial da madeira, uma vez que foi o material que resultou da demolição em maiores quantidades, a mesma foi encaminhada para reciclagem com o intuito de a transformar em soalhos, uma vez que a qualidade da madeira nobre foi considerada muito elevada.

**Figura 27 - Madeira resultante do desmantelamento do edifício [Fonte: Melo, 2010]**

5.4 Proposta de Opções de Gestão de Resíduos Alternativas

A empreitada da antiga fábrica Moagens Harmonia foi uma das obras piloto para o desenvolvimento do Índice de Sustentabilidade em Obra, no âmbito do projecto de sustentabilidade do Grupo Sociedade de Construções Soares da Costa, SA. Assim, deu-se um grande desenvolvimento em termos de sustentabilidade na demolição e reabilitação da obra em causa. Porém, sendo este um projecto piloto, existem ainda algumas arestas a limar em termos de gestão de resíduos. Apesar de se ter dado um passo importante em termos de construção sustentável, alguns dos resíduos resultantes da demolição selectiva do edifício das Moagens Harmonia poderiam ter sido encaminhados de forma diferente ou transformados de modo a serem reutilizados no mesmo projecto. Alguns exemplos de resíduos que poderiam ter sido reaproveitados para a mesma obra são a madeira, o vidro e o entulho. Quanto aos materiais restantes, a sua incorporação no mesmo projecto seria mais dificultada em termos de intervalo tempo que a sua reciclagem poderia tomar e viabilidade económica da mesma. Há ainda resíduos que têm um potencial de reciclagem nulo, ou seja, não poderão ser valorizados de nenhuma forma e que terão que ser, obrigatoriamente, encaminhados para aterro.

Apesar de alguns dos materiais poderem ser reutilizados na mesma obra, deve ter-se em conta que alguns destes poderão levar o seu tempo a ser reciclados, o que poderá trazer desvantagens na sua reutilização, principalmente pelo facto de existirem prazos definidos na evolução de uma obra. Porém, tanto em termos económicos como ambientais, poderá existir um ganho significativo uma vez que a reutilização de materiais promove a redução dos resíduos produzidos (não existem custos na gestão dos resíduos se estes não forem produzidos) bem como promove a utilização dos mesmos como matéria-prima, evitando custos com material novo. Em termos ambientais, os ganhos prendem-se com uma menor necessidade de espaço em aterro como destino final dos resíduos e também se verifica uma redução da extração, manufactura e transporte de matéria-prima, prolongando o tempo de vida útil de um dado material.

Deve ter-se em conta que a sustentabilidade deve ocorrer não só a nível ambiental como também a nível económico e social. Esta poderá ser uma questão de difícil resolução, principalmente no que toca às questões económicas uma vez que, muitas vezes, a reciclagem acarreta custos elevados e o preço dos materiais não é compensado em relação ao custo do material novo. Assim sendo, uma análise da sustentabilidade deverá incidir numa visão global de todo o processo de demolição e reabilitação, uma vez que os ganhos poderão encontrar-se noutras fases do projecto. Por exemplo, a reutilização directa de materiais que se encontrem em bom estado, que tenham resultado dessa mesma obra de reabilitação poderão evitar custos elevados de compra e transporte de materiais, bem como os custos que a reciclagem poderá acarretar.

Os materiais inertes que resultaram da demolição da estrutura propriamente dita, como o betão, ladrilhos, tijolos e outros materiais cerâmicos, foram encaminhados para aterro, causando algumas consequências como o pagamento das taxas de admissão de resíduos em aterro e os custos de transporte dos mesmos, além da rápida saturação dos aterros destinados a este fim. Para este tipo de materiais não existe reutilização directa possível, até pelo facto de que estes constituem uma mistura, não estando separados devidamente. Assim, poderiam ser britados e encaminhados para uma central de reciclagem, de modo a que servissem como agregados

reciclados para diversas aplicações. Na própria obra, poderiam ser utilizados como material de enchimento ou como adornos de canteiros, após a britagem do material (que poderia ser realizada no próprio estaleiro da obra).

A madeira retirada selectivamente do edifício foi enviada para reciclagem, o que constitui uma opção sustentável aceitável. No entanto, poderia ter-se considerado também a hipótese de reutilização da mesma na reabilitação, sem ser necessário o processamento e reciclagem, o que evitaria alguns custos adicionais. É de referir que à data da intervenção a madeira estrutural ao nível dos pisos e das coberturas se encontrava seriamente danificada, devido a infiltrações nefastas de água da chuva, tendo sido a razão para que esta opção de gestão dos resíduos tenha sido adoptada. Além disso, após a reciclagem, a madeira poderá dar origem a elementos susceptíveis de serem utilizados novamente na pousada, como por exemplo os móveis ou ornamentos decorativos.

Quanto ao vidro, se este se encontrasse em bom estado, poderia ser reutilizado em janelas ou clarabóias. No entanto, conseguir manusear este tipo de material durante uma demolição sem o danificar consiste numa operação extremamente delicada, dificultada pela fragilidade do material. Sendo assim, caso o vidro estivesse danificado, a única opção sustentável a tomar seria o seu encaminhamento para reciclagem, tendo sido este o destino dado ao material como opção de gestão.

O plástico resultante da demolição selectiva dificilmente poderia ser reutilizado na mesma obra sem existir um qualquer tipo de tratamento adicional. Posto isto, a reciclagem deste material poderia ser uma opção viável, dependendo dos tipos de plásticos resultantes da desconstrução. Como já foi referido em capítulos anteriores, existem plásticos termofixos que não são adequados para reciclagem e por isso a solução mais sustentável a adoptar seria o seu encaminhamento para uma central de incineração, de preferência com aproveitamento energético (os plásticos, regra geral, possuem um elevado poder calorífico). Quanto aos plásticos termoplásticos, estes poderiam ser encaminhados para reciclagem e fundidos para se dar a produção de material novo.

Os metais ferrosos e não ferrosos têm um potencial de reciclagem muito próximo dos 100% e posteriormente à reciclagem são encaminhados para siderurgias. Não existe uma aplicação prática directa dos metais ferrosos e não ferrosos na obra em estudo, sem existir qualquer tipo de processamento. Assim sendo, estes foram enviados para armazenamento para posteriormente serem encaminhados para siderurgias, constituindo a opção mais sustentável possível para este tipo de material.

Os materiais como aqueles que envolvem componentes perigosos, como os materiais contendo amianto, deverão ser encaminhados para aterro de resíduos perigosos. Estes são tipos de materiais para os quais não existe nenhum tipo de valorização possível, sendo a única hipótese de gestão, o seu encaminhamento para um aterro construído especialmente para este tipo de resíduos. A sua incineração poderia revelar-se uma opção nefasta uma vez que os constituintes do material poderiam formar gases perigosos a libertar para a atmosfera.

Quanto aos resíduos urbanos equiparados, estes foram encaminhados directamente para aterro de resíduos não perigosos. Para esta tipologia de resíduo não existe qualquer tipo de valorização que possa ser aplicada directamente na empreitada. Porém, seguindo a hierarquia de

gestão de resíduos aplicada ao sector da construção, pode-se verificar que é preferível realizar uma valorização orgânica (compostagem ou digestão anaeróbia) ou incineração dos resíduos urbanos do que depositá-los em aterro (mesmo que a incineração se realize sem aproveitamento energético, a posterior deposição em aterro é mais sustentável porque o volume dos resíduos é reduzido em cerca de 90%). Assim sendo, os resíduos poderiam ter sido encaminhados para uma incineradora que, caso se realizasse o aproveitamento energético, poderia ser considerada uma forma indirecta de incorporação dos resíduos na mesma obra, uma vez que a electricidade produzida poderia ser utilizada na pousada, posteriormente. Além deste factor, os resíduos urbanos equiparados têm, por norma, um poder calorífico moderadamente elevado, podendo ser considerados como um combustível (o chamado combustível derivado de resíduos) para as incineradoras.

6 Conclusões e Recomendações

As principais ilações a retirar deste estudo prendem-se com variados pontos enumerados ao longo do trabalho. Desde as primeiras páginas que se enumeram as vantagens da realização de demolição selectiva em detrimento do método de demolição tradicional (actualmente mais utilizado em Portugal). Entre as principais vantagens deste método, destaca-se a possibilidade de valorização dos materiais resultantes de demolição e sua possível incorporação no mesmo ou em outros projectos. A importância deste factor prende-se nomeadamente com a minimização das quantidades de resíduos gerados pelo sector da construção, bem como um aumento do tempo de vida útil dos materiais, minimização dos impactes ambientais, redução do volume ocupado em aterro por este tipo de resíduos, redução de custos de extracção e manufactura de matérias-primas. Através destes factores, pode-se concluir que o método de demolição selectiva contribui para o desenvolvimento da sustentabilidade do sector da construção.

A realização de uma demolição selectiva poderá acarretar custos mais elevados do que uma demolição tradicional, essencialmente devido à mão-de-obra especializada que é necessário incorporar na desconstrução. No entanto, deve ter-se em conta que os ganhos na utilização deste método poderão estar mais a jusante, justamente na valorização dos materiais e na possibilidade de os poder utilizar novamente. Este factor é ainda mais importante quando realiza uma obra de reabilitação, onde existe a possibilidade real de reutilizar directamente os materiais que se encontrem em bom estado, não se encontrando danificados.

Quando a reutilização directa dos materiais não é possível, será necessário seleccionar um outro destino para os resíduos, sempre com vista ao cumprimento da hierarquia de gestão dos resíduos aplicada ao sector da construção. Assim sendo, a opção mais sustentável após a reutilização é a reciclagem. A reciclagem dos materiais envolve também alguns custos e muitas vezes poderá não ser uma opção economicamente viável. Porém, é de considerar que este é um passo importante para a sustentabilidade do sector construtivo, uma das maiores indústrias produtoras de resíduos. A reciclagem pode nem sempre ser viável, dependendo do tipo de material a reciclar. Porém, é de referir que a reciclagem só será atractiva quando o produto obtido é competitivo com o material novo, em termos de custo e qualidade. Além disso, deverá existir um mercado capaz de absorver os produtos reciclados, pelo que será necessário realizar estudos de mercado.

Os ensaios realizados na parte experimental poderão não ser fiáveis, uma vez que existiram algumas limitações em relação aos ensaios a realizar. É de referir que um agregado aparentemente inadequado relativamente a uma ou outra propriedade poderá conduzir, de qualquer das formas, a um betão de qualidade. Contudo, é pouco provável que um agregado que seja considerado inadequado relativamente a mais do que uma propriedade venha a constituir um betão de qualidade satisfatória. Ainda assim, com base na análise dos resultados, conclui-se que os materiais ensaiados não seriam os adequados para incorporação na produção de betão novo. Existiram várias condicionantes neste estudo que poderão ter levado a este resultado negativo, contando-se entre estas o facto de a massa de material necessário para cada ensaio não ter sido cumprida, por razões de falta de material, ou o facto de não ser possível realizar mais

ensaios. Comparando os resultados dos agregados reciclados de betão com os dos agregados reciclados de material cerâmico, pode-se afirmar que as propriedades do betão reciclado são mais favoráveis para a aplicação no fabrico de betão novo do que as propriedades do material cerâmico. Mesmo sabendo que a absorção de água de ambos é superior ao limite permitido, pode-se evidenciar que a absorção do betão é inferior à mesma da alvenaria, bem como todas as outras propriedades que foram testadas, em que o betão demonstrou repetidamente resultados mais favoráveis (ou mais afastados do limite de conformidade). Assim, pode-se concluir que os agregados reciclados de betão provavelmente terão um melhor desempenho do que os de material cerâmico e quando os agregados consistirem numa mistura dos dois tipos de materiais, quanto menor quantidade de material cerâmico existir, melhores serão os resultados. No entanto, apesar do material ensaiado não ser aplicável na produção de betão, poderá ser utilizado para outras aplicações que sejam menos exigentes, como por exemplo a sua aplicação em pavimentação.

A empreitada realizada para a reabilitação do edifício das antigas Moagens Harmonia foi levada a cabo realizando uma demolição selectiva da edificação, fazendo a separação do material na origem. Os materiais resultantes da desconstrução foram diversos, contando-se entre estes uma mistura de betão, tijolos ladrilhos e outros materiais cerâmicos, madeira, vidro, plásticos, material perigoso (contendo amianto) e resíduos sólidos urbanos equiparados. Destes materiais, aqueles que resultaram em maiores quantidades foram a madeira e a mistura de inertes, como seria de esperar. O facto de a madeira ter resultado em maiores quantidades do que a mistura de inertes foi um factor surpreendente uma vez que geralmente é o último que possui uma maior percentagem relativa no total de resíduos resultantes de uma demolição. Este acontecimento pode ser explicado pelo facto do edifício ter sido construído numa época anterior ao advento do betão armado e assim, os elementos estruturais utilizados consistiam essencialmente em madeira e pedra.

Os destinos dados aos resíduos resultantes da demolição foram também alvo de estudo e seguidamente foram sugeridas algumas propostas um pouco mais sustentáveis que poderiam ter sido adoptadas na obra e que poderão ter aplicação em obras futuras. No entanto, é de referir que algumas das propostas poderão não ser economicamente viáveis e poderão tornar o processo de reabilitação um pouco mais demorado, devido ao intervalo de tempo que poderá tomar a reciclagem de alguns resíduos para serem utilizados na mesma obra. Ainda assim, é de considerar a hipótese de procurar algumas soluções mais coerentes com a hierarquia de gestão de resíduos com vista à utilização dos materiais de uma forma mais sustentável.

Como recomendações para trabalhos futuros nesta área, enumeram-se a exploração de mais alternativas sustentáveis para a realização da gestão de resíduos, o estudo desta e outras aplicações para os agregados grossos reciclados, o estudo de novas aplicações para os agregados reciclados finos, a realização de um maior número de ensaios, mais completos e sem limitações de material e a tentativa de aplicação de um plano de gestão de resíduos numa obra concreta, ainda em curso. Se possível, após os ensaios de aptidão dos agregados, aplicá-los na produção efectiva do betão e realizar mais testes ao mesmo de modo a determinar se este estaria apto para utilização em edifícios.

7 Referências Bibliográficas

Brito, Jorge – “A Reciclagem de Resíduos da Construção e Demolição”, Workshop “A Reciclagem na Casa do Futuro (Aveirodomus)”, Instituto Superior Técnico, Março de 2006

Coutinho, Joana – “Agregados para Argamassas e Betões”, Materiais de Construção I, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1999

Couto, Armanda; Couto, João Pedro; Teixeira, José Cardoso – “Desconstrução – Uma Ferramenta para Sustentabilidade da Construção”, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Campus de Azurém, Guimarães, 2006

Fragata, Ana; Veiga, Maria; Velosa, Ana; Ferreira, V – “Incorporação de resíduos de vidro em argamassas de revestimento – avaliação da sua influência nas características da argamassa”, LNEC – Universidade de Aveiro, data desconhecida

Lourenço, Cristina – “Optimização de Sistemas de Demolição – Demolição Selectiva”, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2007

Martins, João Guerra; Santos, Rui – “Os Plásticos na Construção Civil”, Série de Materiais, 1ª Edição, Universidade Fernando Pessoa, 2004

Melo, Ana – “Pousada do Porto, Freixo Palace Hotel – Gestão Sustentável em Obras de Reabilitação”, Sustentabilidade, 2010

Pereira, Luis – “Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição: Aplicação á Zona Norte de Portugal”, Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Universidade do Minho – Escola de Engenharia, Fevereiro de 2002

Projecto APPRICOD - Guia para a Gestão Sustentável de Resíduos Plásticos de C&D na Europa

Ribeiro, Jorge – “Resíduos Cerâmicos, Gestão e Valorização como Agregados”, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia de Minas e Geoambiente, FEUP, Julho 2009

Ribeiro, Paulo da Mata Silveira – “Construção Sustentável e Inovação tecnológica – Inertes Provenientes de Construções e Demolições”, Mestrado em Construção, Julho de 1999

Ruivo, João; Veiga, João – “Resíduos da construção e demolição: estratégia para um modelo de gestão”, Trabalho de final de curso de Engenharia do Ambiente, IST, Lisboa, 2004

Silveira, Paulo – “Unidade de Valorização de Inertes Reciclados Provenientes de Resíduos da Construção”, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Câmara Municipal de Lisboa, data desconhecida

Websites (todos eles consultados até à data de 30 de Junho de 2010)

Betão

- <http://www.ambisider.com/urecbetao.html>
- <http://www.cm-montemornovo.pt/reagir/tarefa%204.htm>

Material Cerâmico

- www.staywithclay.com

Material de isolamento

- <http://www.ecocasa.pt/userfiles/file/LA%20DE%20VIDRO.pdf>
- <http://www.fibrosom.com/index.php?pag=monofolhas&cod=6>
- <http://www.fibrosom.com/index.php?pag=monofolhas&cod=7&text=isolamento-com-poliestireno-extrudido>

Metais

- <http://ciencias3c.cvg.com.pt/reciclagem.htm>
- <http://www.recicloteca.org.br/Default.asp?ID=28&Editoria=5&SubEditoria=14&Ver=1>

Pousada do Porto, Freixo Palace Hotel

- <http://www.geira.pt/museus/tema1/index.asp?id=18>
- http://www.museudaindustria.org/multimedia/File/Cronologia_Fabrica_MA.htm

Documentos Normativos e Legislação

- E 471-2006 – Guia para a utilização de Agregados Reciclados Grossos em Betões Ligantes Hidráulicos
- EN 12620 – Agregados para Betão
- NP EN 1097-6 – Massa volúmica e absorção de água.
- NP EN 933-1 – Análise granulométrica. Método de Peneiração.
- NP EN 933-3 – Forma das partículas. Índice de achatamento.
- Decreto Lei nº 46/2008, de 12 de Março
- Decreto-Lei nº 178/2006, de 5 de Setembro
- Directiva 2008/98/CE, de 19 de Novembro
- Portaria nº 209/2004, de 3 de Março

Anexo I

Especificação LNEC E473-2006

ESPECIFICAÇÃO LNEC

GUIA PARA A UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM CAMADAS NÃO LIGADAS DE PAVIMENTOS

CDU
ISSN
CI/SfB

Setembro 2006

GUIDE POUR L'APPLICATION DES GRANULATS RECYCLÉS DANS LES COUCHES DE CHAUSSÉES NON LIÉS

Objet

Ce document établit les exigences que les granulats recyclés objet des normes NP EN 13242 et EN 13285 doivent satisfaire pour leur utilisation dans les couches fondation et de base non liés.

GUIDE FOR THE USE OF RECYCLED AGGREGATES IN UNBOUND PAVEMENT LAYERS

Scope

This document establishes the requirements that recycled aggregates covered by NP EN 13242 and EN 13285 must comply with in order to be used in unbound sub-base and base pavement layers.

1 – Objecto

A presente especificação fornece recomendações e estabelece requisitos para a utilização de agregados reciclados, abrangidos pela NP EN 13242 e pela EN 13285, em camadas não ligadas (base e sub-base) de pavimentos rodoviários.

Os agregados reciclados a que se refere este documento provêm de resíduos de obras de construção, reconstrução, reabilitação e conservação de edifícios e/ou infra-estruturas rodoviárias e aeroportuárias ou outras. Estes agregados podem ser constituídos por betões britados, agregados provenientes de camadas de pavimento não ligadas, alvenarias e misturas betuminosas. A sua classificação quanto à proporção de cada um dos constituintes dos agregados grossos é realizada de acordo com o estabelecido no projecto de norma prEN 933-11.

A utilização de resíduos de construção e demolição em aterros e camadas de leito de infra-estruturas de transporte é contemplada na especificação LNEC E 474.

2 – Referências normativas

Nesta especificação recorre-se à aplicação dos seguintes documentos normativos:

NP EN 933-1: 2000 – Ensaio das propriedades geométricas dos agregados – Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração.

prEN 933-11: Janeiro 2006 – Tests for geometrical properties of aggregates. Part 11 Classification test for the constituents of coarse recycled aggregate.

NP EN 13242: 2002 – Agregados para materiais tratados com ligantes hidráulicos e materiais não tratados utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária.

EN 13242:2002 prA1: Junho 2006 – Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction (Emenda à EN 13242:2002).

EN 13285: 2003 – Unbound mixtures – Specification.

LNEC E 474: 2006 – Guia para a utilização de resíduos de construção e demolição em aterro e em camada de leito de infra-estruturas de transportes..

NOTA: A presente especificação refere projectos de Normas Europeias e emendas a Normas Europeias (prEN e PrA1) que se encontram ainda em fase de discussão. Caso não se verifiquem diferenças significativas entre estes documentos e as respectivas versões finais (EN, A1), estas deverão ser adoptadas após ocorrer a sua publicação pelo CEN.

De contrário, o LNEC procederá à revisão desta especificação.

3 – Enquadramento geral

De forma a poder contribuir para uma construção sustentável, a reciclagem ou a reutilização de resíduos surge cada vez mais como um imperativo no sector da construção civil. Neste sentido e tendo em consideração que se encontram em desenvolvimento em Portugal políticas dirigidas à gestão dos resíduos de construção e demolição, importa definir os requisitos exigidos para a aplicação destes resíduos na construção, em particular em camadas de base e sub-base não ligadas, de pavimentos rodoviários.

Os resíduos de construção e demolição, catalogados no Capítulo 17 da Lista Europeia de Resíduos, LER (Portaria nº 209/2004), apresentam composição muito variável devido a factores tais como a sua origem (construção, reabilitação, demolição) e as práticas locais de construção. Esta variabilidade condiciona a valorização destes resíduos pelo que uma triagem apropriada dos resíduos de construção e demolição e a adequada selecção do processo de preparação são requisitos básicos na produção de materiais reciclados de qualidade.

Por outro lado, deve evitar-se a presença de materiais que pela sua natureza sejam prejudiciais para o ambiente ou afectem o desempenho das camadas não ligadas dos pavimentos. No caso particular de resíduos de misturas betuminosas, estes não podem conter alcatrão.

3.1 - Processamento e armazenamento dos resíduos de construção e demolição

O processamento dos resíduos de construção e demolição deve permitir a obtenção de materiais que satisfaçam tanto as exigências técnicas como as ambientais para a aplicação prevista. Como norma geral, o aproveitamento destes materiais, ou fracção dos mesmos, é tanto maior quanto menor for a presença dos poluentes e das matérias indesejáveis. Assim, uma demolição selectiva e criteriosa tem um papel decisivo e deverá ser incentivada. Embora se trate, comparativamente com a demolição tradicional, de um processo mais moroso, as vantagens resultantes são significativas.

O processamento dos resíduos de construção e demolição pode ter lugar em centrais fixas ou em centrais móveis e inclui habitualmente quatro operações principais: triagem, redução primária,

britagem e peneiração. A operação de triagem destina-se a eliminar os componentes indesejáveis (por ex.: gesso, plásticos, borrachas, madeiras, cartão e papel, metais e matéria orgânica), que prejudicam as características técnicas e ambientais do produto reciclado. Na operação seguinte, redução primária, os escombros sofrem uma redução das suas dimensões e procede-se à remoção dos materiais metálicos ainda existentes. A britagem pode desenvolver-se em duas fases com redução progressiva das dimensões dos resíduos. Finalmente, com a peneiração obtém-se um material classificado em diferentes granulometrias, de modo a contemplar as diferentes necessidades de aplicação.

Os resíduos de construção e demolição a reciclar deverão ser armazenados separadamente em função da sua origem e dos seus constituintes principais.

Poderão eventualmente utilizar-se combinações de resíduos de diferentes origens, desde que a mistura se efectue adequadamente e em condições controladas que assegurem a homogeneidade do material a reciclar.

3.2 – Aspectos ambientais

De acordo com a Lista Europeia de Resíduos (LER) existem resíduos de construção e demolição classificados como inertes, não perigosos e perigosos, pelo que o seu poder contaminante necessita de ser avaliado.

De entre os constituintes poluentes dos resíduos de construção e demolição enumeram-se o amianto e outras fibras minerais, os metais pesados, algumas tintas e os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP). Dada a possibilidade destes contaminantes existirem nos resíduos de construção e demolição, a sua presença deve ser minimizada, pelo que só uma adequada gestão como a indicada no § 3.1, permitirá classificá-los como inertes.

Assim, de modo a garantir a protecção do meio ambiente e da saúde pública, foi prevista para já a realização de ensaios de lixiviação, tendo como referência o disposto na legislação portuguesa ou na Comunidade Europeia exigindo-se a classificação de resíduos inertes para serem usados na produção de agregados reciclados para camadas não ligadas de pavimentos.

4 – Classificação e identificação dos resíduos de demolição

A identificação dos constituintes dos resíduos de construção e demolição a aplicar em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários deve ser efectuada conforme preconizado no prEN 933-11.

Para efeitos de utilização em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários, os agregados reciclados abrangidos por esta Especificação podem ser classificados em três categorias (AGER1; AGER2 e AGER3) e por uma classe (B ou C), em função da sua composição.

No Quadro 1 apresenta-se a classificação dos materiais de acordo com a sua composição, atendendo ao método estabelecido no prEN 933 - 11 para a determinação das proporções de cada um dos constituintes da fracção grossa, e atendendo às categorias estabelecidas na EN 13242 prA1.

A identificação dos agregados reciclados é feita através da indicação do produtor (operador de gestão), do local de produção, das siglas da classe e categoria a que pertence e da granulometria (d/D), sendo possível incluir outras informações suplementares.

5 – Propriedades e requisitos mínimos

Sem prejuízo do estabelecido nos Cadernos de Encargos das obras de pavimentação a que se destinam, os materiais a utilizar em camadas não ligadas de base e de sub-base para pavimentos rodoviários devem obedecer aos requisitos de granulometria definidos no Quadro 2, de acordo com o estabelecido na Norma Europeia EN 13285. Nesse Quadro, apresentam-se ainda as propriedades e requisitos mínimos, e as respectivas normas de ensaio a que os agregados reciclados dos tipos AGER1, AGER2 e AGER3 devem satisfazer, tendo em atenção o estabelecido na Norma Portuguesa NP EN 13242, e no projecto de emenda à EN 13242 prA1.

Estas propriedades devem ser determinadas de acordo com o estabelecido nas normas de ensaio

preconizadas na NP EN 13242:2002 e respectivo prA1:Junho 2006, e na EN 13285:2003.

As propriedades que constam do Quadro 2 devem ser verificadas pelo produtor com as frequências mínimas indicadas nas normas referidas anteriormente.

6 – Regras de aplicação

Os agregados reciclados de granulometria extensa do tipo AGER1, AGER2 ou AGER3 podem, em geral, ser utilizados em camadas de sub-base e de base de pavimentos rodoviários, de acordo com os campos de aplicação recomendados no Quadro 3.

Ficam excluídas da presente especificação as aplicações destes materiais com ligantes hidráulicos ou outros. Este tipo de utilização deve estar sujeito a estudos específicos que permitam demonstrar a sua adequação aos objectivos perseguidos em cada caso.

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

7 – Controlo da qualidade

Para assegurar a qualidade final das camadas de base e de sub-base não ligadas, deve-se proceder ao controlo sistemático das propriedades dos materiais nelas aplicados, de acordo com as frequências indicadas na EN 13285 e conforme indicado no §5 da presente especificação.

Em relação ao controlo da qualidade das camadas realizadas com agregados reciclados, os ensaios a efectuar são semelhantes aos utilizados para as camadas com agregados naturais, devendo a frequência dos mesmos e as tolerâncias de fabrico ser as indicadas no Caderno de Encargos da obra.

Quadro 1 – Classificação dos agregados reciclados de acordo com a natureza dos constituintes da fracção grossa

Classe	Categoria dos constituintes EN 13242:2002/prEN A1:Junho 2006				
	$R_C + R_U + R_G$	R_B	R_A	$FL_S + FL_{NS}$	X
B	$\geq 90\%$ ⁽¹⁾	$\leq 10\%$	$\leq 5\%$	$\leq 1\%$	$\leq 0,2\%$
C	$\geq 50\%$ ⁽¹⁾	$\leq 50\%$	$\leq 30\%$	$\leq 1\%$	$\leq 0,2\%$

(1) Percentagem de vidro inferior ou igual a 10% ($R_G \leq 10\%$)

CONSTITUINTES (prEN 933-11):

R_C – betão, produtos de betão e argamassas;
 R_U – agregados não ligados, pedra natural, agregados tratados com ligantes hidráulicos e betão celular não flutuante;
 R_A – materiais betuminosos;
 R_B – elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolo, ladrilhos, telhas, etc.), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio;
 R_G – vidro;
 FL_S – material pétreo flutuante;
 FL_{NS} – material não pétreo flutuante;
X – matérias indesejáveis: materiais coesivos (p.ex. solos argilosos), plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos) e matérias putrescíveis.

Quadro 2 – Propriedades e requisitos mínimos dos agregados reciclados para aplicação em camadas não ligadas de pavimentos

Categoria		AGER1	AGER2	AGER3
Classe (ver Quadro 1)		B ou C	B ou C	B
Parâmetros geométricos e de natureza				
Designação	EN 13285	0/31,5	0/31,5	0/31,5
Sobretamanhos (NP EN 933-1)	EN 13285	OC ₇₅	OC ₈₀	OC ₈₅
Classe de granulometria (NP EN 933-1)	EN 13285	G _B	G _B	G _A
Teor de finos (NP EN 933-1)	EN 13285	UF ₉ LF ₂	UF ₉ LF ₂	UF ₉ LF ₂
Qualidade dos finos (NP EN 933-9)	NP EN 13242	MB \leq 0,80 g/kg	MB \leq 0,80 g/kg	MB \leq 0,80 g/kg
Percentagem de partículas totalmente esmagadas ou partidas e totalmente roladas em agregados grossos (NP EN 933-5)	NP EN 13242	C _{50/30}	C _{50/10}	C _{90/3}
Parâmetros de comportamento mecânico				
Resistência à fragmentação e resistência ao desgaste (NP EN 1097-2 e NP EN 1097-1)	NP EN 13242 prA1: 2006	LA ₄₅ MDE ₄₅ LA+MDE \leq 80	LA ₄₀ MDE ₃₅ LA+MDE \leq 65	LA ₄₀ MDE ₃₅ LA+MDE \leq 65
Propriedades químicas				
Teor de sulfatos solúveis em água (EN 1744-1)*	NP EN 13242 prA1: 2006	SS _{0,7}	SS _{0,7}	SS _{0,7}
Libertação de substâncias perigosas	EN 12457-4	Inertes**		

* - Para teores de sulfatos superiores a 0,2%, estes agregados deverão ser colocados a uma distância não inferior a 0,50 m de elementos estruturais de betão.

** - Ver Decisão do Conselho 2003/33/CE.

Quadro 3 – Campo de aplicação dos agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos

Categoria	AGER1		AGER2		AGER3
	C	B	C	B	B
Natureza dos constituintes	C	B	C	B	B
Aplicação em camadas de sub-base – TMDp	≤ 50	≤ 150	≤ 150	≤ 300	≤ 300
Aplicação em camadas de base – TMDp	NR	≤ 150	≤ 150	≤ 150	≤ 300

LEGENDA

TMDp- – Tráfego médio diário de pesados por via;

NR – Não Recomendado.

8 – Bibliografia

“*Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras (PG-4)*”. Artículo 22 – Reciclado en Central en Caliente de Capas Betuminosas, Espanha, 2001.

“*The use of asphalt arisings as Type 4 sub-base*” TRL Report TRL591, Highways Agency, 2004.

«*Graves de recyclage – Graves recyclées de démolition et mâchefer* », Guide d'utilisation en travaux publics, Version 2, 2005.

«*Les bétons et produits de démolition recyclées* », Guide technique pour utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France, Première version, 2003.

Specification for Highway Works – “*Road Pavements – Unbound, Cement and other hydraulically bound materials*”, Series 800, Volume 1, November 2004.

Specification for Highway Works – Notes for Guidance on the Specifications for Highway Works - “*Road Pavements – Unbound, Cement and other hydraulically bound materials*”, Series NG800, Volume 2, November 2005.

Decisão do Conselho 2003/33/CE. Jornal Oficial das Comunidades Europeias L11, de 16 de Janeiro de 2003.

Anexo II

Especificação LNEC E471-2006

ESPECIFICAÇÃO LNEC

GUIA PARA A UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS GROSSOS EM BETÕES DE LIGANTES HIDRÁULICOS

CDU
ISSN
CI/SfB

Setembro 2006

GUIDE POUR L'UTILISATION DES GRANULATS RECYCLÉS GROS DANS LES BÉTONS

Objet

Ce document établit les exigences minimums que les granulats recyclés gros objet de la norme EN 12620 doivent satisfaire pour leur utilisation dans le béton.

GUIDE FOR THE USE OF RECYCLED COARSE AGGREGATES IN CONCRETE

Scope

This document establishes the minimum requirements that the coarse recycled aggregates covered by EN 12620 must comply with in order to be used in concrete.

1 – OBJECTO

A presente Especificação classifica os agregados reciclados grossos abrangidos pela norma NP EN 12620 e estabelece os requisitos mínimos que deverão respeitar para poderem ser utilizados no nosso país no fabrico de betões de ligantes hidráulicos, nas condições prescritas no presente documento.

Os agregados reciclados contemplados por esta Especificação provêm de resíduos de obras de construção, reconstrução, ampliação, alteração, conservação e demolição e da derrocada de edificações. O domínio de aplicação desta Especificação exclui os resíduos reciclados de misturas betuminosas.

A utilização de agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos é contemplada na Especificação LNEC E 473.

2 – REFERÊNCIAS NORMATIVAS

Nesta Especificação recorre-se à aplicação dos seguintes documentos normativos:

LNEC E 461:2004 – Betões. Metodologias para prevenir reacções expansivas internas

LNEC E 467:2006 – Guia para a utilização de agregados em betões de ligantes hidráulicos

LNEC E 473:2006 – Guia para a utilização de agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos

NP 1382:1976 – Inertes para argamassas e betões. Determinação do teor de álcalis solúveis

NP EN 206-1:2005 – Betão. Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade

NP EN 933-1:2000 – Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração

NP EN 933-3:2002 – Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 3: Determinação da forma das partículas. Índice de achatamento

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

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

NP EN 1367-4:2002 – Ensaio das propriedades térmicas e de meteorização dos agregados. Parte 4: Determinação da retracção por secagem

NP EN 1744-1:2000 – Ensaio das propriedades químicas dos agregados. Parte 1: Análise química.

NP EN 12620:2004 – Agregados para betão.

EN 12457-4 – Characterisation of waste – Leaching – Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges – Part 4: One stage batch test at liquid to solid ratio of

10l/kg for materials with particle size below 10mm (without or with size reduction).

EN 12620:2002/prA1: June 2006 – Aggregates for concrete (Emenda à EN 12620: 2002).

pr EN 933-11 – Tests for geometrical properties of aggregates. Part 11: Classification test for the constituents of coarse recycled aggregate.

pr EN 1744-5 – Tests for chemical properties of aggregates. Part 5: Determination of acid soluble chloride salts.

pr EN 1744-6 – Tests for chemical properties of aggregates. Part 6: Determination of the influence of recycled aggregate extract on the initial setting time of cement.

NOTA: A presente especificação refere projectos de Normas Europeias e de emendas de Normas Europeias (prEN e prA1) que se encontram ainda em fase de discussão. Caso não se verifiquem diferenças significativas entre estes documentos e as respectivas versões finais (EN, A1), estas deverão ser adoptadas após ocorrer a sua publicação pelo CEN.

De contrário, o LNEC procederá à revisão da presente Especificação.

3 – ENQUADRAMENTO GERAL

De forma a poder contribuir para uma construção sustentável, a utilização de resíduos como agregados reciclados surge cada vez mais como um imperativo nacional. Neste sentido e tendo em consideração que se encontram em desenvolvimento em Portugal políticas específicas relativas à gestão dos resíduos de construção e demolição, importa definir os requisitos exigidos para os agregados reciclados poderem ser aplicados na construção, em particular no fabrico de betões de ligantes hidráulicos.

Os resíduos de construção e demolição, catalogados no capítulo 17 da Lista Europeia de Resíduos, LER (Portaria nº 209/2004), apresentam composição muito variável devido a factores tais como a sua origem (construção, reabilitação, demolição) e as práticas locais de construção. Esta variabilidade deve ser minimizada tendo em vista a valorização destes resíduos como agregados reciclados de qualidade, o que pode ser conseguido através de uma triagem apropriada dos resíduos de construção e demolição e da selecção de um processo de preparação

conveniente. De contrário a variação das propriedades pode tornar impraticável a utilização destes resíduos como agregados e obrigar a frequências de amostragem muito elevadas para o controlo da produção.

Por outro lado deve evitar-se a presença de materiais que pela sua natureza sejam prejudiciais para o ambiente ou afectem o desempenho do betão.

3.1 Processamento e armazenamento dos resíduos de construção e demolição

O processamento dos resíduos de construção e demolição deve permitir a obtenção de materiais que satisfaçam tanto as exigências técnicas como as ambientais para a aplicação prevista. Como norma geral, o aproveitamento destes materiais, ou fracção dos mesmos, é tanto maior quanto menor for a presença dos poluentes e das matérias indesejáveis. Assim, uma demolição selectiva e criteriosa tem um papel decisivo e deverá ser incentivada. Embora se trate, comparativamente com a demolição tradicional, de um processo mais moroso, as vantagens resultantes são significativas.

O processamento dos resíduos de construção e demolição pode ter lugar em centrais fixas ou em centrais móveis e inclui habitualmente quatro operações principais: triagem, redução primária, britagem e peneiração. A operação de triagem destina-se a eliminar os componentes indesejáveis (por ex.: gesso, plásticos, borrachas, madeiras, cartão e papel, metais e matéria orgânica), que prejudicam as características técnicas e ambientais do produto reciclado. Na operação seguinte, redução primária, os escombros sofrem uma redução das suas dimensões e procede-se à remoção dos materiais metálicos ainda existentes. A britagem pode desenvolver-se em duas fases com redução progressiva das dimensões dos resíduos. Finalmente, com a peneiração obtém-se um material classificado em diferentes granulometrias, de modo a contemplar as diferentes necessidades de aplicação.

Os resíduos de construção e demolição a reciclar deverão ser armazenados separadamente em função da sua origem e dos seus constituintes principais.

Poderão eventualmente utilizar-se combinações de resíduos de diferentes origens, desde que a

mistura se efectue adequadamente e em condições controladas que assegurem a homogeneidade do material a reciclar.

3.2 Condições gerais de utilização

Os estudos de incorporação de agregados provenientes de resíduos de construção e demolição com composição maioritária de betão têm revelado melhores resultados e com menor dispersão relativamente aos agregados reciclados constituídos maioritariamente por alvenaria, motivo pelo qual se confinou a utilização destes últimos a betões sem grandes exigências como indicado na secção 6.2.

Em betões com função estrutural, a utilização de agregados reciclados de betão, à semelhança do que se verifica noutros países [1,2,3], foi também objecto de algumas limitações, nomeadamente no que se refere à sua proporção no conjunto dos agregados, no sentido de evitar variações não previstas do módulo de elasticidade, da fluência, da retracção e das propriedades relacionadas com a durabilidade. No entanto, esta Especificação permite utilizar percentagens superiores às definidas, desde que sejam realizados estudos específicos, que avaliem a influência destes agregados nas propriedades relevantes para a aplicação considerada. Esta possibilidade pode tornar-se particularmente interessante no caso da pré-fabricação de determinados produtos como blocos de betão, pavés, lancis, etc.

Não foram estabelecidas na presente Especificação exigências para os agregados reciclados finos e regras para a sua aplicação dado que, em geral, possuem uma elevada percentagem de elementos com dimensão inferior a 0,063mm e uma maior absorção de água, dificultando o controlo da trabalhabilidade e comprometendo a resistência mecânica dos betões.

3.3 Reacção álcalis-silica

De acordo com a norma BS 8500-2 [1] e em publicações do WRAP [4], os agregados reciclados são considerados como potencialmente reactivos. No entanto, estudos recentes [5] revelaram que, com excepção de agregados reciclados resultantes da regularização de pavimentos, os agregados reciclados poderiam ser considerados como não reactivos, mesmo quando provenientes de betões fabricados com agregados

reactivos.

Enquanto não se dispuser de mais informação sobre o comportamento dos agregados reciclados no que se refere a esta reacção expansiva, entendeu-se conveniente manter a avaliação da reactividade dos agregados reciclados à semelhança do estabelecido para os agregados abrangidos pela Especificação LNEC E 467.

3.4 – Aspectos ambientais

De acordo com a Lista Europeia de Resíduos (LER) existem resíduos de construção e demolição classificados como inertes, não perigosos e perigosos, pelo que o seu poder contaminante necessita de ser avaliado.

De entre os constituintes poluentes dos resíduos de construção e demolição enumeram-se o amianto e outras fibras minerais, os metais pesados, algumas tintas e os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP's). Dada a possibilidade destes contaminantes existirem nos resíduos de construção e demolição, a sua presença deve ser minimizada, pelo que só uma adequada gestão como a indicada no § 3.1, permitirá classificá-los como inertes.

Assim, de modo a garantir a protecção do meio ambiente e da saúde pública, foi prevista para já a realização de ensaios de lixiviação, tendo como referência o disposto na legislação portuguesa ou da Comunidade Europeia, exigindo-se a classificação de resíduos inertes para serem usados na produção de agregados reciclados para betão.

4 – CLASSIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS AGREGADOS

De acordo com a composição expressa no Quadro 1, os agregados provenientes de resíduos de construção e demolição são agrupados em três classes: ARB1, ARB2 e ARC.

As classes ARB1 e ARB2 são constituídas maioritariamente por betão, misturado ou não com agregados não ligados. A classe ARC tem como constituintes principais o betão, agregados não ligados, e elementos de alvenaria, não havendo exigências quanto às percentagens relativas de cada um deles.

As proporções relativas dos constituintes devem ser determinadas de acordo com o pr EN 933-11.

A identificação dos agregados reciclados é feita através da indicação do produtor (operador de gestão), do local de produção, da sigla da classe a que pertence e da granulometria (d/D), sendo possível incluir outras informações suplementares.

5 – PROPRIEDADES E REQUISITOS MÍNIMOS

Os agregados reciclados não podem conter materiais que pela sua natureza, forma, dimensão e teor possam influenciar de forma negativa as propriedades do betão.

Os agregados reciclados das classes ARB1, ARB2 e ARC a utilizar no fabrico de betão, devem satisfazer os requisitos estabelecidos na presente especificação.

As propriedades, os documentos normativos para a sua determinação e os correspondentes limites que os agregados grossos reciclados deverão respeitar para poderem ser utilizados no fabrico de betões constam do Quadro 2 para todas as aplicações e do Quadro 3 para certas aplicações.

No caso de aplicações particulares, os Cadernos de Encargos poderão especificar requisitos mais exigentes do que os indicados nos Quadros 2 e 3.

As propriedades constantes dos Quadros 2 e 3 devem ser verificadas pelo produtor com as frequências mínimas indicadas no Quadro 4.

A frequência mínima de ensaio pode ser reduzida nas condições previstas no anexo H da NP EN 12620, nomeadamente se os cuidados colocados na triagem dos resíduos o permitirem, devendo no entanto ser aumentada se a variação da composição dos agregados reciclados o justificar ou se os valores obtidos para as propriedades se encontrarem próximos dos limites fixados.

6 – REGRAS DE APLICAÇÃO

A utilização de agregados reciclados grossos no fabrico de betões de ligantes hidráulicos fica condicionada ao exposto em 6.1 e 6.2. A aplicação de agregados reciclados em condições diferentes das aí estabelecidas exige a realização de estudos específicos, a definir pelo LNEC, para avaliar a influência nas propriedades relevantes para o desempenho do betão.

Os agregados reciclados não podem ser utilizados em betões destinados a contactar com água para consumo humano.

Quadro 1 – Classes dos agregados reciclados

Classe	Proporção dos constituintes (EN 12620:2002/prA1)					
	R _C (%)	R _C + R _U (%)	R _B (%)	R _A (%)	FL _S + FL _{NS} ⁽²⁾ (%)	X + R _G (%)
ARB1	≥ 90		≤ 10	≤ 5	≤ 1	≤ 0,2
ARB2	≥ 70		≤ 30	≤ 5	≤ 1	≤ 0,5
ARC ⁽¹⁾	≥ 90			≤ 10	≤ 1	≤ 1

(1) Material com massa volúmica inferior a 1000 kg/m³. No caso das partículas leves serem constituintes minerais não prejudiciais para o betão nem para o acabamento superficial, aceita-se a categoria FL_{total} 3

CONSTITUINTES (prEN 933-11):

R_C – betão, produtos de betão e argamassas;

R_U – agregados não ligados, pedra natural e agregados tratados com ligantes hidráulicos;

R_A – materiais betuminosos;

R_B – elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolo, ladrilhos, telhas, etc.), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e betão celular não flutuante

R_G – vidro;

FL_S – material pétreo flutuante;

FL_{NS} – material não pétreo flutuante;

X – matérias indesejáveis: materiais coesivos (p.ex. solos argilosos), plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos) e matérias putrescíveis.

Quadro 2 – Propriedades e requisitos mínimos de conformidade dos agregados reciclados grossos para todas as aplicações

Propriedades	Norma de ensaio	Requisito de conformidade (segundo a NP EN 12620)	Âmbito
Dimensão	NP EN 933-1	Satisfazer § 4.2	Todos os agregados
Granulometria	NP EN 933-1	Satisfazer § 4.3.2	Todos os agregados
Constituintes	pr EN 933-11	Satisfazer uma classe do Quadro 1 desta Especificação ⁽¹⁾	Todos os agregados
Forma	NP EN 933-3	F_{35} (§ 4.4 Quadro 8)	Agregados da classe ARB1
		F_{50} (§ 4.4 Quadro 8)	Agregados da classe ARB2
		Valor a declarar	Agregados da classe ARC
Teor de finos	NP EN 933-1	f_3 (§ 4.6 Quadro 11)	Agregados da classe ARC
		f_4 (§ 4.6 Quadro 11)	Agregados das classes ARB1 e ARB2
Resistência à fragmentação	NP EN 1097-2	LA_{50} (§ 5.2 Quadro 12)	Agregados da classe ARB1
		Valor a declarar	Agregados da classe ARB2
Massa volúmica	NP EN 1097-6	$\geq 2000 \text{ kg/m}^3$	Agregados da classe ARC
		$\geq 2200 \text{ kg/m}^3$	Agregados das classes ARB1 e ARB2
Absorção de água	NP EN 1097-6	Absorção $\leq 7\%$ (§ 5.5)	Agregados das classes ARB1 e ARB2
		Classe a declarar	Agregados da classe ARC
Reacções álcalis-sílica ⁽²⁾	ver LNEC E 461	Classe a declarar	Todos os agregados
Estabilidade volumétrica	NP EN 1367-4 (Anexo A)	Retracção $\leq 0,075\%$	Todos os agregados
Teor de cloretos solúveis em ácido ⁽³⁾	pr EN 1744-5	Valor a declarar ⁽¹⁾	Todos os agregados
Teor de sulfatos solúveis em ácido	NP EN 1744-1, §12	$AS_{0,8}$ (§ 6.3.1)	Todos os agregados
Teor de enxofre total ⁽⁴⁾	NP EN 1744-1, §11	$S \leq 1,0\%$ (§ 6.3.2)	Todos os agregados
Constituintes orgânicos que afectam a presa e a resistência do betão ⁽⁵⁾	NP EN 1744-1, §15	Satisfazer alíneas a) e b) do §6.4.1	Todos os agregados
Outros constituintes que afectam a presa e a resistência do betão ⁽⁶⁾	pr EN 1744-6	Valor a declarar ⁽¹⁾	Todos os agregados
Libertação de substâncias perigosas	EN 12457-4	Inertes ⁽⁷⁾	Todos os agregados

(1) Requisito não previsto na NP EN 12620.

(2) Classe a declarar conforme LNEC E 461.

(3) Este ensaio determina o teor total de halogenetos, à excepção dos fluoretos, expresso em teor de cloretos. O teor de cloretos solúveis em ácido deverá ser somado ao dos outros constituintes do betão de forma que se verifique o estipulado na secção 5.2.7 da NP EN 206-1.

(4) Este teor só deverá ser determinado nos agregados que contiverem sulfuretos. A presença de sulfuretos pode ser despistada através do seguinte procedimento: a amostra é moída de modo a passar no peneiro 250 μm , e uma pequena quantidade de amostra sólida é colocada num tubo de ensaio e dispersada em água destilada; a esta suspensão juntam-se 2 a 3 gotas de ácido clorídrico diluído (1+1). Na presença de sulfuretos verifica-se que se desprende o odor característico do ácido sulfídrico. Na presença de pirrotite o teor máximo de enxofre nos agregados é 0,1%.

(5) A satisfação deste requisito pode ser verificada sequencialmente através das secções 15.1 e 15.2 da NP EN 1744-1, recorrendo-se apenas à metodologia da secção 15.2 se o resultado da anterior não for satisfatório. Na secção 15.2 deverá considerar-se como referência a cor B (Tabela 2, secção 15.2.6).

(6) Nos agregados reciclados os constituintes que afectam a presa e a resistência do betão podem ser inorgânicos pelo que não são detectados pelo procedimento descrito na secção 15.3 da NP EN 1744-1.

(7) Ver Decisão do Conselho 2003/33/CE [6].

Quadro 3 – Propriedades e requisitos mínimos de conformidade dos agregados reciclados grossos para certas aplicações

Propriedades	Norma de ensaio	Requisito de conformidade	Âmbito	Aplicações
Teor de álcalis	NP 1382	Valor a determinar	Todos os agregados	Betão com agregados reactivos
Contaminantes orgânicos leves	NP EN 1744-1, §14.2	Satisfazer § G4 do Anexo G da NP EN 12620	Todos os agregados	Betão à vista

6.1 Agregados reciclados ARB1 e ARB2

Os agregados reciclados das classes, ARB1 e ARB2, podem ser usados no fabrico de betão para aplicar em elementos de betão simples ou betão armado.

Para aplicações em betão armado a proporção máxima de agregados reciclados de betão, no conjunto dos agregados, é de 25% para os agregados da classe ARB1 e de 20% para os agregados da classe ARB2.

Para betões simples, de enchimento ou de regularização, em ambientes não agressivos a percentagem de incorporação não fica sujeita a qualquer limite.

Os agregados reciclados de betão só podem ser incorporados em betões de classe não superior à indicada no Quadro 5 e quando expostos às condições ambientais referidas no mesmo Quadro.

6.2 Agregados reciclados ARC

A utilização de agregados reciclados da classe, ARC, só é permitida em betões de enchimento ou de regularização, sem qualquer função estrutural, e em ambientes não agressivos. A sua utilização noutros elementos, qualquer que seja a percentagem de incorporação, deve ser sempre precedida dos estudos específicos atrás referidos.

Quadro 4 – Frequências mínimas dos ensaios

Propriedades	Frequência
Dimensão	1 vez por semana
Granulometria	1 vez por semana
Constituintes	1 vez por semana
Forma	1 vez por semana
Teor de finos	1 vez por semana
Resistência à fragmentação	2 vezes por ano
Massa volúmica	1 vez por semana
Absorção de água	1 vez por semana
Reacção álcalis-sílica	2 vezes por ano
Estabilidade volumétrica	2 vezes por ano
Teor de cloretos solúveis em ácido	2 vezes por ano
Teor de sulfatos solúveis em ácido	2 vezes por ano
Teor de enxofre	2 vezes por ano
Constituintes orgânicos que afectam a presa e a resistência do betão	2 vezes por ano
Outros constituintes que afectam a presa e a resistência do betão	2 vezes por ano
Libertação de substâncias perigosas	2 vezes por ano
Teor de álcalis	2 vezes por ano

Quadro 5 – Classes de resistência e classes de exposição ambiental permitidas

Classe de agregado reciclado	Classe de resistência	Percentagem de incorporação	Classe de exposição ambiental ⁽¹⁾
ARB1	C 40/50	25%	X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XS1, XA1 ⁽²⁾
ARB2	C 35/45	20%	

(1) Conforme definida na norma NP EN 206-1

(2) Em fundações

7 – Bibliografia

- [1] BS 8500-2: 2002. "Concrete. Complementary British Standard to BS EN 206-1. Specification for constituent materials and concrete". British Standards Institution.
- [2] DIN 4226-100: 2002 "Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel - Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen".
- [3] "Recomendaciones para la utilización de hormigones reciclados". Projecto de Regulamento para a Utilização de Agregados Reciclados em Espanha.
- [4] Collins, R. J. et al "Improving Specifications for Use of Recycled and Secondary Aggregates in Construction". DTI/WRAP Aggregates Research Programme STBF 13/6C. The Waste and Resources Action Programme, UK, June 2004.

- [5] Dhir, R.K. et al. "ASR Guidance on Recycled Aggregates – Guidance on Alkali Limits and Reactivity". DTI/WRAP Aggregates Research Programme STBF 13/14C. The Waste and Resources Action Programme, UK, May 2005.
- [6] Decisão do Conselho 2003/33/CE. Jornal Oficial das Comunidades Europeias L11, de 16 de Janeiro de 2003.