

## FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

# Construção de Estruturas de Betão e Desenvolvimento Sustentável

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Estruturas

**Autor** 

Nuno Trindade

Orientador

**Professor Doutor Sérgio Lopes** 

## Colaboração Institucional



COBA, Consultores de Engenharia e Ambiente, S.A.



APEB -Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto

## **AGRADECIMENTOS**

Durante a realização desta Tese, tive o privilégio de poder contar com o apoio e colaboração de várias pessoas, às quais quero prestar os meus agradecimentos.

Ao meu orientador, Professor Doutor Sérgio Lopes, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra pela ajuda preciosa, empenho e dedicado acompanhamento, na elaboração desta Tese de Mestrado.

Aos responsáveis da APEB, Eng.º João Carlos Duarte e Eng.º Jorge Santos Pato pela disponibilidade e simpatia com que me receberam, facultando-me dados fundamentais, de grande importância para o desenvolvimento deste projecto.

À COBA pelo importante contributo de vários dos seus colaboradores, dos quais destaco:

A Eng.ª Rita Magalhães, pela inestimável ajuda e participação na pesquisa de elementos essenciais para a concretização do tema.

A Eng.<sup>a</sup> Ana Helena Albuquerque, pela estima e abertura manifestadas.

O Eng.º António Teixeira, pela amizade, incentivo e oportunidades proporcionadas.

O Eng.º Eduardo Fung pelo apoio e compreensão demonstrados.

Finalmente, a todos os amigos e colegas que de uma ou outra maneira, me apoiaram ao longo da elaboração deste trabalho.

## **RESUMO**

O presente trabalho tem como objectivo evidenciar os principais factores que pesam na utilização e desempenho ambiental do Betão.

Sendo o desenvolvimento sustentável uma questão primordial dos nossos dias, ir-se-á analisar o papel da indústria da construção nos objectivos da sustentabilidade nas suas múltiplas dimensões, particularmente a ecológica, a económica e a social.

As preocupações de um projecto de construção no passado centravam-se unicamente na dualidade custos-benefícios, no entanto, nas últimas décadas, assistiu-se a uma progressiva evolução, no sentido de considerar um terceiro componente, agora elevado a primordial, a preservação do meio natural. Neste âmbito, irão ser definidos os objectivos e estratégias fundamentais de um projecto na sua interacção com o ambiente. Um breve apontamento histórico sobre a utilização do betão, seguido da abordagem dos seus principais componentes e propriedades, complementará este trabalho.

O impacto ambiental do betão será analisado em todas as suas vertentes. Assim, serão evidenciados os custos ambientais quer ao nível do consumo de recursos naturais, quer no que diz respeito ao fabrico dos seus constituintes. Abordar-se-á a avaliação do impacto ambiental provocado pela produção de materiais necessários à execução de estruturas em betão fazendo-se uma análise comparativa com estruturas de outros materiais vulgarmente utilizados na construção civil, nomeadamente o aço e a madeira.

Sendo a indústria da construção a principal produtora de resíduos, a prática da sua reciclagem e reutilização apresenta-se como a maior responsável pela melhoria da sustentabilidade. A este nível serão referidas as linhas de actuação dos organismos que, em Portugal, regem a gestão dos resíduos de construção e demolição (RCD) e os consequentes beneficios ambientais que daí advêm. Além disso, serão enumerados os principais materiais passíveis de serem reciclados e reutilizados, nomeadamente na produção de novos betões que terão implicações directas na preservação dos recursos naturais.

Finalmente irão ser abordadas medidas e metodologias para a gestão de resíduos e minimização dos impactos ambientais do betão com a apresentação de exemplos concretos.

## **ABSTRACT**

The aim of this work is to show the main factors that influence the use and environmental performance of concrete.

Sustainable development is nowadays an important issue and therefore, the role of the construction industry in the objectives of sustainability will be analysed in its multiple dimensions, specially the ecological, economical and social ones.

Although, in the past, the concerns of construction projects were focused in the cost/benefit duality, in the last decades, there was a progressive evolution towards the consideration of a third component of the outmost importance, the preservation of the natural environment. As a consequence, the fundamental objectives and strategies of a project in its interaction with the environment will be defined. A brief historical note, regarding the use of concrete and its main components and properties, will complement this work.

The impact of concrete will be analysed in all its angles. The environmental costs, both regarding the consumption of natural resources and the production of its constituents will be addressed.

A study on the environmental impact originated by the production of materials used in the construction of concrete structures will be presented. Furthermore a comparative analysis with structures made of other materials ordinarily used in civil construction, namely steel and wood, will be scrutinized.

The construction industry is the foremost producer of waste. Therefore, recycling and reuse are the adequate actions for improving sustainability. In this regard, the main orientations of Portuguese organizations that control the management of construction and demolition waste and the resulting environmental benefits, will be presented. Moreover the main materials that can be recycled and reused, especially in the production of new kinds of concrete which will have direct implication on the preservation of natural resources, will be pointed out.

Finally, waste management and environmental impact minimization steps and methodologies will be shown, together with the presentation of practical cases.

# **ÍNDICE**

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 O betão como material de construção	1
1.2.1 Apontamento histórico	1
1.2.2 Componentes e propriedades do betão	3
1.3 Plano e objectivos do trabalho	4
2 SUSTENTABILIDADE	6
2.1 Desenvolvimento sustentável	6
2.2 Construção sustentável	8
3 IMPACTO AMBIENTAL DO BETÃO	12
3.1 Recursos naturais e custos ambientais	12
3.1.1 Água	12
3.1.2 Cimento	15
3.1.3 Agregados	17
3.1.4 Aço para betão armado	18
3.1.5 Produção e transporte	19
3.1.6 Execução	20
3.1.7 Lixiviação do betão	21
3.1.8 Emissões gasosas do betão	22
3.1.9 Radiações	22
3.2 Comparação ambiental de Estruturas de Betão com Estruturas Metálicas	22
3.2.1 O aço como material de construção	22
3.2.2 Análise comparativa	23
3.3 Comparação ambiental de Estruturas de Betão com Estruturas de Madeira	30
3.3.1 A madeira como material de construção	30
3.3.2 Análise comparativa	31
4 RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DO BETÃO	34
4.1 Gestão dos RCD's em Portugal	34
4.2 Benefícios da reciclagem e reutilização dos RCD's no betão	39
4.3 Os novos betões	41
4.3.1 Betão de elevado desempenho com cinzas volantes	41
4.3.2 Geobetão	
4.3.3 Betão com cinza de casca de arroz	
5 EXEMPLOS PRÁTICOS DE MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS	46

5.1 Acompanhamento ambiental da construção da Subestação da Rede Eléct	rica Nacional
(REN) da Trafaria	46
5.1.1 Descrição do projecto	46
5.1.2 Acompanhamento ambiental	46
5.1.3 Gestão de resíduos	54
5.2 Acompanhamento ambiental da construção do Aeroporto de Beja	57
5.2.1 Descrição do projecto	57
5.2.2 Acompanhamento ambiental	59
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
REFERÊNCIAS	

## **ABREVIATURAS**

AIA – Avaliação de Impacto Ambiental;

AIMMP – Associação das Indústrias de Madeira e Mobiliário de Portugal;

APEB – Associação Portuguesa de Betão Pronto;

AREAM – Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira;

BED – Betão de elevado desempenho;

BF – Blast Furnace;

CAT – Caterpillar;

CEB - Comissão Europeia do Betão;

CFC – Clorofluorcarbonetos;

CMMAD – Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento;

CNUMAD - Conferência Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano;

COx, SOx, NOx – Óxidos de carbono, enxofre e azoto;

CPN – Cimento Portland Normal;

CV – Cinzas volantes;

DIA – Declaração de Impacto Ambiental;

EAF – Electric Arc Furnace;

EIA – Estudo de Impacto Ambiental;

EMAS – Empresa Municipal de Água e Saneamento de Beja;

EN – Estrada Nacional;

FIB – Federation Internationale du Béton;

FIP – Féderation Internationale de la Précontrainte;

HCFC – Hidroclorofluorcarbonetos;

LER – Lista Europeia de Resíduos;

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil;

PIP – Projecto de Integração Paisagística;

RAN – Reserva Agrícola Nacional;

RCD – Resíduos de Construção de Demolição;

REBA – Regulamento de Estruturas de Betão Armado;

REBAP - Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado;

REN – Rede Eléctrica Nacional;

RIB – Resíduos Industriais Banais;

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos;

SETAC – Society for Environmental Toxicology and Chemistry;

SLR – Sistema de Lavagem de Rodados;

SNCR – Selective Non Catalytic Reduction;

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento

O betão é o material para construção de estruturas mais utilizado na actualidade. Foi idealizado com o objectivo de superar exigências funcionais de novas formas de edificação, que respondiam a necessidades de um mundo em modernização. Os materiais tradicionais rapidamente foram suplantados pela versatilidade e características estruturais deste novo material, cujo uso se popularizou na entrada do século passado.

Até muito recentemente, o betão era encarado como material eterno, no entanto, rapidamente se constatou que a sua durabilidade era limitada, o dispêndio de recursos naturais necessários ao seu fabrico era enorme e os resíduos gerados pelo seu uso, excessivamente nefastos para o meio ambiente. O conceito de sustentabilidade aplicado ao ramo da construção, e em particular ao uso do betão, nasceu assim da necessidade de atenuar estes efeitos negativos.

O desempenho ambiental do betão é influenciado por múltiplos factores, sendo na recolha de matérias-primas e no fabrico dos seus constituintes que reside uma grande fatia dos impactos ambientais. É portanto nestas etapas do seu ciclo de vida que se devem centrar os maiores esforços, tanto ao nível dos procedimentos de extracção como da optimização dos processos de fabrico. A construção ecológica de estruturas de betão implica também que, na fase de projecto, se prevejam medidas adequadas. Essas medidas não se restringem apenas à execução da estrutura a construir, alargando-se ao planeamento da produção e ao transporte do betão. O final da vida útil das edificações de betão deve ser marcado pela minimização da produção de resíduos e pela reciclagem.

O crescente recurso à reciclagem e reutilização dos resíduos de construção e demolição (RCD) tem contribuído sobremaneira para abrandar o consumo de recursos naturais. A integração de subprodutos industriais e resíduos reciclados como materiais ligantes e aglomerados no betão permite aproveitar detritos que de outra forma seriam abandonados.

## 1.2 O betão como material de construção

## 1.2.1 Apontamento histórico

Desde sempre que o homem procurou proteger-se da agressividade do meio ambiente em que habitava, com vista à sua sobrevivência. Nos primórdios da humanidade, o nomadismo e a permanência em determinado local levava-o a proteger-se dos factores climáticos e dos animais. Assim, as primeiras construções ou abrigos eram cabanas feitas de ramos de árvores e peles de animais (como ainda hoje é visível nos povos nómadas do continente africano), que evoluíram, com a descoberta do fogo, para a utilização de grutas protegidas por um

amontoado de pedras na entrada. São estes os primeiros materiais de construção utilizados: a madeira, as peles e a pedra resultante da erosão.

Com a formação de núcleos familiares e a permanência mais prolongada em determinados espaços, a construção evolui para casas circulares, mais robustas, com paredes de palha e lama (barro) com telhado de colmo.

Nesta fase o homem era recolector, daí que os materiais fossem retirados directamente da natureza sem qualquer transformação.

Quando o homem dominou a agricultura surgiu o sedentarismo efectivo, nos vales e planícies férteis, havendo então necessidade de novos abrigos, mais fortes e duradouros, evoluindo-se para a utilização de alvenarias de blocos de terra amassados e para a construção em alvenaria de pedra sem aglutinantes. Estes tipos de construção ainda hoje são visíveis, no primeiro caso, no Sul de Portugal (taipa) e, no segundo caso, no norte de Portugal, construções de paredes largas feitas em granito ou xisto (Fotografia 1.1), sobrepostos sem qualquer aglutinante.



Fotografia 1.1 – Casa tradicional em xisto (UPCS, 2008)

À medida que as exigências ao nível da resistência e durabilidade aumentavam, também a transformação das matérias-primas e sua incorporação nas construções eram cada vez mais complexas.

Os materiais utilizados deixaram de ser aplicados tal como se encontravam na natureza e passaram a ser transformados, implicando maior consumo de energia e maiores dificuldades de absorção dos mesmos pelos ecossistemas, após o fim da sua vida útil.

Com o desenvolvimento científico, a aplicação das leis da física e a evolução do tratamento das matérias-primas, surgiu um novo material de construção – o betão.

O betão sofreu vários desenvolvimentos técnicos ao longo dos tempos e chegou aos nossos dias como um material estrutural muito competitivo mas as crescentes preocupações

ambientais obrigaram a uma avaliação rigorosa do seu desempenho tendo em conta os parâmetros ambientais relevantes.

## 1.2.2 Componentes e propriedades do betão

O betão é constituído, fundamentalmente, por quatro tipos de elementos: o ligante (cimento), o material inerte (partículas sólidas), os adjuvantes e a água. A mistura homogénea dos quatro começa por apresentar um estado líquido ou pastoso e rapidamente se torna num sólido, já que as suas propriedades se alteraram no decurso do tempo. São necessários 28 dias para que o betão atinja a resistência característica.

As propriedades do betão endurecido são da maior importância e dependem da complexa estrutura interna deste material. Além disso o comportamento do betão fresco e enquanto plástico tem uma influência crucial na estrutura interna e, consequentemente, nas propriedades do material endurecido. Acresce ainda que a estrutura interna e, portanto, as respectivas propriedades, vão evoluindo ao longo do tempo, interagindo com o ambiente em que o betão está inserido.

O ligante por excelência do betão é o cimento. O cimento Portland é uma combinação química predeterminada e bem proporcionada de cálcio, sílica, ferro e alumínio, sujeita a um processo de fabrico complexo, rigorosamente controlado e abarcando uma grande variedade de operações.

Entende-se por agregado o material granular, sem forma e volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia. São agregados as rochas britadas, os fragmentos rolados no leito dos cursos de água e os materiais encontrados em jazidas, provenientes de alterações de rocha (Petrucci, 1998).

Ao fazer a amassadura do betão, é comum adicionarem-se adjuvantes, que têm como objectivo modificar as propriedades do betão. Estas substâncias, adicionadas durante a amassadura, são utilizadas em percentagem inferior a 5% da massa do betão.

Os adjuvantes são classificados em função da sua actuação sobre o betão (Almeida, 2005).

No betão a água desempenha duas funções. Por um lado tem o papel de hidratar o cimento e por outro, molhar os agregados para que estes tenham melhor aderência.

A qualidade da água usada nas argamassas, particularmente as partículas nela precipitadas, condiciona grandemente as propriedades químicas e físicas do betão.

As características mais importantes do betão são a sua durabilidade e desempenho.

O desempenho é a capacidade do betão satisfazer os requisitos para que foi projectada, sob o ponto de vista de segurança, funcionalidade e estética. Devido aos efeitos complexos do meio ambiente sobre as estruturas de betão e às reacções destas a esses efeitos, o desempenho de estruturas de betão ao longo do tempo não pode ser melhorado apenas pelo aumento de qualidade dos materiais utilizados.

Para se conseguir um melhor desempenho do betão, terá que se actuar a dois níveis:

- Ao nível do projecto de estrutura e arquitectura;
- Ao nível de processos de execução da obra e nos procedimentos relativos à inspecção e manutenção.

Por outro lado, o betão armado, como tantos outros materiais de construção, está sujeito a mecanismos de deterioração. Esta deterioração pode ser devida à corrosão das armaduras ou à própria degradação do betão. A durabilidade do betão está condicionada aos factores que a seguir se apresentam (Ferreira, 2000).

## - Composição

De acordo com as classes de exposição ambiental, a composição do betão deve ser cuidadosamente ponderada, no que diz respeito aos seguintes parâmetros; razão água/cimento, dosagem de cimento, teor de ar no betão fresco, tipo de cimento, classes de resistência e permeabilidade;

#### - Práticas Construtivas

- Amassadura é essencial que haja uma mistura eficiente dos materiais de modo a produzir betão uniforme:
- Transporte o meio de transporte não deve promover a alteração das propriedades do betão;
- Colocação o betão fresco deve ser colocado em camadas uniformes, cada camada deve ser compactada convenientemente antes da colocação da camada seguinte, etc;
- Compactação o betão deve ser cuidadosamente compactado de forma a eliminar as bolsas de ar, permitindo uma maior aproximação entre as partículas;
- Cura deve ser utilizado um processo de endurecimento adequado e evitar danos causados pela secagem prematura e pelas tensões térmicas que surgem ao longo do elemento de betão;
- Execução a execução das estruturas de betão deve ser feita por pessoal especializado;

# 1.3 Plano e objectivos do trabalho

Este trabalho iniciou-se com uma breve abordagem ao betão como material de construção e respectivas componentes.

No Capítulo 2 faz-se a definição de desenvolvimento e construção sustentáveis, a descrição da evolução dos seus conceitos e preocupações actuais na sociedade contemporânea.

No Capítulo 3 o impacto ambiental do betão é analisado em todas as suas vertentes. Começase por examinar o dispêndio de recursos naturais nas várias fases do ciclo de vida do betão e os custos ambientais a ele associados. É feita uma análise comparativa, do desempenho de estruturas de betão armado com estruturas de outros materiais de construção, nomeadamente o aço e a madeira. No Capítulo 4 a temática da reciclagem e reutilização do betão é enfatizada, através da caracterização das políticas de gestão de resíduos no território nacional, do reconhecimento da importância da integração dos RCD e resíduos industriais no betão e da apresentação de soluções alternativas ao betão convencional, em particular o betão de alto desempenho com cinzas volantes, os geobetões e o betão com incorporação de cinza de casca de arroz.

No Capítulo 5 procura-se, finalmente, exemplificar a minimização do impacto ambiental, através do acompanhamento em obra de duas situações concretas, a construção da Subestação da Rede Eléctrica Nacional (REN) da Trafaria e a 1ªfase da construção do Aeroporto de Beja.

O Capítulo 6 apresenta as considerações finais, resumindo-se aí, as ideias chave relativas à temática e perspectivando-se o trabalho relativamente aos desenvolvimentos futuros.

Em suma, os objectivos concretos deste trabalho são:

- Descrever as preocupações actuais com o ambiente e a implementação de estratégias de desenvolvimento sustentável;
- Analisar os principais factores que pesam no desempenho ambiental do betão;
- Enumerar as medidas gerais de minimização do impacto ambiental do betão como material de construção;
- Comparar o desempenho ambiental das estruturas de betão armado com estruturas de outros materiais;
- Caracterizar a gestão da reciclagem e reutilização de resíduos de construção e demolição, no panorama nacional;
- Reconhecer a importância da reciclagem e reutilização dos resíduos no fabrico do betão;
- Identificar as estratégias a adoptar no fabrico de novos betões, a sua durabilidade e desempenho ambiental;
- Exemplificar a minimização dos impactos ambientais, através do acompanhamento ambiental de obras.

## **2 SUSTENTABILIDADE**

#### 2.1 Desenvolvimento sustentável

A quantidade de recursos naturais tem vindo a diminuir exponencialmente, num planeta onde o crescimento populacional é cada vez maior.

Prevê-se, atendendo ao ritmo de crescimento actual, que as provisões dos recursos energéticos, baseados em fontes não renováveis na biosfera, estarão indisponíveis num futuro muito próximo.

Estes ritmos de crescimento infligem graves alterações à biosfera, daí que, a temática do Desenvolvimento Sustentável tenha ganho relevância a partir de meados do século XX. A definição deste conceito, nem sempre consensual, tem sido largamente discutida e sofrido mutações ao longo do tempo.

O relatório de Brudtland, apresentado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) em 1987, surge sob o signo de um mundo globalizado, apontando caminhos de reconciliação entre as ideias de desenvolvimento e a necessidade premente de reconhecer os limites ambientais. A questão ambiental é situada, por este relatório, na vertente mais ampla das relações sociais, onde se reconhece a desigualdade entre os países, como ameaça a um futuro social e ambientalmente equilibrado para todos. O documento de Brudtland introduz a noção de desenvolvimento sustentável definindo-o do seguinte modo:

"Por desenvolvimento sustentável entende-se o desenvolvimento que satisfaz as necessidades actuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras.".

Embora esta definição seja vaga, ela transmitiu uma mensagem bastante positiva ao propor o equilíbrio entre os níveis de desenvolvimento e a quantidade de recursos naturais existentes e ainda que este desenvolvimento ocorresse sem prejudicar o ambiente natural ou as gerações futuras.

Ainda segundo o relatório apresentado pela CMMAD em 1987, "O conceito de desenvolvimento sustentável tem, é claro, limites – não limites absolutos mas limitações impostas pelo estado actual da tecnologia e da organização social, no tocante aos recursos ambientais, e pela capacidade da biosfera de absorver os efeitos da actividade humana. Mas tanto a tecnologia quanto a organização social podem ser geridas e aperfeiçoadas a fim de proporcionar uma nova era de crescimento económico.

Para a comissão a pobreza já não é inevitável. A pobreza não é um mal em si mesma, mas para haver desenvolvimento sustentável é preciso atender às necessidades básicas de todos e dar a todos a oportunidade de realizar as suas aspirações de uma vida melhor."

Este relatório consolidou a ideia de que era necessário um esforço comum e planetário para que o modelo de desenvolvimento económico fosse corrigido. A Organização das Nações

Unidas (ONU) realizou na cidade do Rio de Janeiro, em Junho de 1992, a Conferência Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano (CNUMAD), onde foi lavrado um documento denominado "Agenda 21", com a participação de 170 países.

O conceito de desenvolvimento sustentável tem apontado para novos mecanismos de mercado como solução para condicionar a produção à capacidade de suporte dos recursos naturais. Esses mecanismos consistem em taxas, licenças e cotas para emissão de poluentes, podendo ter um efeito inibidor a curto prazo. Porém a questão que permanece em aberto é, saber se estes mecanismos serão capazes de reestruturar a lógica de mercado da sociedade Ocidental de consumo, sendo efectivamente um travão à degradação ambiental e social ou se estaremos a ver surgir um novo tipo de mercado ("mercado verde") (Scotto, 2007).

A "Convenção sobre Mudança do Clima" e a "Convenção sobre Diversidade Biológica", foram os documentos internacionais mais polémicos, porque, para ganharem força de lei internacional, deveriam ser ratificados pelos sistemas legislativos de cada país signatário. Porém, estas convenções foram ratificadas com dificuldade por alguns países e sofreram desde o início a oposição dos EUA. Estes dois casos são emblemáticos da real disposição dos diversos países em incorporar mudanças nas suas políticas de desenvolvimento.

As discussões posteriores em torno da convenção sobre mudança de clima resultaram no acordo denominado Protocolo de Quioto, em Dezembro de 1997 no Japão, onde os países, ricos e pobres, negociaram as cotas de emissão de poluição. Este Protocolo prevê uma redução de 5% nas emissões globais de gás carbónico por parte dos países desenvolvidos, entre os anos 2008 e 2012, tendo como base os níveis de emissão de 1990. As preocupações incidiram sobre as emissões de  $CO_2$  que, em associação com o gás metano e os clorofluorcarbonetos, estimulam o "efeito de estufa" ou aquecimento global, responsável pela elevação da temperatura média da Terra. As consequências desse aquecimento são variadas e imprevisíveis, podendo-se destacar as seguintes: elevação do nível de água dos oceanos provocado pelo degelo dos grandes glaciares, alteração do regime das chuvas e formação de tempestades de alto poder de destruição (Scotto, 2007).

Os EUA, sendo o maior emissor de poluentes para a atmosfera (CO<sub>2</sub>) à escala mundial, foram o principal opositor, negando-se a ser um dos seus signatários. O Protocolo prevê que as suas medidas só possam entrar em vigor se os países desenvolvidos, que representam 55% das emissões globais, fizerem a sua adesão formal. A dificuldade em alcançar esta meta, reside no facto de que em conjunto, os EUA e a Rússia representarem 53,5% das emissões.

O conceito de desenvolvimento sustentável, que apresenta agora um sentido mais lato, não significa apenas protecção do ambiente, introduz também, preocupações com as gerações futuras, melhorias na salubridade e a integridade do meio ambiente a longo prazo.

As três dimensões da sustentabilidade que são consideradas os pilares do desenvolvimento sustentável, são as seguintes: económica, social e ambiental. O modelo de desenvolvimento sustentável deve estimular e salvaguardar a convivência harmoniosa entre estas 3 dimensões.

A dimensão que apresenta maior desenvolvimento é a económica, colocando-se em segundo plano a dimensão social e por último, com um desenvolvimento praticamente nulo, aparece a dimensão ambiental.

# 2.2 Construção sustentável

O desenvolvimento sustentável é uma questão premente dos nossos dias, com implicações em todos os sectores da sociedade

A indústria da construção, devido à grande quantidade de recursos que consome, aos resíduos que produz, à contribuição para a economia global e aos impactos, tanto a nível ambiental como social, desempenha um papel primordial nos objectivos de desenvolvimento sustentável.

Foi com a Conferência do Rio de Janeiro (Agenda 21), em 1991, que o conceito de "construção sustentável" ganhou ênfase, ao visar o aumento das oportunidades das gerações futuras, através de uma nova estratégia, relativa à construção, mais direccionada para a protecção do ambiente.

O conceito de "construção sustentável" foi definido pela primeira vez por Charles Kibert em 1994 como: "a criação e o planeamento responsável de um ambiente construído saudável com base na optimização dos recursos naturais disponíveis e em princípios ecológicos".

De acordo com Kibert, o conhecimento existente sobre a indústria da construção em termos de impacto ambiental revela a necessidade urgente de uma mudança para se atingirem os objectivos da sustentabilidade.

Tradicionalmente os factores considerados competitivos na indústria da construção eram: a qualidade, o tempo e o custo (Figura 2.1).

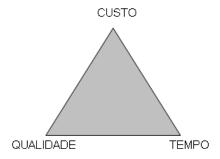


Figura 2.1 – Aspectos competitivos na construção tradicional (Mateus, 2006)

Assim, a construção só era competitiva se tivesse o nível de qualidade exigido pelo projecto e os sistemas construtivos utilizados conduzissem à diminuição do período de construção permitindo, através da rapidez de execução, recuperar o investimento.

Mais tarde, o conceito de qualidade na construção passou a abranger os aspectos relacionados com a qualidade ambiental. O objectivo passou a ser - construir com impacto ambiental mínimo. Surge assim a construção eco-eficiente (Figura 2.2) que pretende que o meio construído se integre em todos os ecossistemas da biosfera durante o seu ciclo de vida, através da redução do consumo dos recursos naturais, produção de resíduos, emissão de gases poluentes nocivos à saúde e através da conservação da biodiversidade.

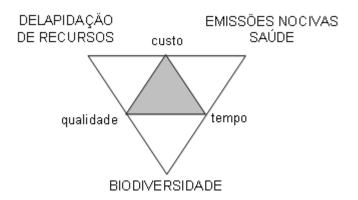


Figura 2.2 – Construção eco-eficiente (Mateus, 2006)

Integrando os princípios da eco-eficiência com as condicionantes económicas, a equidade social e o legado cultural, obtêm-se as dimensões da construção sustentável (Figura 2.3).

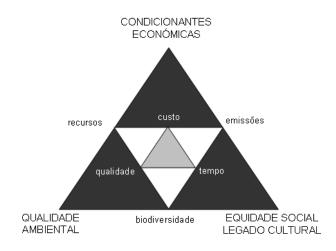


Figura 2.3 – Construção sustentável (Mateus, 2006)

Sendo a indústria da construção, um dos principais responsáveis pela escassez dos recursos naturais e pela produção de resíduos, desempenha um papel fundamental no desenvolvimento sustentável.

Ao nível da União Europeia, têm-se desenvolvido grandes esforços no sentido de promover estratégias que minimizem os impactos ambientais e, simultaneamente, melhorem as condições de competitividade da indústria da construção. Nesta óptica, é possível apresentar uma lista dos principais aspectos da sustentabilidade que afectam a indústria da construção e que são os seguintes: utilização de materiais de construção amigos do ambiente, melhoria da eficiência energética, planeamento da conservação e manutenção e gestão de desperdícios da construção e/ou demolição. (Gervásio e Silva, 2005)

## i) Materiais amigos do ambiente

Estes materiais, designados por eco-eficientes, são todos aqueles que, durante o seu ciclo de vida, possuem baixo impacto ambiental. Para isso devem cumprir os seguintes requisitos:

- Não possuir produtos nocivos para a camada de ozono como os Clorofluorcarbonetos (CFC) e Hidroclorofluorcarbonetos (HCFC);
- Ser duráveis, contribuindo para a poupança energética e para a diminuição da produção de resíduos sólidos:
- Exigir pouca manutenção e ter impacto ambiental mínimo;
- Incorporar baixa energia primária (resultante do somatório da energia consumida na extracção das matérias-primas no transporte e no seu processamento);
- Estar disponíveis nas proximidades do local de construção;
- Ser elaborados a partir de produtos reciclados ou possuir grande potencial de reciclagem ou reutilização, de forma a diminuir os consumos energéticos durante a fase de transformação, contribuindo para a preservação dos recursos naturais;

#### ii) Eficiência energética

As construções devem ser executadas de forma a assegurar uma gestão eficiente dos consumos energéticos.

Os consumos energéticos resultam principalmente da queima de combustíveis fósseis, o que representa um grande impacto ambiental devido à grande quantidade de poluentes emitidos para a atmosfera e também ao facto de estes constituírem um recurso natural limitado.

A utilização de fontes de energia renováveis contribui para a redução dos impactos ambientais.

## iii) Planeamento da conservação e manutenção

Após a execução, a construção deve ser objecto de manutenção periódica com vista à sua conservação. As intervenções de manutenção e reabilitação permitem a dilatação do ciclo de

vida das construções, com todas as vantagens associadas (maior durabilidade e menor impacto ambiental).

## iv) Gestão dos desperdícios da construção e demolição

Os resíduos da construção têm diversas proveniências: produção de materiais, perdas durante armazenamento, transporte, construção, manutenção e demolição.

Para minimizar a quantidade de resíduos produzidos na fase de construção, devem adoptar-se as seguintes estratégias:

- Correcto acondicionamento e armazenamento dos materiais;
- Maximização da utilização de sistemas pré-fabricados;

É na fase de concepção que se devem adoptar materiais e técnicas construtivas que reduzam a quantidade de resíduos e garantam a sua reciclagem e futura utilização. Deverá por isso evitar-se a utilização de materiais compósitos, evitar a ligação inseparável entre os elementos de construção e prever o seu futuro desmantelamento/demolição.

Ao consumo de água estão associados custos ambientais e económicos. Compete à equipa de projecto tomar medidas que visem a redução dos consumos e reutilização da água.

Como a água é um bem escasso, tem-se optado pela sua reciclagem sobretudo ao nível dos municípios através da construção de estações de tratamento.

A melhoria do nível de vida das famílias tem vindo a provocar o aumento das exigências de conforto, levando ao crescimento exponencial dos consumos energéticos. Assim, na concepção dos edifícios terão de ser considerados os princípios que conduzam a uma redução desse consumo, através da melhoria da eficiência energética dos equipamentos e materiais de construção.

O impacto que determinados materiais representam nos ecossistemas, não pode ser ignorado na fase de projecto, devendo utilizar-se critérios de selecção tais como: energia incorporada, potencial de reutilização, toxicidade e custos económicos.

# 3 IMPACTO AMBIENTAL DO BETÃO

## 3.1 Recursos naturais e custos ambientais

Após a explosão inicial na sua utilização, na primeira metade do século XX, e, "com o passar dos anos, os defeitos do betão armado foram surgindo e aquele material que de início se julgava económico e eterno revelou as suas fraquezas: a sua durabilidade revelou-se limitada e muito dependente de onerosas intervenções de manutenção e reabilitação; os consumos energéticos dispendidos durante o fabrico dos materiais que o compõem — cimento e agregados — e durante as operações de demolição e de reciclagem, bem como, a elevada quantidade de recursos naturais exigidos por esta tecnologia revelaram-se incompatíveis com a escassa disponibilidade de recursos existentes na Natureza." (Mateus 2004)

Qualquer actividade construtiva implica o consumo de recursos materiais e energéticos do meio ambiente, sendo a indústria da construção, um dos maiores responsáveis por este consumo. É a recolha, fabrico e transporte dos componentes do betão, bem como a produção do aço incorporado no betão armado e a execução das próprias estruturas, em obra, que envolvem a delapidação dos recursos naturais.

## 3.1.1 Água

"Apenas cerca de 1% da água existente no planeta terra se encontra disponível para consumo ou uso na actividade humana.

Sendo assim, compreende-se que os governos e organizações internacionais tenham e continuem a ter preocupações crescentes no controlo da utilização da água para todos os fins, regulamentando o seu uso, licenciando a sua utilização, limitando a sua exploração, fomentando a sua reutilização e acima de tudo promovendo uma gestão cuidada e racional deste precioso elemento natural." (APEB 2003)

"A indústria da construção é um dos sectores que mais volume de água consome. O consumo de água acompanha praticamente todo o ciclo de vida de um material de construção, que vai desde a extracção da sua matéria-prima até à sua demolição, no final do ciclo de vida do edifício." (Mateus e Bragança, 2006)

O Quadro 3.1 apresenta o consumo de água associado ao fabrico de diversos materiais usados na construção, incluindo a extracção das matérias-primas, processamento e produção.

Consumo de água Consumo de Material Material (l/kg) água (l/kg) Aço não reciclado 3 400 Blocos de betão 190 Alumínio (50% reciclado) 29 000 Cobre não reciclado 15 900 170 240 Argamassa de cimento Gesso Argila (telhas cerâmicas) 640 Lã de rocha 1 360 Argila (tijolo cerâmico) Madeira Laminada 390 520 Betão 170 Vidro 680

Quadro 3.1 – Consumo de água na produção de alguns materiais de construção (Berge, 2000)

No Quadro 3.2, referente aos consumos industriais de água da região do Algarve, pode observar-se que a área da construção e em especial as actividades associadas à produção de betão ocupam uma fatia significativa do consumo total de água.

Quadro 3.2 – Estimativa do consumo de água por sub-sector industrial na região do Algarve (Do Ó e Monteiro, 2005)

Sub-sector industrial	Valor anual estimado de consumo
	de água (dm³)
Produção de cimentos e fabrico de	394
produtos derivados Fabrico de betão pronto em instalações	
fixas	408
Fabrico de produtos de betão e similares para a construção	40
Fabrico de emulsões de asfalto	442
Oficinas de britagem, lavagem e classificação de pedra	130
Fabrico de artigos de mármore, granito e rochas similares	258
Fabrico de tijolos, telhas, ladrilhos, mosaicos e placas de cerâmica	63
Fabrico de cerveja	259
Transformação de cortiça	102
TOTAL	2 096

É portanto de primordial importância que seja feita uma gestão eficaz do uso da água. Assim, ainda na fase de projecto, tanto de centrais de produção de betão, como de estaleiros de obras, devem ser pensadas medidas de optimização do consumo e minimização do desperdício, prevendo-se entre outras, medidas de reaproveitamento de recursos. Este controlo deve ser continuado, ao longo do período de execução. Deste modo é possível manter ou até aumentar a produtividade, minimizando o impacto ambiental e social.

No fabrico do betão, pode ser utilizada água de três origens diferentes, sendo, de acordo com estas, utilizada em diferentes fases ou aplicações do processo produtivo.

A água de captação, proveniente de furos ou da rede, é integrada na composição do betão, juntamente com os restantes elementos deste. Além disso, é utilizada na lavagem de equipamentos (autobetoneiras e auto bombas e centrais de betão), na eliminação de poeiras e resíduos nas zonas de armazenamento, zonas de circulação e zonas de carga e na lavagem e separação de agregados reciclados do betão excedentário.

A água superficial é proveniente das chuvas (águas pluviais) ou de actividades de limpeza dos pavimentos que não estejam em contacto directo com a produção, podendo ser reutilizada nalgumas actividades colaterais à produção, ou até no fabrico do betão.

A água residual é aquela que esteve em contacto directo ou indirecto com matérias-primas, produtos acabados ou desperdícios, devendo ser tratada para posterior reaproveitamento. Antes de reutilizadas estas águas devem ser sujeitas a análises cuidadas relativamente a determinados parâmetros, como o teor de sólidos em suspensão, de forma a evitar a contaminação e consequente perda de qualidade do betão.

A actividade de gestão da água, tem assim como objectivos, minimizar o consumo de água através da adopção de boas práticas tecnológicas e operacionais e reduzir o volume descartado de águas residuais através da adopção de medidas de tratamento e reutilização.

No Quadro seguinte são apresentadas medidas técnicas gerais de redução do impacto ambiental resultante dos efluentes líquidos (AREAM 2001).

Quadro 3.3 – Medidas de redução do impacto ambiental dos efluentes líquidos

Processos	Caracterização dos efluentes líquidos	Medidas técnicas
		- Prevenção:
		Reduzir o consumo de água, através da sua
		reutilização, após tratamento, no processo
		produtivo, nas lavagens ou na rega. Instalar uma
		unidade recicladora de betão pronto proveniente
	As águas residuais produzidas provêm de	dos excedentes das auto-betoneiras, de modo a
	operações de limpeza de equipamentos,	evitar descargas de águas com elevados teores de
Fabrico de	veículos e pavimentos, e caracterizam-se	sólidos suspensos.
produtos de	pela presença de sólidos em suspensão e de	- Tratamento:
betão	hidrocarbonetos, devido à manutenção dos	O tratamento destas águas é a decantação,
	equipamentos e aos óleos utilizados para	incluindo, caso seja necessário, a remoção de
	untar os moldes dos blocos.	óleos. As lamas provenientes dos sistemas de
		tratamento devem sofrer desidratação natural
		(leitos/lagoas de secagem) ou mecânica (filtros de
		prensa, filtros de banda, etc.), devendo as águas
		das escorrências regressar à instalação de
		tratamento.

Produção de betuminoso	As águas residuais são provenientes de escorrências, sendo comum a presença de sólidos suspensos e hidrocarbonetos, verificando-se também valores elevados de CQO (Carência Química de Oxigénio).	<ul> <li>- Prevenção:</li> <li>Construir canais e valas para confinamento das águas de escorrências da central de betuminosos, para posterior tratamento.</li> <li>- Tratamento:</li> <li>O tratamento destas águas passa pela separação de sólidos em suspensão e de hidrocarbonetos, pelo que são recomendadas unidades de decantação que visem também a separação de substâncias menos densas do que a água (hidrocarbonetos).</li> </ul>
---------------------------	---	--

#### 3.1.2 Cimento

Os processos de fabrico do Cimento não se modificaram muito ao longo dos anos, no entanto as instalações e tecnologias associadas a esses processos evoluíram exponencialmente, permitindo aumentar a produção e diminuir o consumo energético.

A produção do cimento origina a emissão de óxidos de carbono, enxofre e azoto ( $CO_x$ ,  $SO_x$  e  $NO_x$ ) e de poeiras (FIB, 2004).

Com base num estudo realizado pela Associação de Cimento do Japão em 1998, foi possível determinar o contributo que cada uma das fases do fabrico do Cimento tem na emissão destes poluentes. Além disso, foram também estimadas as quantidades de materiais libertados por tonelada de cimento produzido.

Assim, por cada tonelada de cimento produzida, são emitidos para a atmosfera 794,5 kg de  $CO_2$ , 155 g de  $SO_x$  (óxidos sulfúricos ou sulfatos), 1,68 kg de  $NO_x$  (óxidos de azoto) e 60 g de poeiras (FIB, 2004).

Como se pode observar nos quadros seguintes, cerca de 90% do total de emissões de CO<sub>2</sub> derivam da produção do clínquer, incluindo a descarbonação da pedra calcária (60%) e o consumo de combustível (30%). A produção de clínquer é também a principal responsável pela emissão de NOx e poeiras. A maior fatia da produção de SO<sub>x</sub>, está associada à produção de energia necessária ao processo produtivo (FIB, 2004).

Quadro 3.4 – Percentagens das fases de fabrico na emissão de CO2 (FIB, 2004)

Descarbonação da pedra calcária (produção do clínquer)		
Queima de combustíveis	30,1%	
Transporte de materiais em bruto e combustível	0,2%	
Extracção de materiais em bruto e pré-processamento	0,3%	
Transporte de cimento		
Energia eléctrica (comprada) para fabrico de clínquer e cimento		
Geração privada de energia eléctrica		

Quadro 3.5 – Percentagens das fases de fabrico na emissão de SO<sub>x</sub> (FIB, 2004)

Produção de clínquer	13,8%	
Transporte de materiais em bruto e combustível	1,0%	
Transporte de cimento	3,5%	
Energia eléctrica (comprada) para fabrico de clínquer e cimento		
Geração privada de energia eléctrica	74,6%	

Quadro 3.6 – Percentagens das fases de fabrico na emissão de NO<sub>x</sub> (FIB, 2004)

Produção de clínquer		
Transporte de materiais em bruto e combustível	0,2%	
Transporte de cimento	0,9%	
Energia eléctrica (comprada) para fabrico de clínquer e cimento		
Geração privada de energia eléctrica	13,6%	

Quadro 3.7 – Percentagens das fases de fabrico na emissão de poeiras (FIB, 2004)

Produção de clínquer	74,8%
Transporte de materiais em bruto e combustível	2,2%
Transporte de cimento	8,4%
Energia eléctrica (comprada) para fabrico de clínquer e cimento	1,2%
Geração privada de energia eléctrica	13,4%

Os resultados obtidos pela optimização da produção são extremamente positivos, do ponto de vista ambiental, no entanto os limites para essa optimização estão a ser atingidos. Por essa razão, outros métodos de poupança dos recursos naturais estão também a ser usados. È o caso da reciclagem, que cada vez mais é adoptada pela indústria do cimento e que, segundo estudos recentes, permite diminuir até 60% da carga ambiental da produção de cimento Portland (FIB, 2004).

A actividade de reciclagem consiste, neste âmbito, por exemplo, na utilização de combustíveis alternativos no fabrico do cimento, através da co-combustão de resíduos e combustíveis fósseis. A emissão de CO<sub>2</sub> é bastante reduzida, pela adopção desta medida em oposição à incineração sem reciclagem, como se ilustra na figura abaixo:

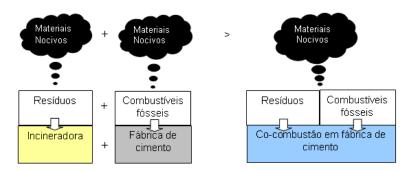


Figura 3.1 – Mecanismo de redução de emissões por co-combustão (FIB, 2004)

A redução da emissão de CO<sub>2</sub> pode também ser conseguida através da utilização de estruturas produtivas mais eficientes, do ponto de vista energético. Estima-se que nos últimos 25 anos tenha havido uma redução de cerca de 30% das emissões daquele gás, devido à adopção desta medida por parte da indústria cimenteira (FIB, 2004).

Além disso, o cimento a utilizar deve ser fabricado ou escolhido de acordo com as necessidades específicas de durabilidade. Desta forma é possível a utilização mais alargada de cimentos obtidos por mistura com resíduos, ao invés da utilização de cimento Portland normal.

A redução efectiva da emissão de SO<sub>2</sub> só é geralmente feita quando a magnitude da produção ultrapassa um determinado nível, ou seja, em grandes fábricas cimenteiras, devido ao seu elevado custo. Esta passa por técnicas de dessulfurização dos materiais em bruto e dos combustíveis.

Para redução das emissões de NO<sub>x</sub> utilizam-se as técnicas de combustão controlada e de SNCR (Selective Non Catalytic Reduction), embora esta última só possa ser aplicada em situações muito específicas.

Para a redução das poeiras a indústria cimenteira utiliza filtros, no entanto estes podem originar um aumento no consumo de energia (filtros electrostáticos). (FIB 2004)

#### 3.1.3 Agregados

Os agregados são, em geral, materiais muito estáveis, tanto física como quimicamente, portanto, raramente são agressivos para o ambiente, por si só. O grande problema não reside no material em si, mas na forma como este é usado na actividade construtiva - em enormes quantidades. O seu impacto ambiental deriva portanto da sua produção, transporte e descarregamento.

A areia e gravilha provenientes da dragagem dos rios são agregados ideais, devido à forma arredondada e boa graduação. Além disso, a sua obtenção é relativamente simples e barata.

No entanto, a extracção excessiva de agregados, do leito dos rios, provoca desequilíbrios nos ecossistemas fluviais, dificuldades no controle de cheias e danos irreparáveis nas paisagens naturais. Uma variação óbvia é a areia extraída do fundo dos mares que, no entanto, padece de problemas similares.

Por estas razões, cada vez mais é, em terra firme, através do esmagamento de rochas, que se obtém o agregado destinado ao fabrico do betão. A vantagem da utilização de pedreiras, é que após a extracção é possível fazer a reflorestação da área em causa.

Como se referiu anteriormente, são transportadas diariamente, ao longo de distâncias cada vez maiores, enormes quantidades de agregados por diversas vias, nomeadamente a rodoviária e

ferroviária. Por esta razão o dispêndio de combustível associado a esta actividade é bastante elevado e consequentemente também as emissões de CO<sub>2</sub>.

A alternativa é o uso de reciclagem ou reutilização de subprodutos. O betão é compatível com uma enorme variedade de agregados, sendo, nesse aspecto, amigo do ambiente. Torna-se cada vez mais comum a utilização de escória de altos-fornos de ferro, níquel e cobre, bem como cinzas de resíduos domésticos, vidro de garrafas, tijolos e desperdícios de cerâmica, plástico e borracha.

Estes materiais alternativos não estão, no entanto, livres de defeitos. Por exemplo a utilização do vidro como agregado no betão pode pôr em causa a sua resistência, durabilidade ou até futura possibilidade de reciclagem. Por isso, os materiais que se encontram em melhores condições de poderem substituir, na sua plenitude, os agregados "tradicionais", são os resultantes da reciclagem de materiais sobrantes da construção e demolição. Estes representam, para já, menos de 1% do total dos agregados usados no fabrico do betão (FIB, 2004).

Uma vez que é inevitável a continuação da utilização massiva de agregados no betão, é importante ter em conta três aspectos que vão afectar directamente o sector da construção (FIB, 2004):

- A qualidade média do agregado vai diminuir, porque, devido às restrições ambientais, irá ser cada vez mais difícil utilizar apenas agregado de boa qualidade.
- A performance requerida pelo betão irá ser cada vez mais, diversificada, e portanto a qualidade do agregado também o poderá ser.
- A reciclagem de betão demolido e o reaproveitamento de subprodutos será acelerado por pressão social.

Deve, assim, adoptar-se uma política de "utilização de materiais adequados, no lugar e situação apropriados" (FIB 2004). Essa política está a ser gradualmente adoptada na União Europeia, com a criação de normas que regulam a composição, propriedades e utilização de betões compostos por agregados reciclados ou de subprodutos.

#### 3.1.4 Aço para betão armado

A indústria do aço é uma das maiores consumidoras de combustíveis fósseis. Em 2001, 846.9 milhões de toneladas de aço foram produzidas a nível mundial. Uma parte significativa desse aço foi produzida sob a forma de varões para serem integrados em betão armado. Os impactos ambientais deste material serão abordados em detalhe, mais à frente, neste capítulo.

## 3.1.5 Produção e transporte

A produção e subsequente transporte de betão originam, de forma directa, substanciais impactos ambientais.

Uma das mais graves consequências é o aquecimento global, que tem origem nos gases libertados aquando do consumo de energia eléctrica e combustíveis fósseis. È utilizada energia eléctrica nos processos de acondicionamento dos materiais constituintes do betão, em silos, aquecimento e arrefecimento dos mesmos e na mistura do betão. Os combustíveis fósseis são utilizados no aquecimento e arrefecimento dos materiais constituintes do betão e no transporte até aos locais onde os estaleiros de construção estão instalados.

Pelo facto de conter  $SO_2$  e  $NO_x$ , o fabrico do betão pode também originar a acidificação do meio ambiente. "A acidificação é o processo de alteração química do ambiente, resultante do excesso de substâncias acidificantes nas massas de água e no solo. A deposição atmosférica de  $NO_x$  e  $SO_x$  com origem nos processos de combustão constitui a sua principal origem. O excesso de substâncias acidificantes tem efeitos ao nível da vegetação terrestre e aquática." (Carvalho 2007)

Uma forma de atenuar estas sequelas é optimizando os meios de transporte, para que os tempos de espera e distâncias a percorrer sejam os menores possíveis.

As águas de lavagem dos equipamentos envolvidos no transporte e produção possuem um PH muito básico, o que implica que tenham de ser tratadas, antes de serem devolvidas aos cursos de água naturais. Este tratamento é feito em tanques de condensação ou decantação, podendo estas águas ser reutilizadas em novas lavagens.

A produção do betão pronto origina também a acumulação de detritos sólidos, resultantes do betão devolvido e agregado daí extraído, do agregado retirado das águas de lavagem e dos lodos desidratados. De forma a minimizar o volume destes detritos, deve ser feito um bom planeamento das quantidades a usar em obra. No entanto, muitas das vezes, o betão devolvido é utilizado no fabrico de produtos de betão e na sub-base de pavimentos rodoviários, após consolidação. Os agregados assim obtidos, são também utilizados na sub-base de pavimentos rodoviários e como parte de novos betões. Os lodos desidratados são usados em sub-bases de pavimentos rodoviários, após consolidação, como materiais integrantes de cimentos, como materiais neutralizadores de cloreto de hidrogénio gerado pela combustão de lixos municipais e como aditivos para o betão.

Por fim temos o ruído e as poeiras. O ruído é gerado principalmente nas centrais de betão pronto, durante o processo de recepção dos agregados e de transposição do betão da central para os camiões de transporte. As poeiras têm origem nos silos de cimento e agregados.

Há diversas medidas que podem ser tomadas para reduzir as consequências do ruído, como receber agregados a horas do dia mais convenientes ou dotar o receptáculo dos camiões betoneira com um revestimento de borracha.

As poeiras em suspensão podem ser evitadas através da selagem hermética dos silos (FIB, 2004).

#### 3.1.6 Execução

Também durante a fase de execução de estruturas de betão, existem diversos aspectos ambientais que é necessário ter em conta.

Os trabalhos envolvidos na colocação de cofragens e estruturas temporárias, a bombagem de betão fresco e posterior vibração implicam o gasto de combustíveis fósseis e de energia eléctrica. Estes gastos têm como consequência a poluição do ar e o aquecimento global.

No quadro seguinte está representado o consumo médio de energia e emissão de CO<sub>2</sub> de vários equipamentos envolvidos na betonagem.

Quadro 3.8 – Consumo médio de energia de equipamentos envolvidos na betonagem (FIB,2004)

Equipamento	Energia		Emissão de CO <sub>2</sub>
Equipamento	Tipo	Consumo	Emissão de CO <sub>2</sub>
Gerador	Gasóleo	7.2 l/h	20.33 kg-CO2/h
Camião-Grua	Gasóleo	6.3 l/h	17.78 kg-CO2/h
Bomba de betão a diesel	Gasóleo	0,233 l/m <sup>3</sup>	$0.66 \text{ kg-CO2/m}^3$
Bomba de betão eléctrica	Electricidade	0,49 kwh/m <sup>3</sup>	$0.18 \text{ kg-CO2/m}^3$
Vibrador de agulha flexível	Electricidade	$0,29 \text{ kwh/m}^3$	$0.11 \text{ kg-CO2/m}^3$

Da actividade de betonagem, resulta também a acumulação de resíduos sólidos, como restos de madeira e outros materiais, proveniente das cofragens. Existem, além disso, problemas de ruído provenientes da vibração do betão.

O problema dos resíduos das cofragens pode ser minimizado através da utilização de cofragens reutilizáveis, como as cofragens de aço ou, em alternativa, adoptando cofragens constituídas por materiais plásticos, passíveis de serem recicladas.

A vibração do betão e consequentes problemas de ruído, podem ser evitados, optando por betão auto-compactável que não necessita de consolidação.

Um outro aspecto dos efeitos ambientais da aplicação do betão, é aquele que resulta em enfermidades nos operários de construção civil. Estas, são sobretudo doenças de pele, causadas pelo contacto directo com o betão fresco devido aos álcalis e cromatos nele contidos ou com o cimento, devido à sua acção abrasiva. Desde Julho de 2002 que no espaço da União Europeia é obrigatório assinalar a presença de cromatos nas embalagens de cimento ou

misturas de cimento, desde que aqueles se encontrem em quantidades iguais ou superiores a 2 mg/kg (FIB, 2004).

Uma das complicações mais frequentes é o aparecimento de uma dermatite de contacto denominada "eczema pelo cimento", que pode ser do tipo tóxico ou alérgico.

Esta enfermidade pode ser evitada através da adopção de medidas como a não utilização de substâncias de limpeza abrasivas, que fragilizam a pele, a lavagem frequente do vestuário protector, de forma a evitar a acumulação de cimento no mesmo, a redução da utilização de cimentos com quantidade cromatos acima do limite de 2 mg/kg e o uso de cremes protectores apropriados, antes e depois de entrar em contacto com o betão (FIB, 2004).

No entanto, as medidas mais eficazes são, sem dúvida, a redução da quantidade de cromatos, por parte da indústria do cimento, o que, em alguns países da União Europeia se tornou obrigatório e as campanhas de sensibilização junto daqueles que lidam com o betão. (FIB 2003)

#### 3.1.7 Lixiviação do betão

A lixiviação do betão é o processo através do qual lhe são extraídos materiais, orgânicos e inorgânicos, pela lavagem com as águas das chuvas ou do solo. São os materiais inorgânicos, sobretudo metais pesados, que têm uma influência negativa sobre o ambiente.

Exemplos de estruturas de betão armado com contacto directo com a água das chuvas e de percolação dos solos, e portanto, sujeitas a acção de lixiviação, são, paredes exteriores, coberturas e fundações de edificios, pavimentos rodoviários e paredes e pavimentos de túneis. O processo de lixiviação funciona do seguinte modo. Num primeiro contacto com a água (lixiviante), os sais solúveis existentes à superfície do betão podem ser dissolvidos através do efeito de lavagem. Este tem uma duração temporal curta.

Numa segunda fase, se algum componente da matriz estrutural do betão for solúvel no lixiviante, vai ocorrer uma dissolução contínua desde a superfície até ao interior.

Poderá também ocorrer difusão nos poros capilares do betão, "mecanismo que corresponde à penetração de iões líquidos (...) causada por gradientes de concentração, só se verificando na ausência de gradientes de pressão hidráulica" (Coutinho 1998), do sólido para o lixiviante, ou vice-versa.

No betão endurecido apenas o crómio e os cromatos são libertados em quantidades suficientes, para que possa haver impactos negativos no ambiente. Desta forma, devem ser utilizados betões com concentrações específicas destes materiais, de acordo com os valores permitidos por lei, para a água e solos, na zona onde a estrutura de betão vai ser implantada. Para que isto possa acontecer, a capacidade de emissão destas substâncias por parte do betão deve estar definida à partida, bem como a aptidão do solo e das águas, no transporte das mesmas.

## 3.1.8 Emissões gasosas do betão

O betão apresenta, em geral um nível baixo de emissões de compostos voláteis. São principalmente os aditivos do betão, como o formaldeído e a amónia que podem gerar estas emissões. No entanto estes aditivos têm sido substituídos pelos plastificantes e superplastificantes, que são virtualmente livres de emissões. De notar que outros tipos de materiais usados no interior de edifícios, como tintas ou isolamentos, possuem emissões gasosas substancialmente superiores.

#### 3.1.9 Radiações

Todos os materiais, naturais ou artificiais, possuem vestígios de nucleótidos radioactivos como Potássio-40, Rádio-226 ou Tório-232, aos quais geralmente se chama "radiação natural" (FIB, 2004).

O betão possui uma radiação inferior à dos materiais naturais, e até menor que a do solo de fundação, não sendo por isso, nocivo para o ambiente, no que diz respeito à emissão de radiações.

## 3.2 Comparação ambiental de Estruturas de Betão com Estruturas Metálicas

#### 3.2.1 O aço como material de construção

O aço é uma liga metálica constituída maioritariamente por ferro, com parte de carbono em percentagens, do peso total, variáveis entre 0,008 e 2,14%. Contém também, em menores quantidades, manganésio, silício, fósforo, enxofre e oxigénio. O carbono e os outros elementos actuam como agentes de endurecimento. Variando as suas proporções e a forma como são introduzidos na mistura, permitem controlar propriedades como a dureza, ductilidade ou resistência à tracção do aço. (Ashby e David, 1992)

As origens da mistura de ferro com outros materiais, de forma a melhorar as suas propriedades, provêm de África, e remontam a 1400 a.C., (Hooker, 1996), sendo atribuídas a razões de natureza bélica. No entanto, só a partir de 1856, começaram a ser utilizadas as tecnologias modernas de produção de aço, com a criação do processo Bessemer, que permitiu a massificação da produção (Gervásio e Silva, 2005) e do processo Siemens-Martin, no início do século XX.

Na actualidade, o aço é um dos materiais mais usados a nível global, sendo um componente fundamental na indústria da construção. Devido ao seu papel desempenhado no desenvolvimento económico, a indústria do aço é, muitas vezes, considerada um fiável indicador financeiro do progresso de um país.

A maioria das estruturas modernas tais como, estádios, arranha-céus pontes ou aeroportos são suportados por um esqueleto metálico. Mesmo as estruturas em betão, utilizam varões de aço. Existem fundamentalmente dois processos de produção de aço, diferenciando-se estes pela matéria-prima e técnicas utilizadas. A forma mais comum de fabrico do aço, utiliza matérias-

primas em bruto (minério de ferro, calcário e coque), sendo estes materiais transformados em altos-fornos. Cerca de 60% do aço utilizado a nível mundial é assim fabricado. Uma forma alternativa de produção de aço é aquela que assenta na reutilização (95%) de aço descartado em ferro-velho. Aqui, são utilizados fornos de arco eléctrico para transformar as matérias-primas. De notar que comummente se utiliza também 25% a 35% de aço reciclado no processo de fabrico em altos-fornos (Gervásio e Silva, 2005).

A produção com utilização de altos-fornos começa com a preparação da carga ou sinterização, na qual o minério de ferro é aglomerado, utilizando cal e finos de coque, que é um composto de carbono, com elevada resistência mecânica e alto ponto de fusão que, uma vez no altoforno, fornece os gases necessários para a fundição dos minérios de ferro. O produto resultante é o chamado sinter.

Segue-se a redução nos altos-fornos, a altas temperaturas (cerca de 1200 °C). O coque vai fundir a mistura metálica, transformando o ferro em líquido, o chamado "ferro-gusa", que é uma liga de ferro com alto teor em carbono. Deste processo resulta a escória, um resíduo que pode ser utilizado em outras aplicações industriais.

Na fase seguinte, a refinação e graduação, o ferro-gusa é transformado em aço líquido, sendolhe reduzido o teor em carbono e feita a limpeza de impurezas.

Finalmente procede-se à laminação, na qual os lingotes de aço são transformados em peças prontas a serem utilizadas na construção civil.

Na produção de aço em forno de arco eléctrico a fundição da matéria-prima é obtida pelo calor fornecido pelo arco voltaico que se forma entre os três eléctrodos verticais, geralmente de grafite. Durante este processo é injectado oxigénio de forma a acelerar a fundição e a queimar o carbono. Através da refinação é obtido aço graduado, livre de impurezas. Por fim faz-se a laminação, sendo o aço transformado nos produtos finais (Gervásio e Silva, 2005).

#### 3.2.2 Análise comparativa

Do ponto anterior, facilmente se pode perceber que o fabrico do aço implica gastos muito significativos tanto na vertente de matérias-primas, como de energia. Além da delapidação dos recursos naturais por extracção directa, a indústria do aço implica a produção de resíduos altamente nocivos, tanto sólidos como gasosos, dos quais se destaca o CO<sub>2</sub>, principal responsável pelo efeito de estufa.

A SETAC (Society for Environmental Toxicology and Chemistry) desenvolveu uma metodologia que permite comparar o impacto ambiental global dos diferentes materiais. Essa metodologia baseia-se em 11 parâmetros: potencial de aquecimento global, acidificação, potencial de eutrofização, utilização de combustíveis fósseis, alteração do habitat, poluentes do ar, saúde e bem-estar, formação de "smog", destruição da camada ozono, toxicidade e consumo água.

Com base nesta metodologia Gervásio e Silva (2005) fizeram uma análise comparativa, do ponto de vista ambiental, de duas soluções estruturais para uma obra de arte, um viaduto com

extensão de 364.5 m, da auto-estrada entre Mira e Aveiro. A solução preconizada pelo projectista original consistia numa estrutura em betão pré-fabricado, com dupla viga em caixão. A solução alternativa foi definida por uma estrutura mista, composta por duas vigas metálicas de alma cheia e uma laje em betão solidarizada com as vigas. Foram contempladas todas as fases de produção, desde a extracção de matérias-primas até ao produto final, pronto para ser transportado do local de fabrico. Além do betão, foram analisadas 3 variações de produção de aço, diferindo estas nos processos de fabrico. Na primeira previu-se a utilização de altos-fornos, na segunda fornos de arco eléctrico e na terceira, 50% do aço fornecido seria produzido pelo primeiro processo enquanto os outros 50% seriam produzidos pelo segundo processo. Os resultados obtidos estão representados na Figura 3.2.

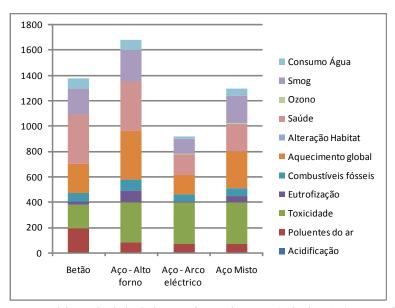


Figura 3.2 – Impacto ambiental global das várias soluções (Viaduto) (Gervásio e Silva, 2005)

Da observação dos resultados, pode afirmar-se que a solução baseada em betão tem um desempenho ambiental consideravelmente superior à solução aço/betão, fabricada com recurso a altos-fornos. Já as soluções baseadas em fornos de arco eléctrico e de fabrico 50%/50% dão origem a valores totais mais baixos, visto envolverem percentagens superiores de matérias-primas recicladas no seu fabrico e, principalmente, originarem menores consumos de energia. É de qualquer forma importante destacar o superior índice de toxicidade apresentado em qualquer das soluções baseadas em aço/betão, relativamente à baseada em betão. Por outro lado, a quantidade de poluentes do ar da solução em betão é superior a qualquer uma das restantes.

A grande diferença entre os 2 processos produtivos da solução aço/betão, explica-se, parcialmente, pelo facto de haver, entre os dois, uma grande diferença nos consumos de energia como se pode observar na figura seguinte.

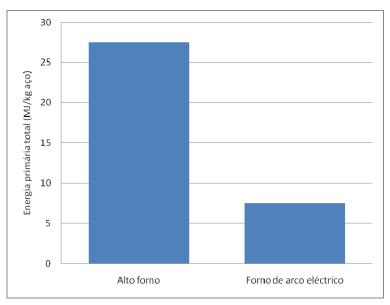


Figura 3.3 – Energia consumida por processo de produção de aço (Gervásio e Silva, 2005)

Além disso, o facto de existir uma utilização muito superior da reciclagem no processo de produção com forno de arco eléctrico, implica que haja emissões de carbono inferiores, uma muito menor utilização de minério de ferro, criação de menor quantidade de resíduos e emissão de quantidades inferiores de CO<sub>2</sub>. Por estas razões, esta alternativa produtiva, apesar de menos usada que a fabricação em altos-fornos, possui um impacto ambiental muito baixo, tal como se pode confirmar na figura seguinte.

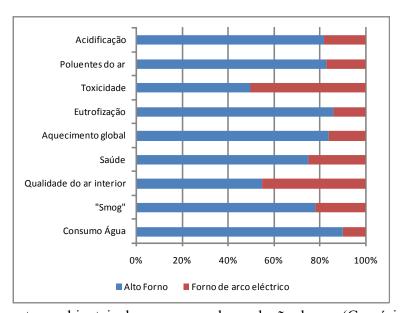


Figura 3.4 – Impactos ambientais dos processos de produção de aço (Gervásio e Silva, 2005)

Usando também a metodologia da SETAC, Gervásio (2006) apresentou resultados comparativos do desempenho ambiental da predominância de uso de dois materiais, aço e betão, numa moradia unifamiliar com 141,5 m² de área. Tal como no estudo anterior, foi feita a distinção entre processos de produção de aço com utilização de processos produtivos de altos-fornos (BF – *Blast Furnace*) e fornos de arco eléctrico (EAF - *Electric Arc Furnace*). No quadro seguinte apresentam-se as opções construtivas para cada uma das soluções.

Quadro 3.9 – Consumo médio de energia de equipamentos envolvidos na betonagem (Gervásio, 2006)

Elemento	Caso A – Betão	Caso B – Composta
Pilares	Betão armado (C25/30)	Aço laminado (S355)
Laje de topo	Betão armado (C25/30)	Aço e betão (S355 C25/30)
Paredes exteriores	Parede dupla tijolo (15+4+11cm)	Painéis OSB+Enformados (30cm)
Paredes interiores	Parede simples tijolo (11cm)	Painéis OSB+Enformados (25cm)

O dimensionamento de ambas as soluções foi feito, utilizando os respectivos Eurocódigos, de forma a terem a mesma performance estrutural, com as mesmas margens de segurança. Os elementos comuns às duas soluções (fundações, laje térrea e cobertura) não foram considerados no estudo. Além disso, os comportamentos térmico e acústico foram equilibrados de forma a não haver uma solução preferencial.

Os resultados obtidos estão representados na figura seguinte.

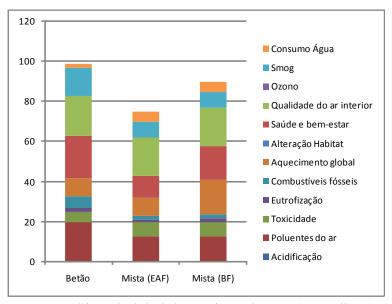


Figura 3.5 – Impacto ambiental global das várias soluções (Moradia) (Gervásio, 2006)

Ao contrário do estudo anterior, a solução baseada em betão tem aqui, um impacto ambiental superior ao correspondente à solução mista independentemente do método utilizado na produção do aço. No entanto a alternativa baseada em produção com fornos de arco eléctrico

revela mais uma vez, que é, sem dúvida, a mais amiga do ambiente, devido à sua grande vertente de reciclagem.

Peyroteo et al, (2005), compararam o desempenho ambiental do fabrico de 6 vigas de betão armado, com secções e densidades de aço diferentes (Quadro 3.10), pertencentes a um edifício residencial situado em Guimarães, com o de uma viga padrão de aço com a mesma função estrutural. Não foram contabilizados os custos ambientais associados à manutenção e deposição do fim da vida.

Viga	Secções	Percentagem de aço
V1	$0.35 \times 0.70$	0.133
V2	$0.30 \times 0.60$	0.217
V3	$0.30 \times 0.60$	0.217
V4	$0.25 \times 0.60$	0.261
V5	$0.30 \times 0.55$	0.263
V6	$0.25 \times 0.50$	0.389

Quadro 3.10 – Características das vigas analisadas (Peyroteo et al, 2005)

Relativamente aos parâmetros medidos, verificou-se que a viga V6 era a mais favorável, sendo esta a que possuía maior densidade de aço. Além disso, de uma forma geral, pôde constatar-se que o desempenho ambiental aumentava com a densidade de aço, tal como se pode observar na Figura 3.6.

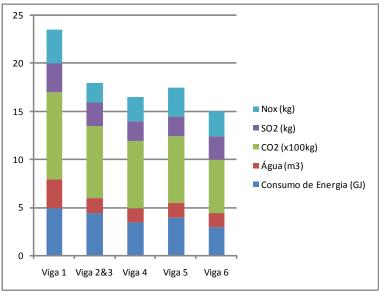


Figura 3.6 – Impactos ambientais das vigas analisadas (Peyroteo et al, 2005)

Por outro lado, a viga metálica possui um impacto ambiental significativamente superior ao de qualquer das vigas de betão, especialmente ao da viga V6, tal como mostra a Figura 3.7.

Assim, ao nível de consumo de energia, a viga metálica gasta 14 GJ enquanto a equivalente de betão armado, apenas 4 GJ. Também no consumo de água, a estrutura metálica sai a perder, sendo necessários 9 m³ ao invés da estrutura de betão, para a qual só são necessários 2 m³. No campo das emissões, a solução em betão implica a libertação de 550 kg de CO<sub>2</sub> e 2 kg de Óxido de Azoto (NO<sub>x</sub>), por seu lado, a metálica, mais desfavorável, produz 2300 kg de CO<sub>2</sub> e 4 kg de NO<sub>x</sub>. Apenas no que diz respeito à produção de SO<sub>2</sub>, a viga metálica possui valor inferior (1,7 kg) ao da viga de betão (2,5 kg).

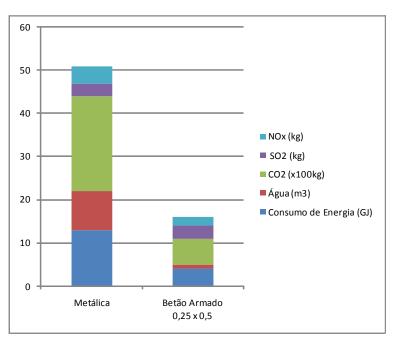


Figura 3.7 – Impactos ambientais correspondentes aos dois processos de produção de aço (Peyroteo et al, 2005)

Pode assim concluir-se que, se por um lado a viga metálica é menos amiga do ambiente, nas condições em que foi realizado o estudo, por outro, quanto maior for a quantidade de aço utilizada na viga de betão, menores serão os impactos causados. Isto acontece porque o uso de uma maior área de aço possibilita a redução da secção total. Deste modo são também reduzidas a quantidade de cimento, madeira, agregados e água utilizada, o que resulta num custo ambiental global, menor.

Apesar de, no dimensionamento corrente de vigas de betão armado, habitualmente se utilizar como percentagem de aço, 0,25, este estudo permitiu concluir que a percentagem de aço mais favorável do ponto de vista ambiental é significativamente superior, com o valor 0,389.

A vertente financeira é também valorizada, uma vez que "à medida que a percentagem de aço utilizada aumenta, os impactos ambientais e custos económicos diminuem" (Peyroteo et al, 2005).

Como se pode observar, não são unânimes as opiniões sobre qual dos dois materiais, o aço ou o betão tem maior performance ambiental, havendo algumas disparidades nos resultados obtidos em diferentes estudos, devido às condições em que foram efectuados. Além disso, se há quem defenda o aço como material mais verde pela sua capacidade de reciclagem e reaproveitamento, também há quem exorte a versatilidade e estabilidade ambiental do betão.

As principais características do aço, como material de construção, que influenciam directa ou indirectamente o seu impacto ambiental relativamente ao betão são (Peyroteo et al, 2005):

- Ao contrário do betão, o aço é um material 100% reciclável. Esta reciclagem, além de mais simples e económica do ponto de vista ambiental, pode ser repetida quase indefinidamente, desde que tomadas as devidas medidas.
- O aço, por ser mais resistente que o betão armado, permite a execução de elementos estruturais de menor secção e, por conseguinte, de menor massa, o que permite a construção de estruturas mais leves e de maiores dimensões, que consomem menor quantidade de matéria-prima.
- Ao contrário do betão, o aço, é afectado pelo problema da corrosão, o que implica o tratamento prévio das peças com anti-oxidantes.
- O sistema de construção com aço é caracterizado por um nível de industrialização superior ao da construção convencional em betão armado, pois grande parte dos elementos é produzida em fábrica e não em estaleiro, o que diminui o período de tempo necessário à construção, reduz a carga necessária de mão-de-obra e de equipamento pesado, aumenta as condições de segurança e higiene no estaleiro e diminui a quantidade de desperdícios.
- O aço tem uma maior interferência com campos magnéticos e eléctricos existentes, do que o betão
- Os elementos de aço oferecem uma maior margem de segurança no trabalho, o que se deve ao facto de o material ser único e homogéneo, com comportamento bem definido.
- -Os elementos de aço podem ser desmontados e substituídos com facilidade, o que permite reforçar ou substituir facilmente diversos elementos da estrutura.
- Ao contrário do que acontece com o betão, as peças de aço estão limitadas na sua dimensão pela capacidade de execução da fábrica e da capacidade de transporte até o local de montagem final.
- O aço necessita de mão-de-obra e equipamentos mais especializados para o seu fabrico e montagem, do que o betão.
- A nível nacional há limitação de fornecimento de perfis estruturais de aço.
- A utilização de aço possibilita a montagem e desmontagem da estrutura, permitindo a reutilização do material em outra obra.
- Como se trata de um sistema estrutural de precisão, a construção em aço possibilita a existência de juntas e folgas mínimas, permitindo o planeamento e compra de todos os componentes da obra com antecedência.

- O betão tem uma resistência ao fogo muito superior à do aço. São por isso necessárias medidas adicionais de protecção dos perfis de aço.

### 3.3 Comparação ambiental de Estruturas de Betão com Estruturas de Madeira

### 3.3.1 A madeira como material de construção

A madeira é um material originado no tecido formado pelas plantas lenhosas com funções de sustentação mecânica.

A madeira, nas suas diversas formas, é utilizada na construção com inúmeras funções, tanto estruturais como não estruturais. Como material de construção está exposta a diferentes ambientes, muitas vezes agressivos, o que se traduz em exigências de resistência mecânica, durabilidade, estabilidade dimensional e de natureza estética.

Apesar de ser uma das matérias-primas mais usadas a nível global, desde os primórdios da humanidade, a madeira e a indústria a ela associada, enfrentam desde o início do século passado, uma forte concorrência por parte de materiais como o betão, o aço ou o plástico.

Em resposta a esses novos desafios, a madeira foi reinventada, e paralelamente à madeira maciça, surgiram novas madeiras modificadas, na forma de aglomerados, contraplacados, termolaminados ou lamelados-colados.

No que diz respeito à realidade nacional, a indústria Portuguesa enfrenta forte competição dos países do Norte da Europa, com maiores tradições no uso da madeira, especialmente na sua vertente estrutural. A madeira de Pinho constitui o único recurso florestal nacional com uma produção comercial significativa e a única fonte de fornecimento sustentável à indústria da madeira. (Machado, 2004)

Algumas vantagens da madeira no estado maciço, como material de construção, são: a facilidade com que pode ser usada e trabalhada, nomeadamente na ligação entre peças, as boas características de isolamento térmico, a sua aplicabilidade para correcção acústica, a estabilidade a nível de radiações, o bom comportamento ao fogo de peças de média dimensão e a resistência a agentes químicos, não estando, por exemplo, sujeita a oxidação.

No entanto a madeira tem também alguns grandes inconvenientes, como: a sua variação de volume com a alteração do teor em água, com possibilidade de fissuração, a combustibilidade em elementos de dimensões reduzidas, a susceptibilidade a agentes biológicos como térmitas ou bolores e a agentes climatéricos, o tempo de vida reduzido quando sujeita a ciclos de molhagem/secagem e a deformação por fluência. (Henriques, 2002)

### 3.3.2 Análise comparativa

"A madeira constitui actualmente, o único material de construção estrutural oriundo de uma fonte de regeneração contínua, a floresta, desde que sejam adoptadas regras para a sua utilização e reflorestação". (Henriques, 2002)

Este material possui vantagens inquestionáveis ao nível da performance ambiental. Primeiro, porque, é autónomo no seu crescimento e multiplicação, sem concorrer directamente com as actividades humanas ao nível de consumo de energia. Também a transformação dos produtos florestais é possível sem um grande dispêndio de energia, podendo os resíduos ser completamente aproveitados em subprodutos da madeira. Mesmo no final da sua vida útil, a madeira não constitui resíduo, podendo ser reciclada (LNEC, 1976).

Se a floresta for gerida recorrendo às melhores práticas florestais, será sempre uma fonte inesgotável e renovável de recursos e simultaneamente geradora de riqueza (Soporcel, 2005).

Os principais resíduos da madeira e respectivos destinos são (AIMMP, 2007):

- Resíduos do descasque:
  - 90% valorização energética por queima em caldeiras.
  - 10% fertilizante, compostagem, jardins, etc.
- Serrim:
  - 30% valorização energética
  - 20% usos agrícolas, agro-pecuários e avícolas
  - 50% reciclagem e incorporação em painéis de aglomerado e pasta de papel.
- Restos e aparas ou fitas de madeira, de aglomerado ou folheado:
  - 50% valorização energética
  - 50% reciclagem incorporação em painéis de aglomerado e pasta de papel.
- Lamas de cabine de pintura:
  - Armazenamento temporário, e posterior recolha por empresa licenciada
  - Depósito em aterro nos sistemas multimunicipais
- Embalagens:
  - Recolha por serviços (Câmaras Municipais e empresas autorizadas)
  - Retoma por fornecedor
  - Papel e cartão, plástico, metal são recolhidos para reciclagem
- Sucata (fita metálica, restos de serra, etc.):
  - recolha por "sucateiro" (licenciado ou não)
- Solventes:
  - Destilação e reutilização
  - Armazenamento temporário, e posterior recolha por empresa licenciada
- Óleos usados:
  - Quantidades pequenas uso para lubrificação de equipamentos
  - Quantidades maiores recolha por empresa licenciada (20%)

- Cinzas de caldeira (biomassa):
  - Depósito em aterro
  - Depósito nos solos fertilizante agrícola

A sustentabilidade da madeira está intimamente ligada à sua durabilidade.

Os principais factores que originam a sua degradação e portanto influem negativamente na sua durabilidade são, como já referido, a luz solar, a água, o vento e o clima. No entanto, um tratamento adequado permite que esta apresente um muito bom comportamento a todos esses factores.

A influência nefasta da água, manifesta-se sobretudo nos ciclos de hidratação/secagem, devido à capacidade da madeira, de absorver água por capilaridade. Tal acção, provoca sucessivos aumentos de volume e retracção, o que origina o aparecimento de fendas e distorções.

A humidade na madeira promove o aparecimento de fungos, térmitas e carunchos.

A durabilidade da madeira depende também da sua correcta escolha, aplicação e tratamento adequado de acordo com o cenário previsto em projecto. Assim, se a Classe de Risco para Aplicação de Madeira Maciça (NP EN 335) for correctamente determinada a madeira pode ser tratada adequadamente através de um produto preservador, reduzindo desta forma a probabilidade de degradação.

Portanto, a madeira como material de construção não possui uma durabilidade definida, dependendo esta da correcta escolha, aplicação e principalmente tratamento, ficando desta forma por conta da degradação natural do material, sendo conhecidas construções seculares com elementos em madeira (Vieira, 2006).

Pode então concluir-se que a madeira possui as seguintes características, ao nível da sustentabilidade (Vieira, 2006):

- Tem uma grande durabilidade se correctamente gerida;
- A energia incorporada (Energia necessária para produzir ou beneficiar um material ou produto) é muito baixa, comparada com a do betão, aço ou alumínio, como se pode observar no quadro seguinte:

Quadro 3.11 – Comparação entre a energia incorporada da madeira e a de outros materiais de construção (Henriques, 2002)

	<u> </u>
Material	Relação entre a energia necessária para a produção
	de uma tonelada de matéria relativamente à da madeira
Betão	4 vezes mais
Aço	60 vezes mais
Alumínio	250 vezes mais

- Reduzido impacto resultante do transporte, uma vez que pode ser facilmente extraída de regiões próximas;
- Não emite gases tóxicos;
- Pode ser reciclada para dar origem a outros produtos à base de madeira;
- Pode ser prejudicial para o meio ambiente se não for gerida de forma racional;
- É um material biodegradável.

A Comissão Económica das Nações Unidas para a Europa (UN ECE) e a Food and Agriculture Organization (FAO) estabeleceram em 1998 uma comparação, ao nível de diversos parâmetros, de materiais usados na construção civil, através do chamado "Semáforo de Desempenho Ambiental":

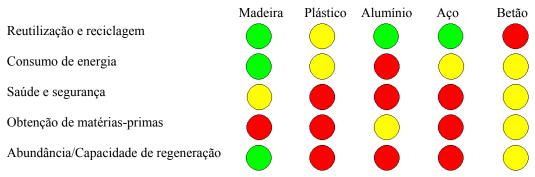


Figura 3.8 – Semáforo de desempenho ambiental (AIMMP, 2007)

Por todas as razões anteriormente expostas, e, apesar de algumas limitações, a madeira é o material de construção sustentável por excelência, desde que eficientemente gerida, permitindo satisfazer as necessidades da sociedade contemporânea, sem pôr em causa o bemestar das gerações futuras.

## 4 RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DO BETÃO

### 4.1 Gestão dos RCD's em Portugal

A reciclagem e reutilização dos resíduos de construção e demolição (RCD) têm surgido como uma forma de amenizar a acção nociva que a actividade construtiva tem no meio ambiente, nomeadamente no que diz respeito ao consumo de recursos naturais. A gestão destes resíduos só recentemente começou a suscitar algumas preocupações, continuando no entanto a existir lacunas, tanto em Portugal como no resto da União Europeia.

Ao nível de legislação, a gestão de resíduos de construção e demolição, foi durante muito tempo regulado pelo regime geral da gestão dos resíduos sendo, no entanto, aprovado recentemente o novo regime jurídico da gestão de resíduos de construção e demolição, Decreto-Lei n.º 46/2008 de 12 de Março (MAOTDR, 2008).

Este Decreto-Lei nasceu da necessidade de criar condições legais para a correcta gestão dos RCD, que privilegiassem a prevenção da produção e da perigosidade, o recurso à triagem na origem, à reciclagem e a outras formas de valorização, com consequente diminuição dos quantitativos depositados em aterro.

As principais alterações introduzidas foram (TTerra, 2008):

- i) Definição de metodologias e práticas a adoptar nas fases de projecto e execução da obra, que privilegiem a aplicação dos princípios da prevenção e da redução e da hierarquia das operações de gestão de resíduos;
- ii) Aprovação de especificações técnicas relativas à utilização de RCD em diferentes tipos de materiais de construção;
- iii) Obrigatoriedade de aplicação em obra de uma metodologia de triagem ou, em alternativa, o encaminhamento para um operador de gestão licenciado para realizar essa operação;
- iv) Introdução de uma taxa de gestão de resíduos específica para inertes de RCD de valor inferior ao previsto no Decreto-Lei nº 178/2006, de 5 de Setembro;
- v) A criação de mecanismos inovadores ao nível do planeamento, da gestão e do registo de dados de RCD que permitam condicionar os actos administrativos associados ao início e conclusão das obras à prova de uma adequada gestão destes resíduos;
- vi) A dispensa de licenciamento para as operações de gestão realizadas na própria obra e a utilização de solos e rochas que não contenham substâncias consideradas perigosas, na recuperação ambiental e paisagística de pedreiras ou na cobertura de aterros destinados a resíduos.

Da legislação geral sobre resíduos, importa referir, o Decreto-Lei n.º 239/97, de 9 de Setembro, relativo à gestão de resíduos, a Portaria n.º 961/98, de 10 de Novembro, relativa às autorizações das operações de gestão de resíduos, a Portaria n.º 335/97, de 16 de Maio, referente às guias de acompanhamento nas operações de transporte de resíduos, e o Decreto-

Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, relativo aos aterros destinados à deposição de resíduos (IGAOT, 2004).

A nível nacional tem havido um crescente interesse em pôr em prática programas de gestão de resíduos da construção. Um projecto-piloto desenvolvido pela Câmara Municipal de Montemor-o-Novo ("REAGIR – Reciclagem de Entulhos no Âmbito da Gestão Integrada de Resíduos"), teve como principal objectivo assegurar a recolha e destino adequado para os RCD, dando prioridade à valorização e reciclagem da fracção inerte destes resíduos. Este projecto teve a duração de 3 anos, (de 1 de Dezembro de 2003 a 30 de Novembro de 2006) e permitiu a implementação de um sistema municipal de recolha selectiva de RCD e a instalação e operação de uma unidade de reciclagem, o que possibilitou demonstrar a viabilidade da valorização/reciclagem destes resíduos, contribuindo para a materialização dos objectivos da política comunitária em matéria de gestão de resíduos, que privilegia estas soluções face à sua deposição em aterro.

A nível internacional foi desenvolvido em alguns países da União Europeia (Alemanha, Dinamarca, Espanha, França e Portugal), um programa de gestão de RCD na indústria da construção civil, denominado WAMBUCO (European Waste Manual for Building Construction). Este projecto permitiu criar metodologias de transição da actual gestão (praticamente inexistente e totalmente caótica) para uma gestão integrada dos RCD, criando vantagens competitivas para as empresas do sector do tratamento dos resíduos, através do desenvolvimento e realização prática de uma estratégia progressiva de tratamento de resíduos. A gestão de RCD em Portugal está numa fase incipiente havendo ainda muito a fazer. Devido ao volume cada vez maior de resíduos produzidos anualmente, é urgente minimizar o desaproveitamento de materiais durante a obra, criar soluções para a sua valorização/reciclagem e informar/sensibilizar os responsáveis directos pela deposição inadequada. As consequências imediatas da protelação destas medidas são a continuação da degradação da paisagem e a contaminação ambiental.

Algumas das medidas a tomar para inverter esta situação, que pode acarretar danos irreparáveis ao meio ambiente, são (IGAOT, 2004):

- Implementação de nova legislação, específica para este fluxo de resíduos, como é o caso do Decreto-Lei n.º 46/2008 de 12 de Março (novo regime jurídico da gestão de resíduos de construção e demolição);
- Promoção da triagem dos RCD na sua origem de forma a incrementar a reutilização e reciclagem dos materiais, bem como o encaminhamento para destino adequado das fracções não reutilizáveis, especialmente as que possam conter substâncias perigosas;
- Incrementação de locais, com as devidas condições, para a deposição dos mesmos;
- Aplicação de sanções aos prevaricadores.

Pereira, Jalali e Aguiar (Pereira et al, 2005a), realizaram um estudo de caracterização da gestão dos resíduos de construção e demolição na Zona Norte Litoral de Portugal.

Uma das primeiras conclusões obtidas foi a predominância de alguns materiais como betão, alvenaria e argamassas no total dos RCD, como se pode constatar no Quadro seguinte. Apesar dos resíduos de escavação como solos e pedras também predominarem, estes não foram considerados como pertencentes ao designado "núcleo de resíduos", que excluem movimentos de terras, instalações gerais e vegetação proveniente de limpezas.

RCD	% de massa
Betão, alvenaria e argamassa	35,0
Madeira	5,0
Papel, cartão	1,0
Vidro	0,5
Plásticos	1,0
Metais (aço incluído)	5,0
Solos de escavação, brita da restauração de pavimentos	40,0
Asfalto	6,0
Lamas de dragagem e perfuração	5,0
Outros resíduos	1,5

Quadro 4.1 – Composição dos RCD em percentagem de massa (Pereira et al, 2005a)

Assim, no que diz respeito aos resíduos integrantes do "núcleo de resíduos", ilustra-se, na figura seguinte, a representatividade de cada um deles.

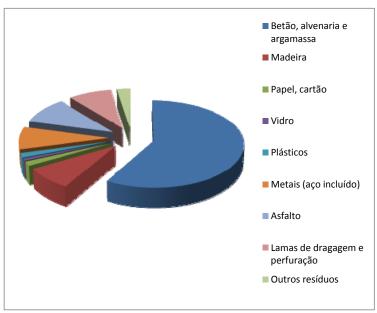


Figura 4.1 – Materiais do núcleo dos RC&D (percentagem de peso) (Pereira et al, 2005a)

Os quadros seguintes, mostram o destino dado aos resíduos produzidos em obra, em percentagem do total e em Megatoneladas, bem como a respectiva produção anual.

Quadro 4.2 – Destinos dos RCD em percentagem de massa, em Portugal (Pereira et al, 2005a)

RCD	Reutilização	Reciclagem	Incineração	Aterro
	(%)	(%)	(%)	(%)
Betão, alvenaria e argamassa	15	0	0	85
Madeira	10	30	30	30
Papel, cartão	0	20	30	50
Vidro	0	0	0	100
Plásticos	0	10	5	85
Metais (aço incluído)	10	60	0	30
Solos de escavação, brita da restauração de	0	0	0	100
pavimentos				
Asfalto	0	10	5	85
Lamas de dragagem e perfuração	40	0	0	60
Outros resíduos	10	0	0	90

Quadro 4.3 – Quantificação e Destinos dos RC&D em Portugal (Zona Litoral Norte) (Pereira et al, 2005a)

RCD	Produção Anual	Reutilização	Reciclagem	Incineração	Aterro
	(ton×1000)	(1000×ton)	(1000×ton)	(1000×ton)	(1000×ton)
Betão, tijolos, azulejos,	809.0	121.4	0.0	0.0	687.7
alvenarias,etc. (inerte)					
Madeira	115.6	11.6	34.7	34.7	34.7
Papel, cartão	23.1	0.0	4.6	6.9	11.6
Vidro	11.6	0.0	0.0	0.0	11.6
Plásticos	23.1	0.0	2.3	1.2	19.6
Metais (aço incluído)	115.6	11.6	69.3	0.0	34.7
Isolamentos	11.6	0.0	0.0	0.0	11.6
Outros resíduos	23.1	0.0	2.3	1.2	19.6
Núcleo dos RCD	1132.6	144.5	113.3	43.9	831.0
Solo, pedras, etc.	925.7	370.3	0.0	0.0	555.4
Resíduos de estradas	74.2	7.4	0.0	0.0	66.8
(asfalto, betuminoso)					
Total	2132.6	522.2	113.3	43.9	1453.2

A observação dos resultados do estudo anterior, mostra a enorme quantidade de resíduos (cerca de 2.1 Mt) que são produzidos por ano, apenas na Zona Litoral Norte de Portugal. Do "núcleo de resíduos", quase 75 % dos resíduos vão para aterro e apenas cerca de 10 % são reciclados. Da parcela onde se inclui o betão, são produzidos anualmente cerca de 800 000 t, dos quais apenas 15% são reutilizados. A taxa média de reciclagem de RCD é de cerca de 5 %. (Pereira et al, 2005a)

São as porções que contêm betão, alvenaria e argamassa que, com maior facilidade, são passíveis de ser encaminhadas para reciclagem.

A utilização de centrais de reciclagem permite a redução da quantidade de recursos primários consumidos, e da necessidade de espaços para deposição das grandes quantidades de RCD. Isto permite a optimização do próprio processo produtivo de um país, tornando-o mais eficaz na utilização dos recursos naturais que dispõe.

O processo de reciclagem de betão inclui as seguintes fases (Pereira et al, 2005b):

### Separação na origem

É na própria obra que esta etapa inicial tem lugar. A separação dos materiais a serem reciclados dos materiais contaminantes permite o aumento da qualidade do produto reciclado e a diminuição do seu custo. Através de demolição e recolha selectivas, os resíduos de betão são separados de outros materiais minerais e da matéria orgânica.

### Recepção dos RCD e armazenamento inicial

Já na central de reciclagem, os resíduos são inspeccionados e avaliados de forma a garantir a sua qualidade, sendo então armazenados em zonas impermeabilizadas, de forma a evitar contaminação.

### Pré-triagem e Separação Inicial

Os elementos de betão armado de maiores dimensões são reduzidos em dimensão, por meio de um martelo hidráulico, sendo as armaduras retiradas com a ajuda de uma pinça demolidora. O aço é armazenado para ser reencaminhado e reciclado em siderurgias.

O betão limpo passa por um processo de pré-segregação (crivo primário) com o objectivo de remover a fracção 0-5 mm sendo o restante material encaminhado para britagem.

Os materiais contaminados são encaminhados para um circuito de triagem (mecânica e manual) do qual saem suficientemente limpos para prosseguirem o processamento normal como materiais minerais não contaminados.

### Triagem e Selecção dos Fluxos Contaminados

O produto obtido na fase de pré-triagem é encaminhado para uma unidade de triagem munida de grelha vibratória, cabina de triagem manual, e separador. Os fluxos de resíduos perfeitamente separados não passam por esta instalação de triagem.

### Britagem e Crivagem

Os resíduos de betão já seleccionados são então reduzidos às dimensões desejadas por intermédio de uma britadora. À saída da britagem, o produto passa por um separador magnético que retira os restos de metal ainda existentes no fluxo.

### Armazenamento e Saída dos Produtos Finais

De acordo com a dimensão das partículas obtidas, o material resultante pode então ser usado como tout-venant de qualidade, bases e sub-bases de estradas, acondicionamento de condutas, drenagens, agregados para pavimentos, enchimentos estruturais e misturas com matéria vegetal para produção de solos de jardinagem

### 4.2 Benefícios da reciclagem e reutilização dos RCD's no betão

A "Agenda 21" deu especial destaque à necessidade de uma gestão ambiental para os resíduos sólidos (Gunther, 2000). Uma das soluções apontadas foi a reciclagem e reutilização pela construção civil, uma vez que este sector consome 75% dos recursos naturais. (Ângulo et. al., 2001).

São vários os benefícios da reciclagem na construção civil (Ângulo et. al., 2001):

- Redução do consumo de matérias-primas não renováveis, assumindo igualmente um importante papel na economia ao aumentar a disponibilidade de produtos no mercado consumidor;
- Redução das áreas necessárias para aterro;
- Redução do consumo de energia durante o processo produtivo;
- Redução da poluição.

O betão resultante de RCD pode ser reciclado e reutilizado de diferentes formas (Brito, 2006):

- O betão triturado resultante de demolições pode ser utilizado como material de aterro, base de enchimento para valas de tubagens e pisos térreos de edifícios;
- O betão triturado e crivado com poucas ou nenhumas impurezas é integrado na sub-base em construção de estradas, como agregado reciclado para o fabrico de betão e como base de enchimento para sistemas de drenagem;
- O betão triturado e crivado, limpo de impurezas e com menos de 5% de tijolo tem como destino a inclusão em construção de estradas, produção de betão, material de aterro estrutural e base de enchimento para valas de tubagens.

Os agregados obtidos a partir de resíduos de betão reciclados, apresentam-se assim, como uma alternativa viável ao agregado tradicional (areia e brita), podendo ser integrados em betão, com e sem função estrutural.

Além disso, outros tipos de resíduos, depois de reciclados, podem fazer parte do betão, quer como agregados, quer em substituição do material cimentício, como se pode observar no quadro seguinte:

Quadro 4.4 – Elementos reciclados do betão (Brito, 2006)

D (1	Substituição dos	agregados	Substituição cimentício	do material
Resíduos	Aplicação	Construção de	Aplicação	Construção de
	genérica	estradas	geral	estradas
Escórias de alto-forno arrefecidas	_	1	_	J
ao ar	-	٧	_	V
Escórias de alto-forno expandidas	V	-	-	-
Escórias de alto forno arrefecidas	_	V	2/	J
em água	-	٧	<b>'</b>	, v
Areia de caulino	V	√	-	V
Resíduo de minas de carvão	-	√	-	V
Betão britado	V	√	-	V
Entulho de demolição	V	√	-	V
Areias de fundição	V	-	-	
Cinzas de fornalhas termoeléctricas	-	√	-	V
Vidro	V	√	-	V
Resíduos sólidos urbanos e cinzas	J	J		a)
de incineração	V	٧	_	V
Plásticos	-	√	-	V
Cinzas volantes	V	√	√	V
Lamas de esgotos	V	-	-	-
Resíduos de ardósia	V	$\sqrt{}$	-	V
Óleos Usados	-	$\sqrt{}$	-	V
Escórias de aciaria	-	√	-	√

É no entanto extremamente importante o controlo da qualidade dos resíduos que são utilizados. Se esse controlo não for feito, o agregado de betão reciclado, quando integrado no betão, pode originar a chamada reacção álcali-agregado. Esta reacção é um processo químico no qual alguns constituintes do agregado (feldspato, calcedónia e sílica amorfa), reagem com os hidróxidos alcalinos provenientes dos outros constituintes do betão, originando um gel higroscópico expansivo, que provoca a deterioração do betão.

Os agregados reciclados a partir de entulho de demolição, podem ser integrados em betão não estrutural, com algumas vantagens que a seguir se descrevem (Zordan, 2001):

- Utilização de todos os componentes minerais do entulho (tijolos, argamassas, materiais cerâmicos, areia, pedras, etc.), sem ser necessária a sua separação;
- Permitem substituir a brita e a areia simultaneamente;

- Possibilitam melhorias no desempenho do betão em relação aos agregados convencionais, quando se utiliza baixo consumo de cimento;

No entanto estes agregados têm também algumas limitações. Por exemplo, a existência de faces polidas em materiais cerâmicos (pisos, azulejos, etc.) interferem negativamente na resistência à compressão do betão produzido.

Finalmente, o betão pronto, fresco, que é devolvido sem ter sido utilizado, pode ser reutilizado em outras amassaduras de betão, ou, alternativamente sob a forma de produtos de betão, em pavimentos ou aterros.

### 4.3 Os novos betões

As indústrias do cimento e betão enfrentam desafios relacionados com o aumento da durabilidade e desempenho e, simultaneamente, com a melhoria da sustentabilidade da produção.

Por cada tonelada de cimento Portland produzido, é libertada para a atmosfera, cerca de uma tonelada de CO<sub>2</sub>. A indústria do cimento contribui assim com cerca de 7% do total de emissões para a atmosfera. A indústria do cimento está também associada com o elevado consumo de energia., sendo apenas superado pela produção de alumínio e de aço, atingindo valores próximos de cerca de 4 GJ por tonelada, (Malhotra e Mehta, 2002).

É portanto urgente reduzir o consumo deste material, sem comprometer o necessário desempenho das estruturas de betão (Camões, 2002).

Alguns subprodutos industriais de qualidade, são usados regularmente como materiais ligantes sob a forma de adições ao cimento, como por exemplo, as cinzas volantes, escórias de alto-forno e sílica de fumo, que de outra forma seriam considerados como lixo, o que exigiria a sua eliminação.

Hoje em dia, cerca de 15% do teor de ligante dos betões é constituído por subprodutos com qualidade garantida. Isto representa uma redução substancial na utilização de matérias-primas tradicionais, no consumo de energia, emissões e tratamento de resíduos, relativamente ao cenário de há 20 anos atrás." (APEB, 2001)

### 4.3.1 Betão de elevado desempenho com cinzas volantes

"O betão, devido às elevadas quantidades utilizadas na construção, é um dos veículos ideais para a incorporação segura e económica de milhões de toneladas de resíduos e subprodutos industriais, como é o caso das cinzas volantes provenientes de centrais termoeléctricas" (Malhotra e Mehta, 2002).

Estima-se que a produção anual de cinzas, a nível mundial, ultrapasse os 700 milhões de toneladas. Destas, pelo menos 70% (cerca de 500 milhões de toneladas) são cinzas volantes que são adequadas e podem ser usadas como adição pozolânica em betões ou outros produtos de cimento (Mehta, 1999). No entanto, apenas 20% das cinzas volantes são realmente utilizadas para o fabrico de cimento e de betão. De modo a assegurar um desenvolvimento sustentável da indústria do betão, o emprego de subprodutos pozolânicos e cimentícios deve ser encorajado e substancialmente aumentado (Malhotra e Mehta, 2002).

Assim, a substituição de grandes quantidades de cimento por cinzas volantes, é altamente vantajosa sob o ponto de vista económico, da eficiência energética, da durabilidade e dos benefícios ecológicos e ambientais em geral.

A utilização de betões convencionais é, por vezes, inadequado do ponto de vista económico, pelo facto de este material, em determinadas situações, se degradar prematuramente, o que pode originar elevados custos de manutenção e reparação bem como a diminuição drástica do período de vida útil da edificação.

A quantidade de betão de elevado desempenho (BED) empregue na construção, tem vindo a aumentar e tem sido alargado o seu âmbito de aplicação. Este tipo de betão tem sido obtido maioritariamente, com recurso à adição de sílica de fumo ou cinzas volantes de elevada qualidade e agregados convenientemente seleccionados. Desta forma, o custo inicial dos BED, quando comparado com o dos betões convencionais, é substancialmente agravado, o que tem confinado a sua utilização, basicamente, a obras especiais. Torna-se assim fundamental a melhoria do desempenho dos betões através da incorporação de cinzas volantes (CV), consideradas de baixa qualidade, e de agregados britados, correntemente disponíveis no mercado nacional.

Em Portugal, o custo da sílica de fumo é cerca de dez vezes o do cimento. Para uma dosagem corrente (10% da massa de cimento), a adição de sílica de fumo implicaria elevar o custo do material cimentício para o dobro. De forma a reduzir os custos de produção, são necessárias composições com dosagens elevadas de CV, o que permite também o escoamento deste subproduto industrial, contribuindo para minimizar o impacto ambiental (Camões, 2002).

Estudos realizados em Portugal (Camões, 2002), permitiram concluir que é possível produzir BED com quantidades de substituição de cimento por CV até 40%, mantendo a resistência à compressão semelhante às das misturas sem incorporação de CV, a partir dos 56 dias de idade. A trabalhabilidade e durabilidade foram também beneficiadas com a adição de CV. Ainda nestes estudos, pôde observar-se que a substituição de 60% de cimento por CV conduziu à obtenção de betões com características mecânicas notoriamente inferiores às restantes. No entanto, considerando a reduzida quantidade de cimento presente na mistura, constatou-se que, em geral, a trabalhabilidade e a durabilidade destes betões foi melhorada quando comparada com a das composições sem CV. Mesmo para este caso e em algumas circunstâncias, estas misturas podem ser encaradas como de desempenho melhorado,

designadamente do ponto de económico e ambiental. Pode assim concluir-se que, é possível melhorar a trabalhabilidade, o comportamento mecânico e a durabilidade de betões, sem necessariamente aumentar o seu custo (Camões, 2002).

Dos resultados obtidos por Camões, 2005, podem ser retiradas as seguintes conclusões relativamente aos betões de elevado desempenho com incorporação de cinzas volantes:

- É possível obter valores de resistência à compressão elevados;
- Comparando este tipo de betão com o betão convencional, sem substituição de elevadas quantidades de cimento, constata-se que os betões com elevado volume de cinzas volantes se podem considerar vantajosos no que concerne ao desenvolvimento da resistência ao longo do tempo;
- A incorporação de um superplastificante de última geração, à base de copolímeros, permite fabricar betões com elevado volume de cinzas volantes apresentando elevada trabalhabilidade, permitindo ainda reduzir significativamente a dosagem de água da amassadura.

Portanto, os betões de elevado desempenho com elevado volume de cinzas volantes, dotados de elevada trabalhabilidade e incorporando materiais de baixo custo, nomeadamente cinzas volantes de qualidade reduzida, apresentam vantagens significativas quando comparados com os betões convencionais. É importante realçar que, em geral, os requisitos relacionados com as características mecânicas são perfeitamente alcançáveis e que este tipo de betão permite erigir construções mais duráveis e contribuir de maneira significativa para a sustentabilidade da construção.

Contudo, no que diz respeito à resistência ao gelo-degelo, estes betões, devido ao elevado teor de carbono das cinzas volantes, não têm o mesmo nível de desempenho que os betões tradicionais.

#### 4.3.2 Geobetão

A diferença essencial do Geobetão para os betões mais correntes reside no ligante e no activador líquido utilizados. Assim, enquanto no betão corrente o Cimento Portland (CPN) é usado como ligante e o activador é a água, no geobetão o ligante pode ser obtido a partir de qualquer material, designado como precursor, que contenha sílica, alumina e, eventualmente, cálcio sob a forma de óxido ou hidróxido. O activador é formado por um meio alcalino. O processo de activação alcalina reverte a série de fenómenos químicos que são conhecidos na Natureza, da degradação das rochas siliciosas, e que culmina na obtenção de argilas. A partir de argilas ou de materiais de composição química semelhante, é possível, em determinadas condições de temperatura e pressão e num intervalo de tempo muito curto, obter a transformação do precursor, que, regra geral, se apresenta em pó, num material sólido dotado de capacidade mecânica e de uma considerável inércia química e térmica (AECOPS, 2007).

Com este processo é possível obter resistências superiores às verificadas em betões de elevado desempenho à base de cimento Portland, até 160 MPa em compressão simples e de 17 MPa em flexotracção. Além disso, o tempo de reacção pode ser bastante rápido, oscilando de poucas horas até a alguns dias, se necessário. Dependendo das condições de activação, o endurecimento e ganho de resistência mecânica são normalmente alcançados num prazo mais curto do que nos betões correntes.

Para além da elevada resistência mecânica, os produtos obtidos através de activação alcalina, apresentam igualmente uma elevada resistência ao ataque dos ácidos, mesmo em situações de concentração elevada, não sendo susceptíveis de reacção álcalis-agregados, nem atacáveis pelos sulfatos, desde que não tenham cálcio na sua composição. Quando sujeitos a elevadas temperaturas, nomeadamente, entre os 900 e os 1.000°C, não se degradam como o betão de CPN, enquanto a sua resistência ao desgaste mostra um comportamento muito superior ao do betão corrente (AECOPS, 2007).

Uma das grandes vantagens reside assim no facto de se poderem incorporar quantidades consideráveis de RCD no seu fabrico. Uma vez que os RCD são maioritariamente constituídos por resíduos de betão, argamassas, produtos cerâmicos, como telhas, tijolos, azulejos, materiais porcelânicos, pedra e outros, podem, depois de algumas transformações não muito dispendiosas, dar lugar à obtenção de ligantes.

A referida transformação inclui a moagem para aumentar a susceptibilidade reactiva e a desidratação para obtenção de fases amorfas, ou seja, que envolvem a destruição das fases cristalinas, mais estáveis, logo, menos reactivas.

Os geobetões têm inúmeras aplicações, chegando a ser ainda mais versáteis que os betões de cimento Portland. Apenas aspectos formais ligados com a homologação e o licenciamento da utilização destes materiais e o facto da utilização de CPN estar muito arreigada nos meios técnicos, para além deste estar muito estudado, ser de simples execução e manuseio e responder bem à maioria das solicitações, levam a que o geobetão ainda não seja objecto de produção massiva. Apesar de utilizar resíduos como matéria-prima, a diferença de custo é mínima, não constituindo, por isso, um factor decisivo.

Do ponto de vista ambiental, o CPN liberta cerca de cinco vezes mais gases com efeito de estufa (GEE) do que os ligantes alcalinos, o que ganha cada vez maior significado, sobretudo quando se têm em conta as exigências crescentes das entidades europeias relativamente a estas emissões. Por outro lado é fundamental a possibilidade dos ligantes alcalinos incorporarem/utilizarem resíduos de vários tipos. Assim, e para além de reduzir as emissões de GEE, este tipo de ligantes contribui para resolver problemas de depósitos em aterros e,

paralelamente, diminuir de forma significativa a necessidade de exploração de novos recursos (AECOPS, 2007).

### 4.3.3 Betão com cinza de casca de arroz

A casca de arroz é um dos resíduos agrícolas mais abundantes a nível mundial que não possui aplicação directa podendo, porém, ser utilizada sob a forma de cinza, com características pozolânicas, como substituto parcial de cimento Portland.

Esta matéria-prima é um resíduo agrícola que corresponde a cerca de 1/5 de 300 milhões de toneladas de arroz produzidas anualmente em todo o mundo (Urbanismo & Construção, 2006).

Devido às suas particularidades físicas e químicas, nomeadamente a baixa densidade, carácter abrasivo, valor nutritivo reduzido e alto teor em sílica, apenas uma porção reduzida da casca de arroz é aproveitada, criando problemas consideráveis a nível de depósito destes detritos.

Uma das formas de reduzir estes detritos é através da incineração. A combustão controlada em fornos industriais é usada simultaneamente como fonte energética e para obtenção de uma cinza altamente pozolânica, com uma estrutura celular responsável por uma elevada superfície específica. Cerca de 2.0\*106 J/kg de energia calorífica é produzida no processo de combustão da casca de arroz resultando em até cerca de 20% de cinza, com elevado teor em sílica. Dependendo da eficiência da combustão, a cinza pode conter até 95% de sílica (Urbanismo & Construção, 2006).

A mais promissora alternativa de aproveitamento de CCA é a sua utilização na indústria cimenteira como constituinte principal juntamente com o clínquer moído, devido ao elevado teor de sílica que as cascas possuem.

Apesar de o uso de cimento não poder ser abolido, substitutos como a CCA constituirão um recurso útil em países produtores deste alimento, mas com poucas capacidades económicas para o fabrico ou mesmo importação do cimento. Neste caso este constituinte do betão tem a vantagem de poder ser produzido quase artesanalmente.

A CCA apresenta potencial na indústria cimenteira, não só como uma forma de solucionar o problema a nível de depósito destes detritos da orizicultura mas também como criação de novos empregos, reduções de custos económicos e energéticos.

A utilização da CCA como substituto parcial do cimento é assim, extremamente vantajosa especialmente do ponto de vista da durabilidade do betão armado, pois melhora as suas propriedades. Funciona como substituto parcial de cimento Portland, contribuindo para a construção sustentável, não só pelo facto de se utilizar um resíduo sem valor para substituir parcialmente o cimento, mas sobretudo pela melhoria de durabilidade conferida ao betão armado (Urbanismo & Construção, 2006).

## 5 EXEMPLOS PRÁTICOS DE MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS

Apresentam-se de seguida, dois exemplos práticos de obras, o Aeroporto de Beja e a Subestação da REN da Trafaria onde foram implementadas medidas de minimização do impacto ambiental, incluindo as relacionadas com o betão. Ambos os acompanhamentos ambientais foram realizados pela empresa COBA, Consultores de Engenharia e Ambiente, S.A.

## 5.1 Acompanhamento ambiental da construção da Subestação da Rede Eléctrica Nacional (REN) da Trafaria

### 5.1.1 Descrição do projecto

A Subestação da Trafaria foi construída no concelho de Almada, freguesia de Trafaria próximo da aldeia de Murfacém, tendo como objectivo satisfazer as necessidades crescentes de consumo de energia eléctrica da região noroeste da Península de Setúbal, bem como reforçar a capacidade de alimentação aos concelhos de Almada e do Seixal, face aos consumos que se têm verificado, permitindo assim, uma melhoria da qualidade da prestação deste serviço - fornecimento de energia eléctrica - numa zona em franca expansão urbanística.

A Subestação integra 3 edifícios, sendo a circulação no interior da plataforma efectuada por vias com larguras variável. (COBA, 2006)

### 5.1.2 Acompanhamento ambiental

O acompanhamento ambiental da Subestação da Trafaria visou garantir um correcto desempenho ambiental durante a fase de construção da empreitada, ou seja, atender particularmente aos aspectos ambientais mais relevantes em causa, o que consistiu basicamente na identificação de áreas e situações sensíveis, assim como na análise de eventuais impactos associados a acções de obra, e respectiva tomada de decisão relativa à eventual necessidade de implementação de medidas minimizadoras desses mesmos impactos. Deste modo, o objectivo principal foi garantir a correcta aplicação das medidas ambientais propostas no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e na Declaração de Impacto Ambiental

Os aspectos/descritores ambientais considerados neste acompanhamento ambiental foram: Aspectos Biofísicos:

- Geologia e Geomorfologia;
- Solos;

(DIA). (COBA, 2007b)

- Drenagem Natural e Produtividade de Aquíferos.

Aspectos de Qualidade do Ambiente:

- Qualidade da Água;
- Aspectos Ecológicos;
- Paisagem;
- Qualidade do Ar;
- Ambiente Acústico;
- Gestão de Resíduos.

Aspectos Socioeconómicos e de Ordenamento do Território de:

- Aspectos Socioeconómicos;
- Usos do Solo, Ordenamento de Território e Áreas de Uso Condicionado;
- Património Cultural Construído e Arqueológico.

Os estudos ambientais consubstanciados no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para a Subestação da Trafaria, visaram essencialmente, o seguinte:

- Cumprir as determinações legais vigentes no que respeita ao procedimento de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), o qual compreende necessariamente a identificação de impactos significativos decorrentes da implementação do projecto e avaliação da viabilidade ambiental do empreendimento;
- Analisar e avaliar ambientalmente as componentes do projecto, de forma a contribuir para soluções de projecto, mais favoráveis em termos técnicos, económicos e ambientais;
- Caracterizar, segundo os vários aspectos ambientais, a região de implantação do empreendimento, estabelecendo um quadro diagnóstico que retracte a situação ambiental de referência;
- Determinar e avaliar as condicionantes ambientais e os impactos potencialmente significativos associados à implementação da subestação em apreço;
- Analisar eventuais alterações que sejam necessárias introduzir no projecto, bem como formular medidas de controlo de impactos que contribuam para um projecto melhor concebido, optimizando os seus benefícios;
- Produzir e editar, os documentos que, de acordo com a lei vigente, serão sujeitos ao processo de Avaliação de Impacto Ambiental;
- Prestar o apoio técnico necessário no enquadramento deste processo de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA).

O acompanhamento ambiental foi feito ao longo dos diversos estágios do empreendimento.

A execução do projecto iniciou-se em Setembro de 2006, com alguns trabalhos preparatórios:

- -Execução da desmatação/decapagem na área de construção da plataforma e estaleiro;
- -Organização do estaleiro;

- -Colocação de "Tout Venant" nos parques de materiais e acessos do estaleiro social, com recurso a camiões;
- -Preparação dos locais destinados à colocação dos contentores destinados à área social e de escritórios do estaleiro e casas de banho químicas

Nesta fase inicial e de forma periódica ao longo de toda a duração do empreendimento, foram realizadas acções de formação e sensibilização ambiental. Estas foram efectuadas junto das equipas de trabalho do Empreiteiro e tiveram como objectivos principais assegurar o cumprimento das medidas de minimização preconizadas e alertar para os eventuais impactos ambientais negativos decorrentes das diferentes actividades de construção da Subestação.

O conteúdo destas acções de formação englobou, entre outros assuntos:

- Impactos ambientais associados às principais actividades a desenvolver;
- Boas práticas ambientais a adoptar nas diversas actividades;
- Manuseamento e armazenamento de substâncias químicas;
- Minimização de impactos em situações de emergência (aplicável à obra);
- Práticas de gestão de resíduos e racionalização de consumos.
- Sensibilização para a preservação dos elementos patrimoniais identificados no Estudo de Impacto Ambiental e que serão alvo de medidas de protecção específicas durante a fase de construção.

As acções de formação / sensibilização foram dirigidas aos trabalhadores envolvidos na empreitada, sendo realizadas no início da obra e sempre que novas equipas de executantes iniciavam os trabalhos.

Foram também realizadas acções de sensibilização no início de actividades críticas em termos ambientais, referindo potenciais impactos dessas actividades e procedimentos a adoptar de forma a minimizar eventuais riscos para o ambiente.

De forma a minimizar os impactos ambientais decorrentes da circulação de e para o estaleiro, este foi circunscrito à área indicada pelo Estudo de Impacto Ambiental, junto ao acesso a construir. Os acessos à obra e aos estaleiros, foram mantidos limpos através de lavagens regulares dos pneus das máquinas e camiões, afectos às obras, sobretudo na articulação com a rede viária local.

Ao longo das várias etapas do empreendimento, foram cuidadosamente sinalizadas as estradas e caminhos a utilizar, estabelecendo-se trajectos para a circulação de máquinas. Desta forma minimizou-se o trânsito desordenado e a compactação dos solos em grandes áreas.

A desmatação e a extensão dos aterros e escavações foram limitadas às parcelas de terreno estritamente necessárias à execução da obra.

Foram separadas as terras de melhor qualidade, de forma a poderem ser reutilizadas. A terra vegetal decapada foi guardada em depósito temporário de forma a assegurar o seu posterior

aproveitamento no revestimento de taludes de aterro e escavação. Os locais de depósito foram situados em locais planos e estáveis, a fim de evitar escorregamentos e assim o arrastamento para a rede hidrográfica.

Os resíduos gerados pelas actividades de decapagem/desmatação e escavação foram assim, nesta fase, temporariamente armazenados no local da obra. Numa fase posterior, aqueles tiveram destino adequado em vazadouros licenciados.

Os depósitos de águas residuais das WC químicas, foram recolhidos periodicamente por uma empresa especializada.

O armazenamento e abastecimento de combustíveis, bem como a manutenção dos equipamentos foram feitos em áreas impermeabilizadas e cobertas, dotadas de um sistema de recolha de efluentes.

Foram também tomadas medidas de minimização de vazamentos e derramamentos de óleos e outros lubrificantes durante a fase de construção.

No decurso da intervenção e acompanhando a legislação em vigor, foi também assegurado o acompanhamento arqueológico, no decurso das acções de desmatação, decapagem e escavação, de forma a evitar a destruição de eventuais vestígios arqueológicos.

A construção seguiu com a escavação de fundações e execução das sapatas dos edifícios.

As medidas de minimização continuaram, com a definição, na área envolvente à Subestação, de locais de depósito definitivo, de acordo com a modelação prevista, acautelando-se a prévia decapagem da terra vegetal e posterior recolocação nas áreas interferidas.

Teve lugar a implementação de medidas que evitassem o contacto dos RIB (Resíduos Industriais Banais) com outros resíduos perigosos (terras contaminadas com hidrocarbonetos e óleos usados). Quando existiu essa contaminação, os RIB tiveram o mesmo destino que o material contaminante.

Os resíduos produzidos (em escritórios e cantinas) equiparáveis a Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) foram depositados selectivamente em contentores especificamente destinados para o efeito, e devidamente identificados de acordo com as suas características físicas e químicas (papel e cartão, embalagens e "lixo geral"), sendo a recolha assegurada pelos serviços da Câmara Municipal de Almada.



Fotografia 5.1 – Contentores de separação de resíduos no estaleiro (COBA, 2007)

Além disso, procedeu-se à triagem dos resíduos de acordo com o código LER (Lista Europeia de Resíduos) e das características que lhe conferem perigosidade. Os resíduos produzidos foram armazenados temporariamente no estaleiro, em local apropriado e específico para cada tipo, sendo cada unidade devidamente sinalizada e objecto de fichas de identificação de resíduos contendo uma descrição sucinta da forma adequada de manuseamento.



Fotografia 5.2 – Local de armazenamento em big bag's separados de: papel/cartão; embalagens sem amianto e de mistura de embalagens (COBA, 2007)



Fotografia 5.3 – Zona dos contentores de 800 l com papel/cartão (azul), plásticos (amarelo), e terras contaminadas (verde) (COBA, 2007)

Na etapa seguinte foi iniciada a construção da superstrutura e realizadas outras operações acessórias:

- Montagem de armaduras dos restantes elementos estruturais;
- Cofragem, betonagem e descofragem de vigas, pilares, paredes e lajes térreas e de cobertura;
- Execução de maciços e montagem de torres eléctricas;
- Trabalhos de arranjos paisagísticos: abertura de covas e plantação;
- Execução de maciços de tracção e montagem de transformadores;
- Impermeabilizações e aplicação de materiais de isolamento;
- Execução de alvenarias nos edifícios;
- Aplicação de serralharias;
- Pinturas:
- Rebocos exteriores e interiores;
- Colocação de coberturas;
- Instalação de equipamentos no interior dos edifícios;
- Execução do muro de vedação periférica.
- Execução da via de acesso à plataforma;

Como parte do Plano Integrado de Resíduos foram implementadas medidas específicas, tal como a separação dos resíduos de sucata pela tipologia dos metais (ferrosos e não ferrosos) e envio para reciclagem.



Fotografia 5.4 – Zona do parque de resíduos onde se encontram o ferro e aço (COBA, 2007)

Prosseguiu-se a separação dos RIB da corrente normal, sendo-lhes dado um destino final adequado, consoante a sua natureza. As fracções passíveis de serem recicladas, como é o caso das cofragens, elementos em ferro, entre outros, foram remetidas para unidades de reciclagem licenciadas para o efeito.

As descargas de lavagem de máquinas e equipamento utilizado foram efectuadas em locais pré-definidos, aquando da organização e instalação dos estaleiros

Na superfície de assentamento das máquinas misturadoras de argamassa, foram colocadas mantas geotêxteis para evitar a contaminação dos solos, bem como uma bacia de retenção para lavagem do equipamento, como se pode observar nas figuras seguintes.



Fotografia 5.5 – Máquina de argamassa com protecção de manta geotêxtil (COBA, 2007)



Fotografia 5.6 – Bacia de retenção para lavagem de máquinas misturadoras (COBA, 2007)

Na fase final de execução da obra, tiveram lugar os seguintes trabalhos:

- Montagem de rede de climatização e detecção;
- Passagem de cabos nas caleiras.
- Execução de rede de drenagem dos exteriores;
- Aterro e compactação para arruamentos;
- Execução de rede para fibra óptica;
- Aplicação de betuminoso em arruamentos;
- Aterro e compactação em arruamentos;
- Execução de lancis;
- Montagem de prumos de painéis acústicos;
- Execução de modelação de terras;
- Montagem de ETAR.

As terras sobrantes da escavação/aterro (cerca de 5 749 m3) foram utilizadas na modelação do terreno conforme previsto no Projecto de Integração Paisagística. No entanto, algumas destas terras ultrapassaram a capacidade de reutilização em obra, pelo que foram reencaminhadas para outras obras a decorrer na região. Desta forma evitou-se a condução das mesmas a depósito externo à obra.

A adequada implementação do Projecto de Integração Paisagística passou também pela correcta manutenção da vegetação e maximização do efeito de absorção visual, tendo em consideração a faixa de segurança das linhas aéreas de transporte de energia e a bacia visual.

Durante os trabalhos anteriores teve especial relevância a poeira gerada (em caminhos não asfaltados, zonas de trabalho e depósito de terras) pelo que se procedeu ao humedecimento periódico, através de aspersão controlada de água.

#### 5.1.3 Gestão de resíduos

A REN definiu uma metodologia de gestão de resíduos que assenta na necessidade de concentrar o seu armazenamento em locais de recolha definidos, sendo posteriormente recolhidos por operadores devidamente licenciados para o efeito. A metodologia assenta nos seguintes pontos:

- Foram definidos locais de recolha, dispersos pelo território, para onde devem ser centralizados todos os resíduos produzidos nas actividades da REN, com excepção de alguns que, devido à sua perigosidade e dificuldade de transporte, terão de ser recolhidos nos locais de produção, nomeadamente óleos usados (isolantes, lubrificantes e hidráulicos);
- Os resíduos produzidos serão transportados para um dos locais de recolha, cuja localização geográfica seja mais favorável

No que diz respeito ao armazenamento temporário de resíduos em estaleiro, o seu local foi escolhido para cada tipo de resíduo, sendo devidamente sinalizado por intermédio de fichas de identificação de resíduos, contendo uma descrição sucinta da forma adequada de armazenamento e manipulação pela Lista Europeia de Resíduos (LER). Este armazenamento foi também efectuado de forma a não provocar qualquer dano para o ambiente nem para a saúde humana e de forma a evitar a possibilidade de derrame, incêndio ou explosão, sendo respeitadas as condições de segurança relativas às características que conferem perigosidade aos resíduos e que estão, regra geral, associadas com as características de perigo da substância (ou mistura de substâncias) perigosas presentes no resíduo em questão.

O armazenamento temporário de resíduos foi, assim, efectuado em local apropriado, sendo previstos os meios de contenção/retenção de eventuais derrames de substâncias perigosas de forma a minimizar o risco de contaminação de solos e águas.

No âmbito da gestão dos resíduos produzidos na obra foram criadas no estaleiro duas zonas para armazenamento dos mesmos:

- Um parque de resíduos resultantes das actividades da obra;
- Um ECOPONTO na zona do refeitório para os resíduos produzidos no estaleiro, nomeadamente para os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU's) e recicláveis.

### Resíduos das actividades de obra

Apresentam-se em seguida os resíduos produzidos na obra bem como os meios de contentorização/armazenamento utilizados em obra.

Resíduo	Meio de Contentorização / Armazenamento
Madeira	Contentor de aço com 20 m <sup>3</sup> de capacidade
Sucata de Ferro e Aço	Área delimitada com rede
Betão	Contentor de aço com 20 m <sup>3</sup> de capacidade
Resíduos de Construção e Demolição Não contaminados	Contentor de aço com 20 m <sup>3</sup> de capacidade
Plásticos Industriais	Área delimitada com rede
Embalagens de Papel/Cartão	Big Bag's (cerca de 1m <sup>3</sup> )
Mistura de Embalagens	Big Bag's (cerca de 1m <sup>3</sup> )
Tintas de Água	Bidon de 200 l
Cabos de Metal sem substâncias perigosas	Caixote de plástico (cerca de 200 l)

Quadro 5.1 – Resíduos não contaminados (não perigosos) (COBA, 2007)



Fotografia 5.7 – Contentor de armazenamento de resíduos de betão (COBA, 2007)



Figura 5.1 – Rótulo com código LER (Lista Europeia de Resíduos) do Betão (REN, 2004)

Resta referir a terra vegetal resultante da movimentação de terras (desmatação/decapagem e escavação), que se encontram em vazadouro temporário (em locais provisórios na envolvente da zona de obra no terreno da REN) aguardando destino adequado (utilização para aterros de obra e modelação do terreno).

Quadro 5.2 – Resíduos contaminados resultantes das actividades de obra (COBA, 2007)

Resíduo	Meio de Contentorização / Armazenamento
Embalagens Contaminadas com substâncias perigosas	Big Bag's (1m <sup>3</sup> ) dentro de caixote de madeira, protegido com plástico, em área ao abrigo do sol e chuva
Panos / Absorventes Contaminados	Big Bag's (1m <sup>3</sup> ) dentro de caixote de madeira, protegido com plástico, em área ao abrigo do sol e chuva
Resíduos de Solos Contaminados	Contentor de polipropileno 800 l

A título de exemplo mostram-se na tabela seguinte os resíduos de obra transportados e encaminhados a destino adequado, durante o mês de Outubro.

Quadro 5.3 – Resíduos transportados, resultantes das actividades de obra (COBA, 2007)

Resíduo	Quantitativos estimados (m³)	Empresa
Madeira	20	
Ferro e Aço	20	Riberlau
Resíduos de Construção e Demolição não Contaminados	15	
Embalagens de papel/cartão	10	RGT
Embalagens contaminadas	2	RGT
Absorventes Contaminados	1	RGT

### Resíduos resultantes das actividades de estaleiro

-Resíduos Sólidos Urbanos (RSU's) e Recicláveis

Os restantes resíduos (RSU's e recicláveis) produzidos no estaleiro de obra encontram-se em contentores específicos para cada tipo de resíduos:

- Existe um ECOPONTO na proximidade do refeitório da obra onde se encontram contentores de 200 l para armazenamento dos RSU's e recicláveis;
- Existem ainda contentores de 800 l, na zona do parque de resíduos, para armazenamento dos resíduos provenientes do ECOPONTO de forma a optimizar as operações de transporte destes resíduos a destino final adequado.

Resíduo	Meio de Contentorização / Armazenamento	
Papel/Cartão	1 Contentor polipropileno de 2001 e 1 Contentor polipropileno de	
1	800l (cor azul)	
Plásticos	1 Contentor polipropileno de 2001 e 1 Contentor polipropileno de	
	8001 (cor amarela)	
Vidro	1 Contentor polipropileno de 2001 e 1 Contentor polipropileno de	
Vidio	800l (cor verde)	
Lixo Normal Não	1 Contentor polipropileno de 2001 (cor castanha)	
reciclável		

Quadro 5.4 – Resíduos contaminados resultantes das actividades de estaleiro (COBA, 2007)

A título de exemplo mostram-se na tabela seguinte os resíduos resultantes das actividades de estaleiro transportados e encaminhados a destino adequado (para a AMARSUL), durante o mês de Outubro.

Quadro 5.5 – Resíduos transportados, resultantes das actividades de estaleiro (COBA, 2007)

Resíduo	Quantitativos (kg)
Papel/Cartão	60
Plásticos	30
Vidro	120

### -Águas Residuais

Relativamente às águas residuais em obra existem WC químicas, cujos depósitos são recolhidos periodicamente por empresa especializada.

### 5.2 Acompanhamento ambiental da construção do Aeroporto de Beja

### 5.2.1 Descrição do projecto

O futuro Aeroporto de Beja irá localizar-se junto à actual Base Aérea n.º11 (BA11), a Oeste da pista, entre esta e a estrada EM 528-2 que faz a ligação entre Beja e as povoações de S. Brissos e Trigaches. O Empreendimento é considerado como uma beneficiação da Base existente, dado que com ela irá partilhar diversos equipamentos e infra-estruturas, nomeadamente a pista. (COBA, 2007a)

O futuro Aeroporto, quando totalmente concluído, distribuir-se-á por uma área de aproximadamente 111 ha. O Empreendimento terá uma construção faseada, estando destinados à 1ª Fase do Aeroporto cerca de 23 ha.

Salienta-se ainda que, da área total a intervencionar, apenas cerca de 50% será impermeabilizada, sendo a remanescente considerada como zona verde enquadramento e integração paisagística.

- O Planeamento do Lado de Terra de um aeroporto compreende em geral o estudo dos seguintes equipamentos e infra-estruturas de apoio:
- Terminal de passageiros
- Terminal de carga;
- Arruamentos e parques de estacionamento;
- Acessos ao aeroporto.

Já as grandes alterações previstas a introduzir no Lado do Ar do futuro Aeroporto de Beja, consistem na construção de uma nova placa de estacionamento para a aviação civil, do lado Oeste da pista, e na construção e beneficiação de caminhos de circulação de ligação entre a placa e a pista.

Mencionam-se como projectos complementares, aqueles que de uma forma ou de outra se irão realizar em função do Empreendimento em análise, estando assim directamente relacionados com a concretização do Aeroporto de Beja, nomeadamente:

- Construção da Estação de Tratamento de Água Residuais (ETAR);
- Construção do Nó da Chaminé/S. Brissos (Estudo Prévio do IP 8) na actual EN 121;
- Beneficiação da actual EM 528-2, a qual será alargada para 10 m e modificado o seu perfil transversal tipo em cerca de 1 km, ficando com características de via urbana ladeada por passeios ou por lugares de estacionamento para automóveis;

Por último, destacam-se as características principais relativas aos seguintes os aspectos relacionados com o Empreendimento:

- Não se regista a presença de áreas sensíveis;
- Servidões e restrições de utilidade pública de entre as servidões e restrições de utilidade pública presentes na área de enquadramento do futuro Aeroporto, destaca-se a presença se solos classificados ao abrigo do regime da Reserva Agrícola Nacional (RAN);
- Materiais produzidos os materiais utilizados e produzidos estarão essencialmente associados às acções de escavação e aterro da área a ser intervencionada;
- Efluentes, resíduos e emissões previstas na fase de construção serão induzidas emissões de poluentes atmosféricos, em especial poeiras, devido às movimentações de terras e operações de maquinaria pesada e de veículos de transporte, além das centrais de betão. Serão também gerados resíduos típicos da existência de operações de estaleiro (efluentes domésticos, poeiras, resíduos sólidos entulhos, resíduos de escritório, etc.).
- Fontes de produção e níveis de ruído e vibrações na fase de construção perspectiva-se a produção de ruído e vibrações, quer com origem na maquinaria afecta às obras, nomeadamente nas acções de escavação e compactação da placa de estacionamento, quer pela necessidade de, eventualmente, se recorrer à utilização de explosivos para as acções de desmonte de rocha mais sã.

### 5.2.2 Acompanhamento ambiental

A presente descrição, refere-se ao período de acompanhamento ambiental compreendido entre os meses de Março e Agosto de 2007. Este acompanhamento contemplou a fase de obra e visou, de uma forma genérica, a verificação da implementação das medidas de minimização indicadas no EIA e mais concretamente as determinadas pela DIA bem como o apoio técnico na área ambiental. Este acompanhamento ambiental permitiu, também, a identificação e a adopção em tempo útil de medidas minimizadoras adicionais e a reformulação das medidas preconizadas. (COBA, 2007a)

Na fase de construção do futuro Aeroporto de Beja, de um modo geral os impactos negativos estão directamente relacionados com as obras, e devem-se essencialmente a:

- Alterações na forma do relevo devida ao movimento de terras (escavações e aterros);
- Alterações na paisagem;
- À afectação de solos de elevada capacidade de uso e integrados na Reserva Agrícola Nacional, os quais assumem carácter permanente, tendo sido classificados como significativos;

Para além dos impactos mencionados, poderão ainda ocorrer, na fase de construção os seguintes impactos negativos:

- Eventual contaminação dos solos e das águas por derrame acidental de substâncias poluentes;
- Emissão de poluentes para a atmosfera, dispersão de poeiras e aumento dos níveis de ruído resultantes da movimentação de terras e de maquinaria afecta às obras. Contudo, a reduzida ocupação populacional na sua envolvente e a constatação de que a maioria das intervenções associadas à obra se circunscreve à área do futuro Aeroporto, serão minimizados de forma muito significativa os impactos que habitualmente lhe estão associados, nomeadamente no que respeita à degradação das condições de habitabilidade;
- Alteração de reduzida expressão, ao nível da paisagem e da ocupação do solo.

Assim, de modo geral, entre os aspectos ambientais a merecer análise mais cuidada, encontram-se as questões associadas:

- À incomodidade que poderá ser causada pelas actividades construtivas, sobretudo ao nível das acessibilidades e da deterioração da qualidade do ar, para as populações das áreas envolventes;
- À eventual necessidade de utilizar explosivos para proceder ao desmonte da área de empréstimo, que se situa dentro do perímetro do futuro Aeroporto;
- Verificação das zonas de empréstimo e depósito de materiais bem como gestão de resíduos de obra.

O acompanhamento ambiental foi feito de forma contínua, sendo apresentado um "ponto da situação", mensalmente.

### Março/Abril/Maio

Durante este período as actividades construtivas desenvolvidas foram as seguintes:

- Terraplenagens: decapagem, escavações e aterros;
- Montagem do estaleiro de apoio à obra;
- Abertura de acessos na obra:

Tal como no exemplo anterior, foram ministradas, nos mesmos moldes e ao longo de toda a duração da empreitada, acções de formação e sensibilização ambiental.

Nesta fase foram implementadas medidas que promovessem a limpeza e arrumação do estaleiro. Procedeu-se também à construção de bacias de retenção para lavagem das caleiras das auto-betoneiras. Foi solicitado, aos serviços competentes, um Ecoponto para separação de resíduos de estaleiro. Foi também solicitada a existência de um contentor (cerca de 120 l) para depósito de terras contaminadas provenientes de eventuais pequenos derrames que pudessem ocorrer no estaleiro ou nas frentes de obra, como resultado da operação com maquinaria

Uma vez que se constatou a localização de pargas de terra vegetal junto a linhas de água e a existência nalgumas pargas de mistura de terra vegetal com terra não vegetal, foi solicitado pela equipa de Acompanhamento Ambiental, ao empreiteiro, a correcção destas irregularidades. Por outro lado a preparação de betão foi feita em local impermeabilizado.

Uma vez que se verificou que a utilização da água de duas lagoas próximas, contribuiria para a diminuição dos custos e impactos ambientais decorrentes do transporte e utilização, pediu-se à EMAS (Empresa Municipal de Água e Saneamento de Beja), a análise das mesmas. Constatou-se que apenas a água proveniente de uma das lagoas garantia as propriedades necessárias para a sua utilização em argamassas. No entanto, apresentou valores microbiológicos acima dos limites legais permitidos. Deste modo, foi solicitado o estudo de uma solução para resolver esta situação, que poderia, à partida passar por uma desinfecção efectuada no reservatório antes da distribuição.

Foi implementado pela EMAS uma primeira campanha de monitorização de recursos subterrâneos, com recurso a 11 piezómetros instalados ao longo da área de implantação, com o objectivo de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos, que nesta área correspondem a utilização para consumo humano e rega

Verificou-se foram excedidos os limites legais para crómio, óleos e gorduras, chumbo e de ferro. Será acompanhada a evolução da situação com as campanhas seguintes de monitorização dos recursos hídricos subterrâneos de forma a avaliar eventuais alterações de qualidade que possam eventualmente estar relacionadas com as actividades da obra do Aeroporto de Beja.



Fotografia 5.8 – Construção de bacia de retenção para lavagem das caleiras das autobetoneiras (COBA, 2007)

Os resíduos gerados pelas actividades de decapagem/desmatação executadas em obra foram temporariamente armazenados no local da obra.

Relativamente às águas residuais em obra existe uma fossa estanque no estaleiro, cujos depósitos são recolhidos periodicamente por empresa especializada.



Fotografia 5.9 – Fossa de armazenamento das águas residuais do estaleiro (COBA, 2007)

Foi também implementado um Sistema de Lavagem de Rodados (SLR).

### Junho/Julho/Agosto

Durante estes meses as acções em obra foram as seguintes:

- Continuação das actividades de terraplenagens: desmatação, decapagem, escavações e aterros;
- Continuação da abertura de acessos na obra;
- Desvio da estrada EM 528-2;
- Abertura de valas.

Foi criada uma área delimitada para resíduos de betão e de madeira e uma zona delimitada impermeabilizada para resíduos de betão e de construção e demolição não contaminados, além de uma área delimitada impermeabilizada para resíduos de madeira.

A entidade executante colocou também no estaleiro contentores para diferentes resíduos:

- Um contentor com cerca de 6 m³ para Mistura de embalagens;
- Um contentor de 200 l para embalagens contaminadas;
- Um contentor com cerca de 200 l para absorventes contaminados.



Fotografia 5.10 – Zona delimitada impermeabilizada para resíduos de betão (COBA, 2007)

Foram aqui mencionadas, algumas das medidas implementadas nas etapas iniciais da obra. As medidas a desenvolver nas etapas seguintes da 1ªfase de construção do Aeroporto de Beja encontram-se devidamente descriminadas no Anexo I.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Conceitos como "preservação da natureza", "mudanças climáticas", "aquecimento global" ou "efeito de estufa", fazem parte, cada vez mais, do vocabulário da sociedade actual, em particular nos países desenvolvidos. Embora as agressões ao meio ambiente sejam reconhecidas por todos, as dificuldades em atingir um consenso global são preocupantes, na medida em que são os países mais agressores que se negam a ser os signatários dos acordos propostos, a Agenda 21 e o Protocolo de Quioto. Na verdade, tudo isto acontece, porque as preocupações económicas se sobrepõem às sociais e ambientais. É urgente caminhar no sentido do desenvolvimento sustentável, em todas as suas dimensões.

No caso do betão, são vários os factores que pesam no seu desempenho ambiental: o consumo de recursos naturais, a durabilidade, a possibilidade de reciclagem e reutilização e a incorporação de resíduos industriais no seu fabrico, entre outros.

O consumo de recursos naturais é um dos mais importantes. No seu fabrico e aplicação são utilizadas grandes quantidades de água, cimento, agregados, aço para armaduras e outros materiais em menores quantidades. Consequentemente, é de primordial importância que seja feita uma gestão eficaz destes recursos. O uso da água deve ser optimizado, evitando desperdícios, por exemplo através da utilização de água reciclada para a lavagem de equipamentos. Por outro lado, devem ser utilizadas as mais recentes tecnologias associadas ao fabrico do cimento, de forma a aumentar a produção e diminuir o consumo energético e emissão de poluentes. A reciclagem, através da utilização de combustíveis alternativos no fabrico do cimento, recorrendo à co-combustão de resíduos e combustíveis fósseis, é cada vez mais adoptada pela indústria do cimento, permitindo diminuir grandemente os impactos ambientais. Os agregados tradicionais, cujo custo ambiental advém da sua produção e transporte, podem ser substituídos por materiais alternativos, resultantes também da reciclagem.

A durabilidade do betão influencia de forma acentuada, o seu desempenho ambiental, isto porque, quanto maior for a vida útil, menores serão os consumos energéticos e a quantidade de resíduos produzidos. Por outro lado, a produção e o transporte originam, de forma directa, substanciais impactos ambientais, nomeadamente ao nível dos gases libertados aquando do consumo de energia eléctrica e combustíveis fósseis, a acumulação de detritos sólidos, ruído e poeiras.

Também na fase de execução, durante a betonagem, têm lugar a acumulação de resíduos sólidos, o gasto de combustíveis fósseis e de energia eléctrica, que originam a poluição do ar e o aquecimento global.

Em comparação com outros materiais, o betão é bastante equilibrado do ponto de vista ambiental. Assim, se por um lado a madeira e o aço têm maior capacidade de reutilização e reciclagem, o betão tem excelentes características de durabilidade, resistência ao fogo e aos agentes biológicos e climatéricos, sem tratamentos superficiais. Além disso, as matérias-primas constituintes das estruturas de betão são bastante mais abundantes e disponíveis no nosso país. A energia incorporada no betão, apesar de superior à da madeira, é muito inferior à correspondente do aço.

Apesar da gestão dos RCD em Portugal estar ainda numa fase embrionária, existe um Decreto-Lei que regulamenta esta actividade, criando as condições legais para a prevenção da produção e da perigosidade, o recurso à triagem na origem, à reciclagem e a outras formas de valorização, com consequente diminuição dos quantitativos depositados em aterro.

A reciclagem e reutilização dos resíduos no fabrico do betão permitem a redução do consumo de matérias-primas não renováveis, das áreas necessárias para aterro, do consumo de energia durante o processo produtivo e da poluição, possibilitando simultaneamente aumentar a disponibilidade de produtos no mercado consumidor.

Os novos betões, ao integrarem subprodutos da actividade industrial, permitem não só beneficiar das vantagens anteriormente referidas mas também reduzir o consumo de cimento Portland, cujo fabrico é de grande agressividade para o ambiente.

O acompanhamento e gestão de resíduos em obra, a que se procedeu nos exemplos apresentados, são de extrema importância na minimização dos impactos ambientais. Assim, o correcto controlo dos elementos nocivos e separação dos elementos recicláveis é um passo fundamental para a reutilização dos RCD e em particular do betão, com todas as implicações ambientais que daí advêm.

Em Portugal é necessário por em prática medidas urgentes no domínio da sustentabilidade na construção de estruturas de betão. A sensibilização dos vários intervenientes do processo é, neste âmbito, uma medida fundamental. Por outro lado é necessário um maior rigor na fiscalização ao nível da extracção e tratamento das matérias-primas.

O presente trabalho é apenas uma das abordagens possíveis ao tema da sustentabilidade nas estruturas de betão. De, facto, apesar da especificidade do assunto, muito ainda há a fazer na caracterização das suas várias facetas, nomeadamente no que diz respeito à descrição mais alargada e comparação do desempenho ambiental dos novos betões ou ao aprofundamento do estudo do impacto ambiental, de técnicas construtivas em betão.

### **REFERÊNCIAS**

- Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira (AREAM) (2001), "Medidas para a Correcção das Disfunções Ambientais da Indústria da RAM". AREAM, Funchal.
- Almeida, E. (2005). "Tecnologia do Betão Adjuvantes Para Betão". Universidade do Algarve, Faro.
- Ângulo, S., Zordan, S. e John, V. (2001). "Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil". Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil.
- Appleton, J. (2005). "Construção em Betão Nota Histórica Sobre a Sua Evolução". IST, Lisboa.
- Ashby, M. e David R. (1992). "Engineering Materials 2". Pergamon Press, Oxford.
- Associação das Empresas de Construção e Obras Públicas (AECOPS) (2007), "Novo betão nasce dos RCD". http://www.aecops.pt. AECOPS (página internet oficial).
- Associação das Indústrias de Madeira e Mobiliário de Portugal (AIMMP) (2007), "Introdução à Prevenção de Resíduos na Indústria de Madeira e Mobiliário". AIMMP, Leiria.
- Associação Portuguesa de Betão Pronto (APEB), (2001). "Betão Pronto, a Opção Natural". APEB, Lisboa.
- Associação Portuguesa de Betão Pronto (APEB), (2003). "Guia do Ambiente para a Indústria de Betão Pronto". APEB, Lisboa.
- Berge, B. (2000). "Ecology of Building Materials". Architectural Press, England.
- Brito, J. (2006). "A Reciclagem de Resíduos da Construção e Demolição". Instituto Superior Técnico (IST), Lisboa.
- Camões, A. (2005). "Betões de Elevado Desempenho com Elevado Volume de Cinzas Volantes". Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães.

- Camões, A. (2002). "Betões de elevado desempenho com incorporação de cinzas volantes". Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães.
- Carvalho, M. (2007). "Stepwise EPD A Declaração Ambiental do Produto e o Betão Pronto". Betão Revista da Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto, nº18, Págs.19-24.
- COBA Consultores de Engenharia e Ambiente, S.A. (2007). "Plano de Acompanhamento Ambiental do Futuro Aeroporto de Beja". COBA, Lisboa.
- COBA Consultores de Engenharia e Ambiente, S.A. (2007). "Relatório de Acompanhamento Ambiental Supervisão e Acompanhamento Ambiental da Empreitada da Subestação de Trafaria". COBA, Lisboa.
- COBA Consultores de Engenharia e Ambiente, S.A. (2006). "Plano de Acompanhamento Ambiental da Subestação da Trafaria". COBA, Lisboa.
- Coutinho, J. (1998). Textos Base da Disciplina de Construção com Novos Materiais. Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Porto, Porto.
- Do Ó, A. e Monteiro, J. (2005). "Estimação Da Procura Real De Água No Algarve Por Sectores". e-GEO Centro de Estudos de Geografia e Planeamento Regional, Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente, Universidade do Algarve, Faro.
- Fédération Internationale du Béton (FIB), (2004). "Environmental Design". Bulletin 23, Lausanne, Switzerland.
- Fédération Internationale du Béton (FIB), (2003). "Environmental Effects of Concrete". Bulletin 28, Lausanne, Switzerland.
- Ferreira, C. (1989). "Betão A Idade da Descoberta", Passado Presente, Lisboa.
- Ferreira, R. (2000). "Avaliação de Ensaios de Durabilidade do Betão". Dissertação apresentada à Escola de Engenharia do Minho para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Guimarães.
- Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), (2006). "Betão Dimensionado Para Melhorar o Desempenho nas Primeiras Idades e a Durabilidade. Caracterização da Escala Nano à Macro". FEUP, Porto.

- Gervásio, H (2006). "A Sustentabilidade do Aço e das Estruturas Metálicas". Feira da Concreta, Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista (CMM), Porto.
- Gervásio, H e Silva, L. (2005). "A Sustentabilidade do Aço". V Congresso de Construção Metálica e Mista, Lisboa.
- Gunther, W (2000). "Minimização de Resíduos e Educação Ambiental". Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública, Curitiba.
- Henriques, M. (2002). "Sistemas Estruturais em Madeira Lamelada Colada". Conferência Científica e Tecnológica em Engenharia "O Saber do Passado e o Desafio do Futuro", Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), Lisboa.
- Hooker, R. (1996). "The Iron Age, South of the Sahara". Washington State University, Washington.
- Inspecção-Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território (IGAOT) (2004). "Resíduos de Construção e Demolição". Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa.
- Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) (1976). "Construção Industrializada de Madeira". LNEC, Lisboa.
- Machado, J. (2004). " Produtos de Madeira Maciça para a Construção Desafios da Qualidade". Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), EFN, Lisboa.
- Malhotra, V. e Mehta, P. (2002). "High Performance, High Volume Fly Ash Concrete: Materials, Mixture Proportioning, Properties, Construction Practice, and Case Histories". CANMET, Ottawa, Canada.
- Mehta, P. (1999). "Concrete Technology for Suitable Development". Concrete International pp. 47-53.
- Mateus, R. e Bragança, L. (2006). "Tecnologias Construtivas Para a Sustentabilidade da Construção". Prometeu, Porto.

- Mateus, R. (2004). "Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção". Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Guimarães.
- Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional (MAOTDR) (2008). http://www.portugal.gov.pt. Governo da República Portuguesa (página internet oficial), Lisboa.
- NossoPortugal (2008). http://www.nossoportugal.com. NossoPortugal (página internet oficial).
- Pereira, L., Aguiar, B. e Jalali, S. (2004). "Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição". Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães.
- Pereira, L., Aguiar, B. e Jalali, S. (2004). "Viabilidade Económica de uma Central de Tratamento de Resíduos de Construção e Demolição". Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães.
- PERI (2008). http://www.peri.pt. PERI (página internet oficial).
- Petrucci, E. (1998). "Concreto de Cimento Portland". Globo, São Paulo.
- Peyroteo, A., Carvalho, C. e Jalali, S. (2005). "Avaliação Ambiental Comparativa de Estruturas Metálicas e de Estruturas de Betão Armado". SIABE 05 Simpósio Ibero-Americano "O Betão nas Estruturas", Departamento de Engenharia Civil da Faculdade e Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Rede Eléctrica Nacional (REN) (2004). "Especificação Técnica Geral Para a Gestão de Resíduos Industriais em Obras da REN (ET 003)". REN, Lisboa.
- Scotto, G., Carvalho, I. e Guimarães, L. (2007). "Desenvolvimento Sustentável". Vozes, Petrópolis.
- SECIL (2008). http://www.secil.pt. SECIL (página internet oficial), Lisboa.
- Soporcel (2005). "Relatório de Sustentabilidade 2005". Broadway, Lisboa.
- Stanley, C. (1982). "Highlights in the History of Concrete". C&CA.

Taylor, H. (1990). "Cement Chemistry". Academic Press, London.

TTerra (2008). http://www.tterra.pt. TTerra (página internet oficial), Lisboa.

Vieira, J. (2006). "Sustentabilidade - Durabilidade dos principais materiais utilizados nos vãos envidraçados: Madeira, PVC e Alumínio". Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Porto, Portugal.

União Progressiva de Chão Sobral (UPCS) (2008). www.chaosobral.org. UPCS (página internet oficial)

Urbanismo & Construção (2006). "Betão com Cinza de Casca de Arroz.". Artigo da revista Urbanismo & Construção, Portugal.

Viseu, J. (1993). "História do Betão Armado em Portugal". Atic, Lisboa.

Zordan, S. (2001). "Entulho da Indústria da Construção Civil". Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo - Brasil.

# Anexo I- Aeroporto de Beja - Medidas de Minimização do Impacto Ambiental

DESCRITOR AMBIENTAL	MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO
·	Fase de Projecto
	<ol> <li>Antes do inicio dos trabalhos contactar as entidades gestoras de infra-estruturas existentes no local de modo a que estas possam prever e definir atempadamente as intervenções adequadas, sem comprometer os respectivos serviços prestadoss populações, e simultaneamente contemplem os reforços ou alterações capazes de satisfazer as futuras necessidades do projecto e residentes.</li> </ol>
	<ol> <li>Deve ser previamente aprovado, pelas entidades competentes a alteração da configuração da EM 528-2.</li> </ol>
	<ol> <li>Os materiais de empréstimo devem ser preferencialmente obtidos na área de empréstimo a criar nos 2° e 3° terços das novas áreas operacionais, situadas dentro do Perímetro do Futuro Aeroporto de Beja.</li> </ol>
	<ol> <li>Definir criteriosamente os locais de empréstimo e depósito de materiais e estaleiro, que deverão utilizar áreas mínimas necessárias ao normal desenvolvimento das acções que neles vão decorrer, devendo estas ser devidamente delimitadas.</li> </ol>
	<ol> <li>O estaleiro deve ser instalado na área correspondente á zona de expansão das novas áreas operacionais (Lado do Ar), e adjacente á área de empréstimo.</li> </ol>
	6. Proceder modelação dos taludes de aterros e escavação, visando quando possível uma certa continuidade com o terreno natural.
	<ol> <li>Rever o Projecto de Integração Paisagística (PIP) para a área abrangida pelo empreendimento bem como para todas as áreas de estaleiro e de empréstimo e depósito afectas à obra.</li> </ol>
	<ol> <li>0 PIP deve adoptar soluções mitigados específicas para as seguintes situações consideradas desde já como mais críticas em termos de impactes visuais:</li> </ol>
Fase de Projecto	<ul> <li>Parques de estacionamento:</li> <li>estudar as melhores opções em termos de tipo de materiais de revestimento e de espécie</li> </ul>
	vegetais a utilizar;
	<ul> <li>evitar a criação de múltiplas zonas verdes regadas e com exóticas que possam destoa negativamente;</li> </ul>
	<ul> <li>privilegiar a criação de superfícies revestidas á base de materiais da região, evitando utilização de um pavimento único e impermeabilizaste.</li> </ul>
	<ul> <li>Construções de grande extensão</li> <li>estudar soluções que reduzam, em termos de percepção humana, a escala dos edifício (alçados e coberturas) com área de implantação significativa, como seja o Terminal d Carga;</li> </ul>
	<ul> <li>evitar o recurso de materiais causadores de impacte visual significativo, nomeadament fachadas espelhadas;</li> <li>Considerar soluções de reflectância e cromáticas de todas as fachadas dos novos edificios</li> </ul>
	por forma a adoptar os que melhor se enquadram na paisagem envolvente, tendo er consideração a elevada exposição solar e a localização dos principais observadores.  Zonas verdes:
	<ul> <li>salvaguardar que as novas zonas verdes não constituam situações de ruptura no tipo d organização e leitura do território e da paisagem.</li> </ul>
	<ul> <li>Criação de uma situação de "Ilha"</li> <li>assegurar desde logo, mediante a realização de perfis tipo, boas ligações topográficas com o espaços adjacentes de forma a conseguir, sempre que possível, uma continuidade com paisagem e geomorfologia natural.</li> </ul>
Fase de Projecto	As espécies vegetais a utilizar no PIP devem estar seleccionadas de acordo com as característica edafoclimáticas da zona e respectiva formação climática.
	<ol> <li>0 PIP a implementar deve contemplar a reabilitação/integração das zonas sujeitas á instalação d estaleiros, empréstimo e depósito de materiais sobrastes, acessos ás diferentes frentes de obra.</li> </ol>
Medidas gerais	11. Deve evitar-se a utilização de zonas sensíveis, quer ao nível dos factores ecológicos quer ao nível do factores antrópicos, para localização dos estaleiros e das áreas de manutenção geral dos veículo afectos ás obras, assim como para acondicionamento de materiais de construção, em especial d explosivos.
	12. Garantir que os locais em construção e de apoio á obra ficarão confinados á área previamente definid
	em projecto, evitando a destruição das áreas marginais e próximas.  13. As operações de manutenção da maquinaria a empregar na fase de construção deverão ser realizada
	em local apropriado e impermeabilizado, a definir no interior da zona de intervenção.
	14. Os resíduos resultantes dessas operações deverão ser armazenados em contentores estanques, comforma de limitar a probabilidade de ocorrência de potenciais impactes decorrentes de descarga
	acidentais de hidrocarbonetos e, posteriormente, enviados a destino final adequado, privilegiando-se

DESCRITOR	MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO
AMBIENTAL	sua reciclagem,.
	15. Deverá proceder-se á recolha adequada dos óleos usados nos veículos e máquinas utilizados nos trabalhos e á instalação de um sistema adequado de tratamento das águas residuais do estaleiro.
	16. A movimentação de terras deve realizar-se preferencialmente de Majo a Setembro, por forma a minimizar a erosão e o transporte sólido.
	17. A decapagem da terra vegetal também deve ser efectuada na área de empréstimo de materiais.
	18. A terra vegetal resultante da decapagem do terreno deve ser armazenada em pargas para posterior utilização no recobrimento dos taludes e recuperação paisagística.
	19. As pargas devem ter secção trapezoidal, com altura média de 2 m e coroamento côncavo de 0,3 m de largura, para permitir uma boa infiltração de água e minorar a compactação do solo e permitir um suficiente arejamento.
	20. Deve-se semear com uma mistura de tremoço ou tremocilha e centeio no Outono, ou com abóboras, na Primavera, as zonas de depósito da terra viva, de modo a conservar a terra emsombrada e fresca e evitar o aparecimento de infestantes.
	21. 0 material excedentário, bem como o proveniente da decapagem que não apresente características que possibilitem a sua reutilização deverá ser transportado a destino final adequado.
	22. Na fase de escavação, os materiais a levar a depósito devem ser armazenados de forma a que os taludes não excedam a inclinação de 2H:1V, e a altura dos depósitos não exceda os 2m.
	<ul> <li>Os veículos e equipamentos afectos á obra não devem circular além das áreas estritamente necessárias.</li> <li>Evitar o derramamento de combustíveis e óleos e outros produtos perigosos, através da implementação de boas práticas de manuseamento e armazenagem destes produtos.</li> </ul>
	25. Deve ser realizada a limpeza das linhas de água em caso de obstrução total ou parcial.
Medidas gerais	26. Efectuar regas periódicas e/ou aspersão hídrica, muito particularmente nos meses de menor precipitação, nos percursos da obra e locais onde a emissão e ressuspensão de poeiras seja mais significativa.
	27. Implementar uma correcta gestão e manuseamento dos resíduos e efluentes produzidos e associados á obra, nomeadamente óleos e combustíveis, resíduos sólidos e águas residuais, através da sua recolha e condução a depósito/destino final apropriado, reduzindo, assim, a possibilidade de ocorrência de acidentes e contaminações.
	28. Os locais de armazenagem de combustíveis, lubrificantes, óleos usados, e outros produtos perigosos, devem possuir bacia de retenção de modo a evitar, a contaminação do solo ou água;
	29. Os resíduos produzidos (sucata, baterias, cabos, pneus, óleos usados, beto e outros) devem ser armazenados, enquanto aguardam transporte para destino final, em local devidamente impermeabilizado e possuir sistema de retenção de escorrências de modo a impedir a contaminação do solo ou água;
	30. Deverá ser efectuada uma correcta gesto dos resíduos sólidos urbanos produzidos na área social do estaleiro. É expressamente proibida a sua queima ou enterramento;
	31. Deverá ser colocada sinalética de proibição de queima de resíduos em toda a obra e efectuada a respectiva sensibilização dos trabalhadores afectos á obra.
	32. Os resíduos produzidos devem ser transportados para destino final adequado por uma empresa ou entidade devidamente autorizada para a sua gestão, devendo o seu transporte ser efectuado acompanhado da Guja de Acompanhamento de Resíduos (Mod. 1428 da INCM).
	33. No final da obra, deve ser enviado á CCDR-Alentejo uma listagem onde constem os resíduos produzidos, indicando a origem, quantidades e destino final. Esse registo deverá conter ainda, cópias de todas as guias de acompanhamento de resíduos efectuadas.
	34. As águas pluviais, reunidas numa rede de drenagem com descarga nas linhas de água inscritas na área de intervenção, além da separação de hidrocarbonetos prevista devem ser sujeitas a um tratamento complementar a definir em sede de licenciamento.
	35. Alternativamente á descarga destas águas, deverá ser equacionada a criação de reservatórios de água (lagos, charcas, pequenas barragens), com vista a minimizar os efeitos negativos de agentes poluentes arrastado com este tipo de água e simultaneamente constituir uma reserva disponível para situações de rega, incêndio, lavagens e outras utilizações compatíveis.
	36. As águas residuais da área de intervenção produzidas na fase de construção devem ser sujeitas a tratamento adequado, e as da fase de exploração do futuro aeroporto, deverão ser submetidas a tratamento terciário com desinfecção.
	37. As águas residuais na sua globalidade devem ser encaminhadas para uma ETAR única, nomeadamente as águas residuais domésticas, as de industrias ligeiras (oficinas), de cozinhas, refeitórios e restaurantes, e também as águas provenientes de separadores de hidrocarbonetos associados a futuras oficinas de manutenção.

DESCRITOR AMBIENTAL	MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO
	38. Caso venham a ser instaladas no local actividades geradoras de águas residuais com uma composição diferentes das agora identificadas, devem as descargas das mesmas ser sujeitas a licenciamento prévio pela CCDR.
Medidas gerais	<ul> <li>39. Devem ser obtidos os licenciamento necessários á utilização do domínio hídrico, ao abrigo do Decreto-Lei nº 46/94, de 22 de Fevereiro.</li> <li>40. Deverá ser prevista uma área impermeabilizada e coberta destinada á execução das operações de</li> </ul>
	abastecimento de combustível e manutenção de equipamento.  41. No caso de ocorrer um derrame de óleos ou combustíveis, , ou outros produtos perigosos, (tanto nas
	operações de manuseamento como de armazenagem ou transporte), o responsável deverá providenciar a limpeza imediata da zona, podendo recorrer á utilização de produtos absorventes.  42. Os produtos derramados e/ou utilizados para a recolha dos derrames deverão ser tratados como
	resíduos.  43. Deverão ser criados locais específicos para a lavagem das caleiras dos camiões-betoneira ou das autobetoneiras. Estes locais deverão ser saneados regularmente, de acordo com a frequência de
Geologia e Geomorfologia	descarga de águas de lavagem de betão.  44. O eventual recurso ao desmonte a fogo deverá ser particularmente cuidadoso, por forma a não danificar o maciço para além da zona de escavação.
	45. Promover o revestimento rápido dos taludes com espécies adequadas, de modo a minimizar efeitos de ravinamento.
	46. Os taludes de escavação e de aterro deverão possuir inclinações e geometrias adequadas ao cenário geotécnico existente.
Solos	47. implementação de um projecto adequado de recuperação e enquadramento paisagístico, recorrendo ás espécies vegetais autóctones locais e que restabeleça o equilíbrio da área envolvente ao Aeroporto, das áreas de estaleiro e de empréstimo de materiais, tão cedo quanto possível.
	48. Após a desocupação dos locais de estaleiro e de depósito temporário das terras provenientes de decapagem, promover a reposição destas áreas em condições equivalentes ás iniciais, por meio de medidas de descompactação e arejamento dos solos e/ou cobertura com terra arável.
	49. Assegurar que, no final da obra, os solos das áreas ocupadas parques de sucata, parques de máquinas, vias e acessos provisórios são revolvidos, de forma a promover a sua descompactação e o seu arejamento, e a reconstituir, na medida do possível, a sua estrutura e equilíbrio.
Paisagem e Ocupação do Solo	50. Deve ser garantido desde muito cedo o revestimento vegetal adequado dos taludes de aterro.
	51. No final da obra, os solos das áreas ocupadas por estaleiros, vias e acessos provisórios devem ser revolvidos, de forma a promover a sua descompactação e o seu arejamento, e a reconstituir, na medida do possível, a sua estrutura e equilíbrio.
	52. Implementar as diversas medidas definidas em Projecto para as zonas de estaleiro, de empréstimo e de depósito de materiais, por forma a estabelecer atempadamente a integração paisagística destes espaços.
Paisagem e Ocupação do Solo	53. Considerar soluções de reflectância e cromáticas de todas as fachadas dos novos edificios, por forma a adoptar os que melhor se enquadram na paisagem envolvente, tendo em consideração a elevada exposição solar e a localização dos principais observadores.
	54. Assegurar que serão utilizadas preferencialmente as espécies arbóreas e arbustivas características da região e contempladas nos Planos de Plantação do PIP, devendo a vegetação a utilizar estar de acordo com o disposto no Decreto-Lei n.º 565/99 de 21 de Dezembro, que regulamenta a introdução de espécies não indígenas da flora e da fauna.
Recursos Hídricos e Qualidade da Água	55. Estabelecer uma rede de piezómetros na zona envolvente do projecto a fim de controlar a evolução da qualidade e quantidade das águas subterrâneas.
	56. 0 material resultante das acções de escavação que tenha vestígios de contaminação deverá ser armazenado em local que não permita a contaminação dos aquíferos através da escorrência devida á precipitação.
	57. Os resíduos de matéria vegetal deverão ser preferencialmente reutilizados impedindo que estes sejam enterrados ou depositados onde possam provocar a degradação da qualidade da água.
	58. Durante a fase de construção deverá realizar-se uma adequada drenagem no limite da zona de intervenção, de foram a desviar dessa zona o escoamento natural, minimizando assim o arraste de sólidos em suspensão, a consequente erosão hídrica e uma eventual diminuição de caudais da circulação natural, em consequência da posterior deposição nos leitos das linhas de água do material sólido arrastada.
Ordenamento do Território e Áreas de	59. Restringir ao máximo a ocupação de áreas da RAN com actividades acessórias á obra, assim como estaleiros e áreas de depósito temporário de terras resultantes de decapagem e empréstimo.

DESCRITOR AMBIENTAL	MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO
Uso Condicionado	60. As áreas da RAN não devem ser ocupadas pelos circuitos provisórios para circulação de veículos pesados afectos obra, para além do estritamente necessário.
	61. Deverá assegurar-se a desactivação total da área afecta á obra com a remoção de instalações, de equipamentos, de maquinaria de apoio á obra e de todo o tipo de materiais residuais da mesma.
	62. Informar as populações da área envolvente, designadamente de S. Brissos, Trigaches, Monte da Arramada da Torre, Monte da Torre e Monte do Bólor, sobre o objectivo, natureza e duração prevista das obras, tipo de desmonte praticado, nomeadamente através das Juntas de Freguesia.
	63. Definir previamente qual o interlocutor a quem as populações no caso de afectação se possam dirigir.
	64. Todas as áreas sujeitas a obras deverão ser adequadamente vedadas por forma a evitar a ocorrência de acidentes envolvendo a população.
Sócioeconomia	<ul> <li>65. Todas as zonas de obra devem ter bem visível, e em número suficiente sinalização com informação sobre:</li> <li>- a indicação do responsável pelo empreendimento;</li> <li>- identificação de interlocutor privilegiado;</li> <li>- a identificação projecto, objectivo, natureza e duração das obras e principais limitações impostas, nomeadamente no que se refere a eventuais alterações/condicionamento na circulação na EM 528-2.</li> </ul>
	66. Dever-se-á restringir o número de vias e de acessos a serem utilizados pelos veículos e máquinas afectos ás obras, no intuito de reduzir a degradação de terrenos e pavimentos, bem como os constrangimentos á circulação local.
	67. Todos os acessos aos estaleiros e aos locais dos trabalhos deverão ser mantidos limpos.
	68. Instalar um sistema de lavagem de rodados, antes da entrada na via pública.
	69. Os depósitos de lixos e de terras deverão ser cobertos, a fim de atenuar o arrastamento de poeiras pelo
	vento.
	70. Nas áreas dos trabalhos mais próximas de zonas habitadas evitar-se-ão sempre que possível as actividades mais ruidosas no período nocturno, devendo privilegiar o período diurno para a execução dos trabalhos.
	71. As vias de comunicação utilizadas na fase de construção do empreendimento deverão ser reparadas sempre que se identifique degradação das suas características directamente associado à fase de construção do empreendimento.
	72. Deverá ser dada preferencia população local nos empregos associados ás obras de construção do empreendimento em estudo.
Sócioeconomia	73. 0 reajustamento das infra-estruturas deverá ocorrer numa fase prévia á efectiva ocorrência da necessidade, por forma a evitar falhas nos sistemas de abastecimento.
	74. Restabelecer atempadamente todas as infra-estruturas interferidas ou acidentalmente afectadas durante as obras.
	75. Deverá ser limitada ao mínimo, tanto quanto possível, a interferência com a estrutura viária, quer em termos físicos quer em termos temporais.
	76. As vias com restrições de tráfego devem estar sinalizadas, antes do início das obras propriamente
	ditas, de forma a informarem os utentes das mesmas de todas as restrições e cuidados a observar, designadamente no que se refere a velocidades máximas permitidas e outras alterações que ocorrerão
	no período de duração da fase de construção.
	77. As acessibilidades a vigorar durante a obra devem ser previamente publicitadas, devendo as populações afectadas ser objecto informação adequada e atempada.
	78. Após a concluso da fase de construção, as vias rodoviárias interferidas por obras ou pela circulação de maquinaria deverão ser imediatamente recuperadas.
	79. Os trabalhos de desmatação e limpeza do terreno quer nas áreas directamente intervencionadas, quer
	para estaleiro, acessos, depósito temporário ou definitivo e área de empréstimo devem ter obrigatoriamente acompanhamento arqueológico.
	80. Todos os trabalhos de execução de terraplanagens deverão igualmente ter acompanhamento arqueológico.
Património Arqueológico	81. Na eventualidade de surgirem vestígios arqueológicos, os trabalhos devem ser de imediato suspensos, devendo o arqueólogo responsável contactar imediatamente o Instituto Português de Arqueologia, que
	definirá as medidas de minimização a adoptar.  82. 0 acompanhamento arqueológico deverá ser efectuado por um arqueólogo, por cada frente de trabalho, sempre que as acoñes inerentes á realização do projecto no sejam sequenciais mas sim simultâneas.
	sempre que as acções inerentes á realização do projecto no sejam sequenciais mas sim simultâneas.  83. Deverá realizar-se uma prospecção arqueológica da área a afectar pelo projecto, previamente a
	quaisquer trabalhos de mobilização de solo, desde que se verifiquem boas condições de visibilidade do
<u> </u>	mesmo.

(Fonte: COBA, 2007)