



**Análise Comparativa da sustentabilidade de
diferentes tipos de Betões com a
incorporação de Resíduos de Construção e
Demolição**

Paulo Miguel Sá Ferreira

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil

Orientadora: Doutora Maria Teresa Guerra Pinheiro Alves

Junho, 2011



Análise Comparativa da sustentabilidade de diferentes tipos de Betões com a incorporação de Resíduos de Construção e Demolição

Autor: Paulo Miguel Sá Ferreira

Orientadora: Doutora Maria Teresa Guerra Pinheiro Alves

"Sapere aude! Tem coragem para fazer uso da tua própria razão"
Immanuel Kant

Ao maior dos Engenheiros,
O meu avô, António Ferreira

Agradecimentos

Em primeiro lugar não poderia deixar de agradecer aos meus Pais, foram eles que contribuíram para o meu sucesso académico e realização desta dissertação, através da educação e princípios que me foram dados, bem como todo o apoio emocional, doses intermináveis de paciência e o indispensável apoio logístico e financeiro.

À minha irmã que me acolheu e mostrou esta cidade maravilhosa e respectiva Universidade de Évora, e que sempre esteve presente para me apoiar em qualquer momento incondicionalmente. E à minha família, pelo interesse e acompanhamento que sempre tiveram para com o meu percurso.

À minha orientadora, Professora Teresa Pinheiro Alves, que sempre se mostrou disponível e me ajudou, nas alturas menos fáceis de todo o percurso, até à entrega da dissertação.

À Engenheira Cândida Martins, da Câmara Municipal de Montemor-o-Novo, que prontamente se propôs a disponibilizar os dados da Unidade de Reciclagem, do projecto REAGIR.

À empresa Britobetão, na figura do Sr. Fernando Martins, pela disponibilidade e atenção que tiveram aquando das minhas solicitações, que foram depressa atendidas.

A todos os meus amigos, que se preocuparam e me deram força para a conclusão da dissertação, naqueles momentos quase impossíveis de se produzir algo. Com um especial agradecimento, aos meus companheiros de casa pela paciência e atenção, que tiveram em todas as alturas da minha vida académica, bem como o meu companheiro de trabalho em tardes intermináveis a fazer as respectivas Teses, Luís Xarepe E por fim, agradeço a todos aqueles que, mal ou bem, se cruzaram comigo e me fizeram crescer e aprender nesta boa jornada que foi a minha estadia na Universidade de Évora.

A todos o meu sincero muito obrigado.

Resumo

Esta dissertação pretendeu avaliar a sustentabilidade de diferentes betões com base na análise de uma parte do ciclo de vida de cada um dos materiais que o incorporam.

Para os diferentes tipos de betões, foram consideradas várias composições com substituição de 10%, 20%, 30% e 100% de agregados naturais britados por agregados reciclados.

O estudo em questão foi elaborado com base numa Central de Betão Pronto em Évora e numa pequena unidade de reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição (RCD's), na qual foi determinado o consumo energético e as emissões de CO₂ para as diferentes composições de betão, considerando a sua produção e transporte.

Concluiu-se que nem sempre a utilização de agregados reciclados é ambientalmente mais favorável.

Palavra-chave: Sustentabilidade, Agregados reciclados, RCD's, Energia incorporada, Emissões de CO₂

Abstract

Comparative analysis of sustainability of concrete with the incorporation of construction and demolition waste

The aim of this dissertation was to evaluate the sustainability of different types of concrete, over a certain period of their life cycle.

For each type of concrete analyzed, different compositions were considered, replacing 10%, 20%, 30% and 100% of natural crushed aggregates by recycled aggregates.

For this study, a concrete plant, based in Évora, and a small recycling CDW unit were considered, in order to quantify the Embodied Energy and Embodied Carbon for different concrete compositions, considering their production and transportation.

Results show that the use of recycled aggregates is not always a clear environmental added value.

Key-words: Sustainable, Recycled aggregates, CDW's, Embodied Energy, Embodied Carbon

Índice

| | | |
|----------|---|----|
| 1. | Introdução..... | 1 |
| 1.1. | Enquadramento geral | 1 |
| 1.2. | Objectivos | 4 |
| 1.3. | Estrutura da Dissertação..... | 5 |
| 2. | Revisão Bibliográfica | 6 |
| 2.1. | Sustentabilidade..... | 6 |
| 2.1.1. | Construção sustentável | 7 |
| 2.2. | Análise do ciclo de vida..... | 10 |
| 2.2.1. | Energia Incorporada | 13 |
| 2.2.2. | Emissões de CO ₂ | 16 |
| 2.3. | Resíduos de Construção e Demolição..... | 20 |
| 2.3.1. | Betões com Incorporação de RCD's | 22 |
| 3. | Caso de Estudo..... | 25 |
| 3.1. | Materiais..... | 26 |
| 3.1.1. | Caracterização da Unidade de Reciclagem | 26 |
| 3.1.1.1. | Equipamento da Unidade de Reciclagem | 27 |
| 3.1.1.2. | Caracterização da Pedreira..... | 29 |
| 3.1.1.3. | Equipamento da Pedreira..... | 30 |
| 3.2. | Métodos..... | 34 |
| 3.2.1. | Composições dos Betões..... | 35 |
| 3.2.2. | Transporte | 37 |
| 3.2.3. | Custos | 37 |
| 4. | Resultados obtidos..... | 39 |
| 4.1. | Composições dos betões | 39 |
| 4.2. | Transporte | 40 |
| 4.3. | Custos..... | 42 |
| 5. | Análise e discussão dos resultados | 44 |
| 5.1. | Energia Incorporada e Emissões de CO ₂ dos Betões..... | 44 |
| 5.1.1. | Betão C20/25 com 0% Cinzas Volantes..... | 45 |
| 5.1.2. | Betão C20/25 com 35% Cinzas Volantes..... | 49 |
| 5.1.3. | Betão C35/45 com 0% cinzas Volantes | 54 |
| 5.1.4. | Betão C35/45 com 35% cinzas Volantes | 58 |

| | | |
|------|---|-----|
| 5.2. | Comparação da Energia incorporado e Emissões de CO ₂ das composições | 63 |
| 5.3. | Custos dos Betões | 66 |
| 5.4. | Transporte..... | 67 |
| 5.5. | Discussão dos resultados..... | 69 |
| 6. | Conclusão..... | 72 |
| 7. | Desenvolvimentos Futuros..... | 733 |
| 8. | Bibliografia..... | 744 |

Índice de Quadros

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Destino dos RCD's na Europa a 15 (Agência Europeia do Ambiente) | 3 |
| Quadro 2 - Taxa Crescimento real %..... | 7 |
| Quadro 3- Proporção dos Constituintes agregados reciclados (LNEC E 471, 2006) | 22 |
| Quadro 4 - Classe de resistência, percentagem de incorporação e classe de exposição ambiental permitida (LNEC E 471, 2006) | 23 |
| Quadro 5- - Resumo do EE e EC do equipamento da Unidade de Reciclagem | 29 |
| Quadro 6 - Resumo do EE e EC do equipamento da Pedreira..... | 33 |
| Quadro 7 - - Composições dos Betões de referência..... | 35 |
| Quadro 8 - Betão C20/25 (35%cinzas) | 36 |
| Quadro 9 - Betão C20/25 (0% Cinzas)..... | 36 |
| Quadro 10 - C35/45 (35%cinzas) | 36 |
| Quadro 11 - C35/45 (0% Cinzas)..... | 36 |
| Quadro 12 - Consumo de Energia do Emissões de CO ₂ do material | 39 |
| Quadro 13 - Consumo de Energia no Transporte dos materiais | 40 |
| Quadro 14 - Emissões de CO ₂ do transporte dos materiais | 40 |
| Quadro 15 - Custo do material e transporte | 43 |
| Quadro 16 - Custo de várias composições de betão, com incorporação de diversas quantidades de RCD's | 43 |
| Quadro 17 - Síntese do consumo de energia por materiais..... | 44 |
| Quadro 18 - Síntese das emissões de CO ₂ dos materiais..... | 44 |

Índice de Gráficos

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 -Produção Mundial de Cimento (U.S Geological Survey, 2009) | 2 |
| Gráfico 2 - Evolução desde 1971 até 2008 do abastecimento mundial de energia primária (Mtoe) | 14 |
| Gráfico 3 - Quota do consumo de energia primária (%) por Tipo de fonte de energia, em Portugal..... | 14 |
| Gráfico 4 - Quota do consumo final de energia(%) por sector de actividade económica em Portugal..... | 15 |
| Gráfico 5 - Emissões de CO ₂ por tipo de combustível(International Energy Agency, 2010)I | 16 |
| Gráfico 6 - Emissões de CO ₂ por sector (International Energy Agency, 2010) | 17 |
| Gráfico 7 - Emissões de CO ₂ por sector em % (International Energy Agency, 2010)..... | 17 |
| Gráfico 8- Degradação do Consumo de Energia na produção do Betão Pronto (Jalali& Torgal,2008) | 19 |
| Gráfico 9 - Consumo de Energia incorporada no transporte por material (%) | 41 |
| Gráfico 10 - Emissões de CO ₂ no transporte por material (%)..... | 42 |
| Gráfico 11 - C20/25 (0% Cinzas) RCD 0%..... | 45 |
| Gráfico 12 -C20/25 (0% Cinzas) RCD 10%..... | 46 |
| Gráfico 13 -C20/25 (0% Cinzas) RCD 20%..... | 46 |
| Gráfico 14 - C20/25 (0% Cinzas) RCD 30%..... | 47 |
| Gráfico 15- C20/25 (0% Cinzas) RCD 100%..... | 48 |
| Gráfico 16- Energia incorporada (MJ) C20/25 S3 (0% Cinzas) 0% RCD´s | 48 |
| Gráfico 17 - Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) C20/25 S3 (0% Cinzas)..... | 49 |
| Gráfico 18- C20/25 (35%cinzas) RCD 0%..... | 50 |
| Gráfico 19 - C20/25 (35%cinzas) RCD 10% | 50 |
| Gráfico 20 - C20/25 (35%cinzas) RCD 20% | 51 |
| Gráfico 21 - C20/25 (35%cinzas) RCD 30% | 52 |
| Gráfico 22 - C20/25 (35%cinzas) RCD 100% | 52 |
| Gráfico 23 - Energia incorporada (MJ) C20/25 S3 (35% Cinzas) | 53 |
| Gráfico 24 - Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) C20/25 S3 (35% Cinzas) | 53 |
| Gráfico 25 - C35/45 (0% Cinzas) RCD 0%..... | 54 |
| Gráfico 26 - C35/45 (0% Cinzas) RCD 10%..... | 55 |
| Gráfico 27 - C35/45 (0% Cinzas) RCD 20%..... | 55 |
| Gráfico 28 - C35/45 (0% Cinzas) RCD 30%..... | 56 |
| Gráfico 29 - C35/45 (0% Cinzas) RCD 100%..... | 57 |
| Gráfico 30 - Energia incorporada (MJ) C35/45 S4 (0% Cinzas) | 57 |
| Gráfico 31 - Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) C35/45 S4 (0% Cinzas) | 58 |
| Gráfico 32 - C35/45 (35%cinzas) RCD 0% | 59 |
| Gráfico 33 - C35/45 (35%cinzas) RCD 10% | 59 |
| Gráfico 34 - C35/45 (35%cinzas) RCD 20% | 60 |
| Gráfico 35 - C35/45 (35%cinzas) RCD 30% | 61 |
| Gráfico 36 - C35/45 (35%cinzas) RCD 100% | 61 |
| Gráfico 37 - Energia incorporada (MJ) C35/45 S4 (35% Cinzas) | 62 |

| | |
|--|----|
| Gráfico 38 - Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) C35/45 S4 (35% Cinzas) | 62 |
| Gráfico 39 - Betões com 0% RCD | 63 |
| Gráfico 40 - Betões com 10 % RCD | 64 |
| Gráfico 41 - Betões 20 % RCD | 64 |
| Gráfico 42 - Betões 30%RCD..... | 65 |
| Gráfico 43 - Betões com 100% RCD | 65 |
| Gráfico 44 - Custo de várias composições de betão, com incorporação de diversas quantidades de RCD's | 66 |
| Gráfico 44 - Energia incorporada (%) | 67 |
| Gráfico 45 - Emissões de CO ₂ (%) | 68 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1- Mudanças na Construção (Pinheiro, 2006) | 10 |
| Figura 2 - Sistema LCA..... | 12 |
| Figura 3- Fluxos do processo | 12 |
| Figura 4 - Planta da Unidade de Reciclagem | 27 |
| Figura 5 - Retroescavadora..... | 28 |
| Figura 6 - Britadeira RubbleMaster..... | 28 |
| Figura 7 - Crivos Tusa | 28 |
| Figura 8- Moinho de maxilas | 30 |
| Figura 9 - Moinho cónico Nordberg..... | 31 |
| Figura 10- Perfuradora Atlas | 31 |
| Figura 11- Crivo..... | 32 |
| Figura 12 - Escavadora Giratória..... | 32 |
| Figura 13 - Pá Carregadora Caterpillar..... | 32 |
| Figura 14- Dumper Caterpillar | 33 |

Índice de Quadros em Anexos

| | |
|--|----|
| Quadro A 1 - Perfuradora | I |
| Quadro A 2- Equipamento Linha de britagem..... | I |
| Quadro A 3 - Linha de britagem | I |
| Quadro A 4 -Dumper..... | I |
| Quadro A 5 - Pá Carregadora..... | I |
| Quadro A 6 - Escavadora giratória | I |
| Quadro A 7 - Britadeira | I |
| Quadro A 8 - Crivos | II |
| Quadro A 9 - Retroescavadora | II |
| Quadro A 10 - Tapetes de transportes..... | II |
| Quadro A 11 - Camião 1 | II |

| | |
|--|------|
| Quadro A 12 - Camião 2 | II |
| Quadro A 13 - C20/25 S3 (0% Cinzas) 0% RCD´s | II |
| Quadro A 14 - C20/25 S3 (0% Cinzas) 10% RCD´s | III |
| Quadro A 15 - C20/25 S3 (0% Cinzas) 20% RCD´s | III |
| Quadro A 16 - C20/25 S3 (0% Cinzas) 30% RCD´s | III |
| Quadro A 17 - C20/25 S3 (0% Cinzas) 100% RCD´s | IV |
| Quadro A 18- Energia incorporada e Emissões de CO2, C20/25 S3 (0% Cinzas) | IV |
| Quadro A 19 - C20/25 S3 (35%cinzas) 0%RCD´s | IV |
| Quadro A 20 - C20/25 S3 (35%cinzas) 10% RCD´s | V |
| Quadro A 21 - C20/25 S3(35%cinzas) 20% RCD´s | V |
| Quadro A 22 - C20/25 S3 (35%cinzas) 30% RCD´s | V |
| Quadro A 23 - C20/25 S3 (35%cinzas) 100% RCD´s | VI |
| Quadro A 24 - Energia incorporada e emissões de CO2, C20/25 S3 (35%cinzas)..... | VI |
| Quadro A 25 - C35/45 S4 (0% Cinzas) 0%RCD´s | VI |
| Quadro A 26 - C35/45 S4 (0% Cinzas) 10% RCD´s | VII |
| Quadro A 27 - C35/45 S4 (0% Cinzas) 20% RCD´s | VII |
| Quadro A 28 - C35/45 S4 (0% Cinzas) 30% RCD´s | VII |
| Quadro A 29 - C35/45 S4 (0% Cinzas) 100% RCD´s | VIII |
| Quadro A 30 - Energia incorporada e emissões de CO2, C35/45 S4 (0% Cinzas) | VIII |
| Quadro A 31- C35/45 S4 (35%cinzas) 0% RCD´s | VIII |
| Quadro A 32 - C35/45 S4 (35%cinzas) 10% RCD´s | IX |
| Quadro A 33 - C35/45 S4 (35%cinzas) 20% RCD´s | IX |
| Quadro A 34 - C35/45 S4 (35%cinzas) 30% RCD´s | IX |
| Quadro A 35 - C35/45 S4 (35%cinzas) 100% RCD´s | X |
| Quadro A 36 - Energia incorporada e emissões de CO2, C35/45 S4 (35%cinzas)..... | X |
| Quadro A 37 - Betão incorporando 0% RCD´s | X |
| Quadro A 38 - Betão incorporando 10% RCD´s | XI |
| Quadro A 39 - Betão incorporando 20% RCD´s | XI |
| Quadro A 40 - Betão incorporando 30% RCD´s | XI |
| Quadro A 41 - Betão incorporando 100% RCD´s | XI |
| Quadro A 42 - custo do betão C20/25 S3 (35%cinzas) 0%RCD´s | XII |
| Quadro A 43 - custo do Betão C20/25 S3 (35%cinzas) 10%RCD´s | XII |
| Quadro A 44 - custo do betão C20/25 S3 (35%cinzas) 20%RCD´s | XII |
| Quadro A 45 - custo do betão C20/25 S3 (35%cinzas) 30%RCD´s | XII |
| Quadro A 46 - custo do betão C20/25 S3 (35%cinzas) 100%RCD´s | XIII |
| Quadro A 47 - custo do betão C20/25 S3 (0%cinzas) 0%RCD´s | XIII |
| Quadro A 48 - custo do betão C20/25 S3 (0%cinzas) 10%RCD´s | XIII |
| Quadro A 49 - custo do betão C20/25 S3 (0%cinzas) 20%RCD´s | XIII |
| Quadro A 50 - custo do betão C20/25 S3 (0%cinzas) 30%RCD´s | XIV |
| Quadro A 51 - custo do betão C20/25 S3 (0%cinzas) 100%RCD´s | XIV |
| Quadro A 52 - custo do betão C35/45 S3 (35%cinzas) 0%RCD´s | XIV |
| Quadro A 53 - custo do betão C35/45 S3 (35%cinzas) 10%RCD´s | XIV |
| Quadro A 54 - custo do betão C35/45 S3 (35%cinzas) 20%RCD´s | XV |
| Quadro A 55 - custo do betão C35/45 S3 (35%cinzas) 30%RCD´s | XV |
| Quadro A 56 - custo do betão C35/45 S3 (35%cinzas) 100%RCD´s | XV |

| | |
|---|-----|
| Quadro A 57 - custo do betão C35/45 S3 (0%cinzas) 0%RCD's | XV |
| Quadro A 58 - custo do betão C35/45 S3 (0%cinzas) 10%RCD's | XVI |
| Quadro A 59 - custo do betão C35/45 S3 (0%cinzas) 20%RCD's | XVI |
| Quadro A 60 - custo do betão C35/45 S3 (0%cinzas) 30%RCD's | XVI |
| Quadro A 61 - custo do betão C35/45 S3 (0%cinzas) 100%RCD's | XVI |

1. Introdução

1.1. Enquadramento geral

A construção assume actualmente na economia portuguesa e europeia um papel muito importante. Sendo uma actividade económica bastante diferenciada das restantes actividades económicas, quer em termos produtivos, quer no que concerne ao mercado de trabalho, mas também pela sua especificidade própria, pela grande diversidade de Clientes, Projectos, Produtos, Operações Produtivas, Tecnológicas. (Baganha, Marques, & Pedro, 2001)

A nível europeu consegue abarcar cerca de 28,1% do emprego (Torgal&Jalali, 2007).

Sendo este sector, um dinamizador da economia, é também um catalisador de grandes impactos ambientais. Durante muitos anos existiu a cultura que os resíduos provenientes de demolições, não tinham qualquer tipo de utilidade. A opção mais frequente foi a de transportar os resíduos para vazadouros ou depositá-los em lugares ilegais.

O conceito de desconstrução é um termo recente, o qual refere que é um processo de desmantelamento de um edifício, com o intuito de recuperar materiais e componentes da construção, permitindo a sua reciclagem e reutilização, sendo preferível neste processo a reutilização à reciclagem. (Couto, Couto, & Teixeira, 2006)

Ainda hoje, não existe uma consciencialização para as questões ambientais no sector da construção, optando-se na maioria das vezes pela demolição do edificado já existente, visto que se traduz em menores custos e numa maior rapidez de execução.

A solução adoptada da demolição total, sem qualquer preocupação na recuperação de materiais é extremamente gravosa sob o ponto de vista ambiental, devido à enorme produção de RCD's.

Segundo Rui & Veiga (2004), a União Europeia é responsável por 180 milhões de toneladas de RCD. Onde apenas 28% destes materiais são reciclados e os restantes 72% são conduzidos a aterro (Furtado, 2007).

A Dinamarca encontra-se na vanguarda da reciclagem dos RCD, a qual se deve ao reduzido espaço para aterros. Em 1986 a Dinamarca já reciclava/reutilizava 12% dos seus RCD's, passando para 81% em 1999, com 25 milhões de toneladas anuais.

Segundo a Agência Europeia do Ambiente, 28% a nível europeu de material reciclado e a 72% de material depositado em aterro é a indicada no Quadro 1.

O depósito não controlado de RCD conduziu a situações ambientalmente indesejáveis e incompatíveis, para a qual houve a necessidade de criar legislação específica sobre esta matéria. Em 12 de Março de 2008 foi publicado o Decreto-Lei nº 46/2008, o qual estabelece as condições legais para a correcta gestão dos RCD em Portugal.

Por outro lado, o betão é um dos materiais mais utilizados na construção Mundial, através do Gráfico 1 é possível verificar quais os consumos de betão a nível Mundial, de onde se destaca o crescimento exponencial a partir dos anos 50. Em Portugal a Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto contabilizou entre os seus associados um consumo de 6 430 675,30 m³ de Betão Pronto, traduzindo inevitavelmente num grande volume de agregados para a produção do Betão.

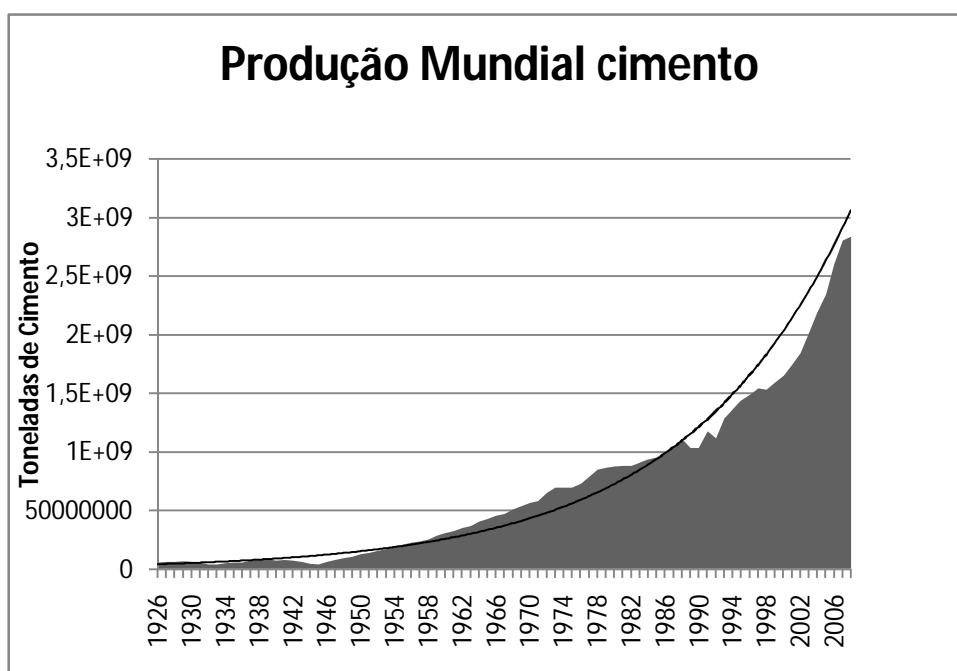


Gráfico 1 -Produção Mundial de Cimento (U.S Geological Survey, 2009)

Esses agregados têm na sua grande maioria, origem nas pedreiras através da britagem de rocha, provocando impactos inevitáveis ao ambiente, quer no uso de recursos não renováveis, diminuição da biodiversidade, emissões de gases entre outros factores. Deste modo, estão em estudos alternativas de mitigar alguns desses impactos, sendo que uma delas passa pela utilização de RCD's, sobre a forma de agregado para betão.

| Estado Membro | RCD (Mt) | % Reutilizada ou Reciclada | % Aterro ou incinerada |
|---------------|----------|----------------------------|------------------------|
| Alemanha | 59 | 17 | 83 |
| Reino Unido | 30 | 45 | 55 |
| França | 24 | 15 | 85 |
| Itália | 20 | 9 | 91 |
| Espanha | 13 | <5 | <95 |
| Holanda | 11 | 90 | 10 |
| Bélgica | 7 | 87 | 12 |
| Áustria | 5 | 41 | 59 |
| Portugal | 3 | <5 | >95 |
| Dinamarca | 3 | 81 | 19 |
| Grécia | 2 | <5 | >95 |
| Suécia | 2 | 21 | 79 |
| Finlândia | 1 | 45 | 55 |
| Irlanda | 1 | <5 | >95 |
| Luxemburgo | 0 | Não aplicável | Não aplicável |
| EU-15 | 180 | 28 | 72 |

Quadro 1 - Destino dos RCD's na Europa a 15 (Agência Europeia do Ambiente)

O aproveitamento de RCD, apesar de ser fundamental (principalmente sob o ponto de vista do aproveitamento de recursos), nenhum estudo foi realizado sobre a Análise do Ciclo de Vida da utilização destes RCD no fabrico de betão, comparativamente em relação ao betão convencional. Será este o aspecto em destaque tratado nesta tese, no qual será avaliada a Energia e o Consumo de CO₂ necessários para a produção de betões com RCD's.

1.2. Objectivos

O principal objectivo desta dissertação é o de avaliar a sustentabilidade de diferentes betões com base na análise do ciclo de vida de cada um dos materiais que o incorporam, assim como do seu transporte e transformação.

Comparar diferentes composições e avaliar de que modo os agregados reciclados são uma solução viável quando analisado o ciclo de vida desses betões.

Determinar até que ponto a influência do transporte das materiais necessárias para o fabrico do betão, pode condicionar a sustentabilidade dos mesmos.

Comparar os custos dos betões convencionais, face aos betões que utilizam agregados reciclados.

1.3. Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está dividida em oito capítulos principais, os quais são divididos em sub-capítulos, os seus conteúdos são apresentados nos parágrafos seguintes.

No 1º Capítulo, está presente a introdução à dissertação e os seus objectivos.

No 2º Capítulo é feita uma revisão bibliográfica sobre os conceitos teóricos, inerentes a todos os conteúdos abordados, na parte prática, sendo que vão incidir sobre a sustentabilidade e análise do ciclo de vida dos materiais.

O caso de estudo encontra-se no 3º capítulo, nele vêm descritos todos os dados referentes aos materiais e a métodos.

No 4º Capítulo são indicados os resultados obtidos, através de gráficos e tabelas.

No 5º Capítulo, faz-se a análise e discussão dos resultados, através da comparação dos dados com a situação de referência.

As conclusões estão apresentadas no 6º capítulo.

O 7º Capítulo. é dedicado a desenvolvimentos futuros que esta dissertação pode ter.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Sustentabilidade

Os aspectos inerentes aos impactos ambientais da indústria da construção não são possíveis de descurar, pelo que muitas vezes encobertos por outros interesses, sempre foram estudados pela comunidade científica, mas de um modo pouco visível. Em 1972, na Conferência das Nações Unidas em Estocolmo, foi dado o primeiro passo nas conversações mundiais sobre o Ambiente, mas só em 1987, foi elaborado um relatório, designado por “OurCommonFuture” ou “Brundtland”, que estabelece o conceito de **sustentabilidade**:

“permite satisfazer necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras satisfazerem as suas”,

O relatório sensibilizou toda a comunidade para os impactos que o homem exerce sobre o Ambiente. Em 1992, no Rio de Janeiro, reuniram-se 117 chefes de Estado para a Conferência das Nações Unidas para o Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida por ECO 92, na qual foram aprovadas diversas declarações e convenções. Pode destacar-se a Agenda 21, cujo objectivo foi estabelecer a importância de cada País em comprometer-se a reflectir no estudo de soluções de problemas sócio-ambientais.

No seguimento das Agenda 21, Portugal publicou, em 2002, a Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável. Passado 10 anos sobre o relatório “Brundtland”, foi estabelecido o Protocolo de Quioto, na qual os Países signatários acordaram a redução das emissões de gases, com efeito de estufa, em 5,2%, face aos níveis de 1990. A União Europeia estabeleceu um acordo paralelo entre os Estados-Membros designado acordo comunitário de partilha de responsabilidades, definindo metas distintas para cada um dos seus Estados-Membros, que culminou numa redução de 8 % dos gases com efeito de estufa.

Muitos outros eventos têm contribuído para alterar o paradigma ambiental, mais recentemente a Conferência de Copenhaga (2009), na qual se redefiniram diferentes metas, no que respeita às emissões de gases, mas o grande impulsionador das mudanças é a forte mediatização dos problemas ambientais.

2.1.1. Construção sustentável

O sector da construção, como referido anteriormente, tem um peso muito significativo em todos os aspectos da sociedade contemporânea mundial, verificando-se numa componente social, através dos empregos criados. Numa componente económica, no que respeita ao volume de dinheiro envolvido, bem como na componente ambiental, nos impactos que esta desenvolve no meio.

A União europeia dos 27 (EU27) é um bom exemplo disso, segundo dados do Relatório Anual 2010 da Federação da Indústria da Construção Europeia, a EU27 foi responsável por 1.173 biliões de Euros em 2009. O sector dá emprego na totalidade a 44,6 milhões de trabalhadores, dos quais 14,9% são directos, perfazendo 7,1% do total dos empregos na Europa. Associado ao sector, existem 3 milhões de empresas, 95% são Pequenas e Médias Empresas. No Quadro 2, podemos ver o Crescimento de Portugal em termos de construção, comparando com os Países do Euroconstruct INCI, segundo o mesmo relatório o peso da construção no PIB de Portugal é de 5,5%, face aos 4% do PIB europeu (FIEC, 2001).

| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
|---|------|------|------|------|------|------|
| Portugal | -5,3 | -0,4 | -4,8 | -9,5 | -9,3 | 1,6 |
| Euroconstruct* | 3,7 | 2,3 | -3 | -8,4 | -2,2 | 1,6 |
| * Áustria, Bélgica, República Checa, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Hungria, Irlanda, Itália, Países Baixos, Noruega, Polónia, Portugal, Eslovénia, Espanha, Suécia, Suíça e Inglaterra. | | | | | | |

Quadro 2 - Taxa Crescimento real %

Deste modo é perceptível que o sector da construção terá inevitavelmente impactos significativos no ambiente, Mateus e Bragança (2004), referem que a construção de edifícios é responsável pelo consumo de 40% dos recursos minerais (pedra, brita, areia, etc.), 25% da madeira, 40% da energia e 16% da água consumidos anualmente.

Em 1994, Kibert no Conselho Internacional da Construção (CIB - Conseil International du Bâtiment International), definiu **construção sustentável** como:

“a criação e manutenção responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e no projecto baseado em princípios ecológicos”.

Também estabeleceu os 7 princípios para construção sustentáveis que são:

1. **Reduzir** o consumo de recursos;
2. **Reutilizar** os recursos sempre que possível;
3. **Reciclar** materiais em fim de vida do edifício e usar recursos recicláveis;
4. **Proteger** os sistemas naturais e a sua função em todas as actividades;
5. **Eliminar os materiais tóxicos** e os sub-produtos em todas as fases do ciclo de vida.
6. **Economia**, através custo do ciclo de vida
7. **Qualidade**, focar na qualidade

Entende-se também, que a construção sustentável, pretende a integração do homem com a natureza, utilizando os recursos naturais, sendo que é um produto da moderna sociedade tecnológica, focando a importância de uma abordagem holística, integrada e prática numa perspectiva interdisciplinar, como forma efectiva de concretizar esses princípios. (Pinheiro, 2006)

Na conferência das Nações Unidas, realizada em 1996 na cidade de Istambul, foi realizado um documento denominado Agenda Habitat II (Kibert, 1994), que veio no seguimento da Agenda Habitat I, realizada em Vancouver, 10 anos antes. Este documento debruça-se sobre dois principais temas: " Habitação adequada para todos" e "Desenvolvimento dos aglomerados humanos num mundo em urbanização" e forneceu princípios e orientações, que englobam diversos aspectos relacionados com o sector da construção civil, na qual os estados se comprometeram a cumprir, no seguimento da melhoria da qualidade dos aglomerados humanos, que afectam a vida quotidiana e o bem-estar das pessoas.

Esta agenda surge como um guia importante para a habitação nos países em vias de desenvolvimento e também nas sociedades industrializadas (Pinheiro, 2006).

Em 1999, a CIB decidiu fazer uma ponte entre as Agendas 21 Internacionais e as Agendas 21 Nacionais e Locais, criando a Agenda 21 sobre a construção sustentável, e enumerou 3 princípios da Agenda:

- Criar uma estrutura de abordagem e terminologia, que adicione valor às agendas nacionais ou regionais e sub-sectoriais;

- Criar uma agenda para actividades locais, realizadas pelo CIB e pelas suas organizações internacionais e suas parceiras;
- Criar um documento fonte, para a definição de actividades de I&D.

O documento também enumera os maiores desafios que o sector da construção civil encara:

- Promover a eficiência energética;
- Reduzir o uso e consumo de água potável;
- Seleccionar materiais com base no seu desempenho ambiental;
- Contribuir para um desenvolvimento urbano sustentável".

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), iniciou em 1998 um projecto que visou fornecer orientações para o desenho de políticas governamentais que minimizassem os impactes ambientais no sector da construção. Foram, identificadas as barreiras e oportunidades de melhoria, que evidenciam a importância de dispor de informação fundamentada sobre a eficiência energética, emissões dos edifícios, materiais utilizados bem como as características específicas do sector da construção. (Pinheiro, 2006).

O projecto da direcção de ambiente na OCDE, culminou num relatório no qual estão patentes os desafios e políticas da sustentabilidade dos edifícios, bem como recomendações para uma boa estrutura de política global, acentuado nos seguintes pontos:

- Definir-se uma estratégia nacional (para cada país) para melhorar o desempenho ambiental do sector dos edifícios;
- Implementar-se um mecanismo para monitorizar regularmente o desempenho;
- Criarem-se ou Desenvolverem-se parcerias estreitas entre o governo e a indústria, para suportar a I&D e as tecnologias de difusão;
- Introduzirem-se sistemas de reforço de aquisições públicas sustentáveis na construção;
- Minimizarem-se os custos derivados da duplicação de processos administrativos;

- Efectuarem-se mais pós-avaliações dos instrumentos políticos, através de uma estreita cooperação internacional.

A construção no seu sentido tradicional é focada na qualidade do produto, no seu custo e no tempo dispendido, o conceito de construção sustentável para além destes pontos, abrange também pontos como, preocupações ambientais, nomeadamente emissões de poluentes, biodiversidade, extracção de recursos.

Podemos ver na Figura 1, a evolução na qual a construção terá de seguir, sendo que esta abordagem terá um papel fundamental de todos os agentes. Pinheiro (2006) refere que este novo modo de conceber a construção procura satisfazer as necessidades humanas, protegendo e preservando simultaneamente a qualidade ambiental e os recursos Naturais.

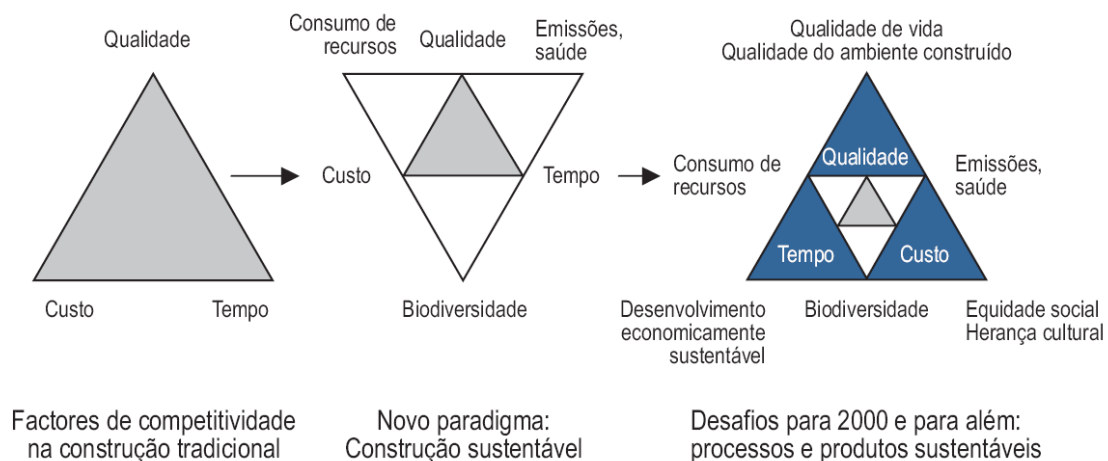


Figura 1- Mudanças na Construção (Pinheiro, 2006)

2.2. Análise do ciclo de vida

A Análise ao Ciclo de Vida (LifeCycleAssesment - LCA) é um conceito de sustentabilidade, que promove um método de avaliar o desempenho ambiental de um produto, de um bem ou de um serviço, desde a sua “criação” até à sua “extinção”, fornecendo um indicador da carga ambiental.

Com vista à normalização dos aspectos que se referem às questões ambientais, a Organização Internacional para a Normalização (ISO), criou em 1992, um comité técnico, para estas normas referentes ao ambiente. Tendo estas sido agrupadas na família das ISO 14000. As normas que tratam da análise do ciclo de vida, são as ISO 14010:1997; ISO 14041:1998; ISO 14042:2000; ISO 14043:2000;

De acordo com os objectivos de um estudo sobre LCA de um produto, este poderá incidir sobre todo o ciclo de vida, ou poderá apenas, especificar uma das etapas que o compõe, como por exemplo a manutenção de um produto.

Através do LCA, é possível estimar os impactos ambientais acumulados, resultantes de todas as fases do ciclo de vida do produto, sabendo à partida que as fases do desenvolvimento do produto são interdependentes. Este conceito surgiu com o aumento da consciência ambiental, da sociedade e inevitavelmente com a necessidade das empresas avaliarem os impactos dos seus produtos no ambiente.

O estudo do LCA de um produto/processo também permite ajudar o decisor a escolher o produto ou processo que resulte num menor impacto no ambiente, bem como permite às organizações definir prioridades e planeamento estratégico, como por exemplo, utilizar betões com agregados reciclados ou agregados naturais (Curran, 2006).

Com o LCA, permite ainda identificar transferência de impactes ambientais de um meio para o outro, bem como de um estágio de ciclo de vida para o outro. Como por exemplo, na selecção de dois produtos, a opção-1 poderá parecer a melhor escolha ambiental, visto necessitar de menos matéria-prima, do que a opção-2, no entanto após a análise do LCA, verifica-se que a opção-2, é a que conduz a menores impactos no ambiente, visto que, durante a fase de utilização consome menos energia. (Ferreira, 2004)

LCA de um produto é representado por um sistema, Figura 2, assim é possível identificar as várias fases do ciclo de vida, as etapas vão variar conforme forem os objectivos do estudo, no entanto, genericamente são assumidas quatro etapas: Extracção/aquisição da matéria-prima; produção do produto; operação; e fim de vida/tratamento. Dentro destas etapas, surgem um conjunto de processos, que representam passos intermédios para alcançar determinada etapa, esses processos caracterizam-se por entrada e saída de fluxos, que são definidos no sistema de acordo com o que se pretende estudar. O sistema deverá estar bem delimitado, pois existem variáveis que não são interessantes para os objectivos do estudo e deverá

estar definido através de uma fronteira, entre aquilo que é de interesse relevante e o que deverá ser suprimido.

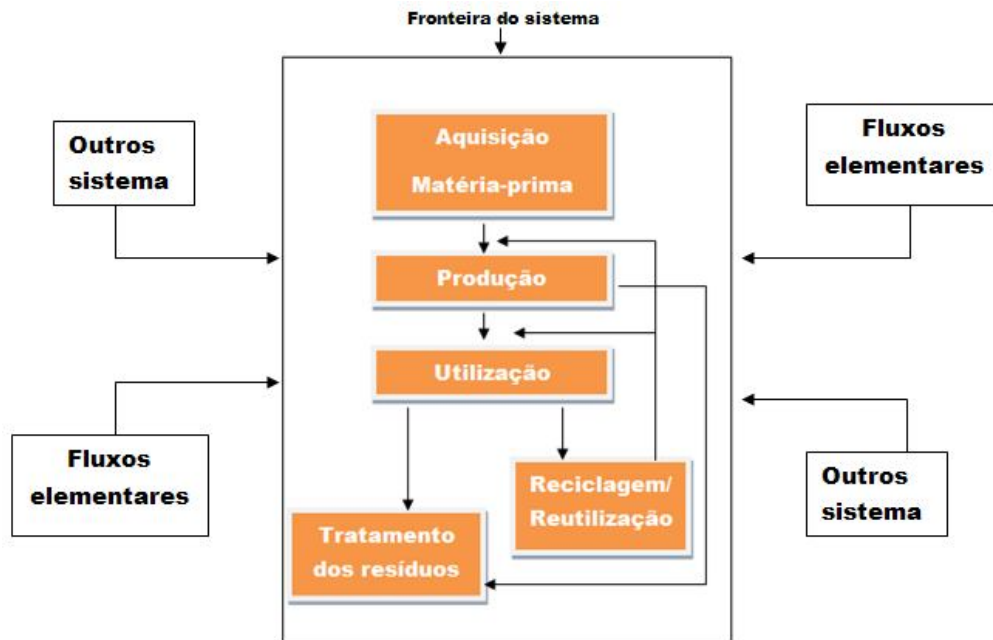


Figura 2 - Sistema LCA

Para cada processo, independentemente dos fluxos assumidos é necessário definir, uma unidade que seja de referência para todos os processos e etapas, designada por unidade funcional, assim é possível quantificar os fluxos e contabilizá-los de igual forma, permitindo análises comparativas.

A avaliação final dos fluxos permite determinar no processo e respectivamente a etapas do ciclo de vida do produto, as quantidades de recurso necessário para o produto e com isto quantificar o impacto ambiental que este terá.

Poderemos ter como exemplo, um sistema em que entre uma determinada quantidade de energia que é necessária para a execução de cada uma dos processos, o qual irá originar algumas emissões de CO₂, Figura 3.



Figura 3- Fluxos do processo

Os impactos ambientais determinados pelo LCA, poderão ser tantos quanto quisermos, pelo que trás aqui uma das desvantagens do método, que é a necessidade de muitos recursos e arrastar-se por muito tempo. Os impactos poderão ser, entre outros, consumo de energia; poluição do ar; consumo de águas; emissões de gases poluentes; produção de resíduos; e potencial de aquecimento global.

O LCA, não determina qual o produto ou processos que são mais caros ou funcionam melhor, pelo que este método deverá ser utilizado em conjugação com outros, sendo este um complemento para o decisor tomar e actuar.

2.2.1. Energia Incorporada

A energia têm um papel na vida da população imensurável, nas suas mais diversas formas e para as mais diversas actividades, ela está associada ao desenvolvimento dos povos e à sua evolução. No entanto, esta também provoca desequilíbrios e impactos sobre o ambiente.

No Gráfico 2, podemos ver que o consumo de energia tem vindo a crescer numa escalada constante, desde os anos 70, devendo-se ao aumento da população e aos requisitos cada vez mais exigentes de energia por parte da população mundial. No que respeita à fonte de energia primária, o carvão é aquele que possui a maior parcela de utilização, durante estas três décadas, a nível mundial, seguido do petróleo e gás. As energias renováveis têm vindo a ganhar expressividade ao passar do tempo, sendo a 4.^a fonte de energia primária mundial.

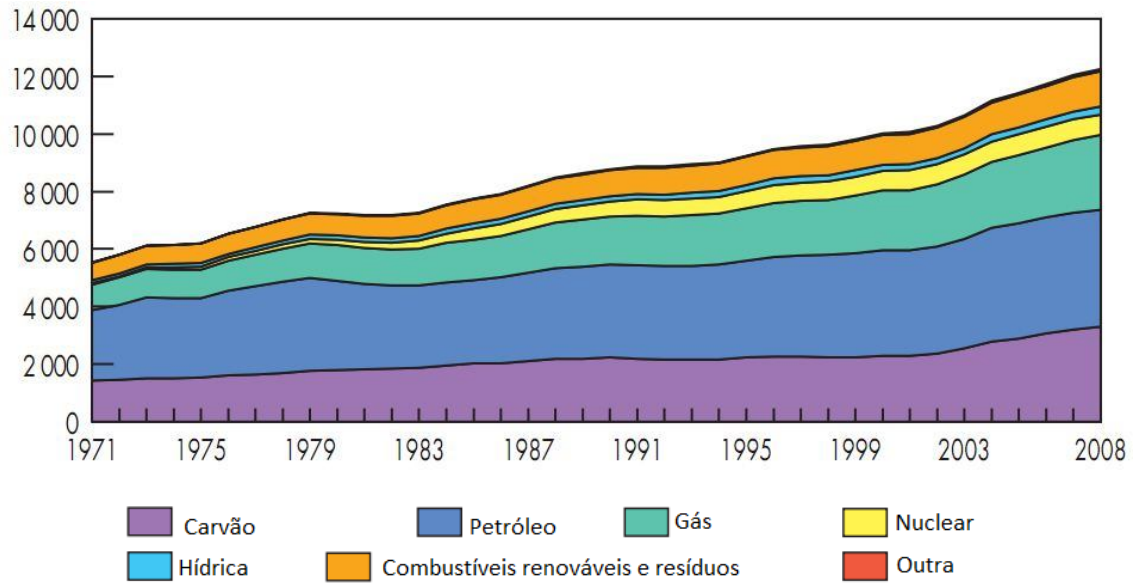


Gráfico 2 - Evolução desde 1971 até 2008 do abastecimento mundial de energia primária (Mtoe) (International Energy Agency, 2010)

Em Portugal é o petróleo que assume mais de 50% da cota das energias, como se pode verificar no Gráfico 3. Depois do Petróleo temos o Gás Natural, Carvão e outro tipo de energias.

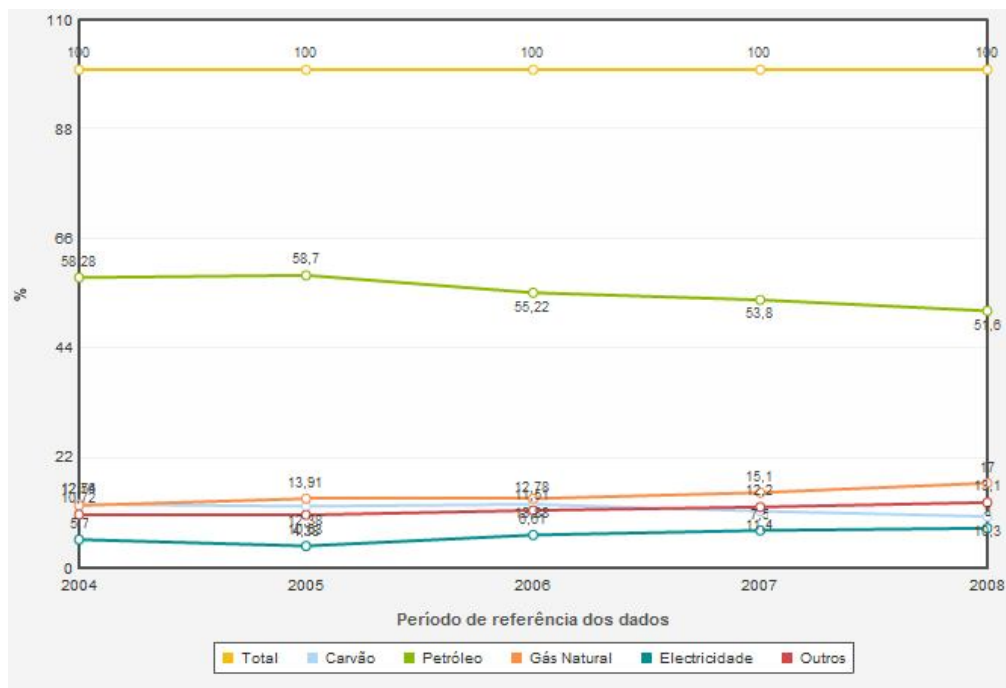


Gráfico 3 - Quota do consumo de energia primária (%) por Tipo de fonte de energia, em Portugal (Instituto Nacional de Estatística)

No Gráfico 4, vemos que os sectores que mais consomem energia, na economia Portuguesa são respectivamente: os Transportes, a Industria Transformadora, o Sector doméstico, os Serviços, a Construção e Obras Públicas, a Agricultura, a Industria Extractiva e as Pescas. A construção em 2008, consumiu 3,4% da energia utilizada em Portugal.

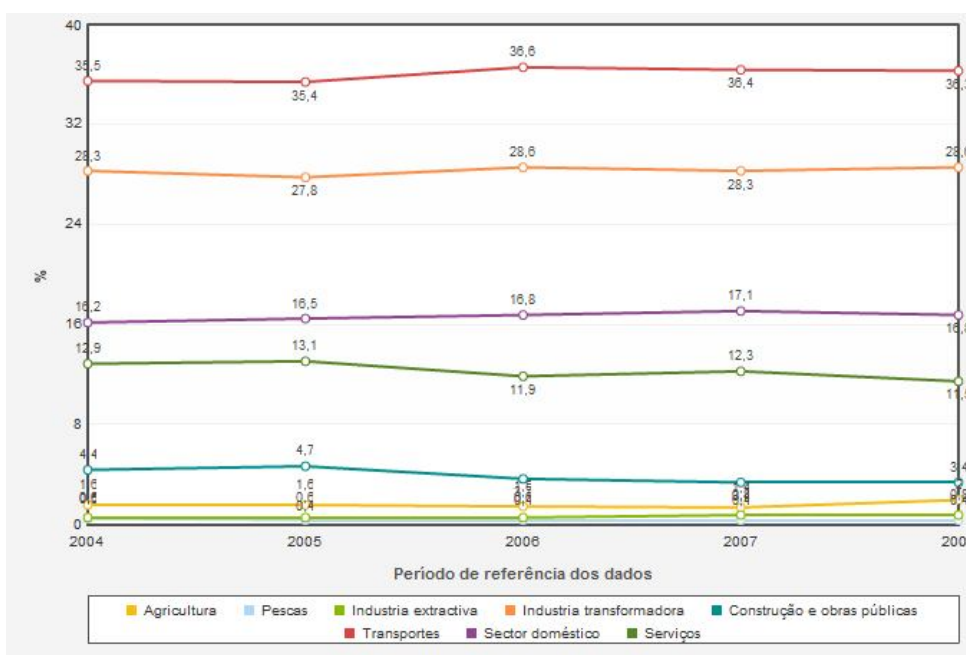


Gráfico 4 - Quota do consumo final de energia (%) por sector de actividade económica em Portugal (Instituto Nacional de Estatística)

A Energia Incorporada (Embodied Energy - EE) é um conceito que contabiliza o total da energia primária consumida por um material, durante todo o seu ciclo de vida. O que normalmente inclui a extracção dos recursos, transporte, fabrico do produto, utilização e extinção. As fronteiras que compõem este conceito, idealmente seriam desde a extracção da matéria-prima até ao fim de vida do produto, mais conhecido “*Cradle-to-Grave*”, no entanto, como prática comum nas bases de dados, é adoptada a fronteira “*Cradle-to-Gate*”, que consiste na extracção da matéria-prima, até ao momento antecedente à saída do produto das portas da Fábrica. Ainda existe outra fronteira, muito menos utilizada que consiste na “*Cradle-to-site*”, e engloba todo o ciclo falado da “*Cradle-to-Gate*”, mas contabiliza o transporte e energia utilizada até ao local onde vai ser utilizada, como por exemplo um estaleiro. (Hammond & Jones, 2008)

2.2.2 Emissões de CO₂

As Emissões de CO₂ incorporado (Embodied Carbon-EC), seguem o mesmo conceito da energia incorporada e estão directamente relacionadas, com a fonte de Energia primária utilizada. O Gráfico 5, estão indicadas as emissões anuais de CO₂, por tipo de combustível. Verifica-se um aumento significativo das emissões, desde 1971, sendo que o combustível que mais contribui para as emissões é o carvão, seguido do petróleo e do gás natural.

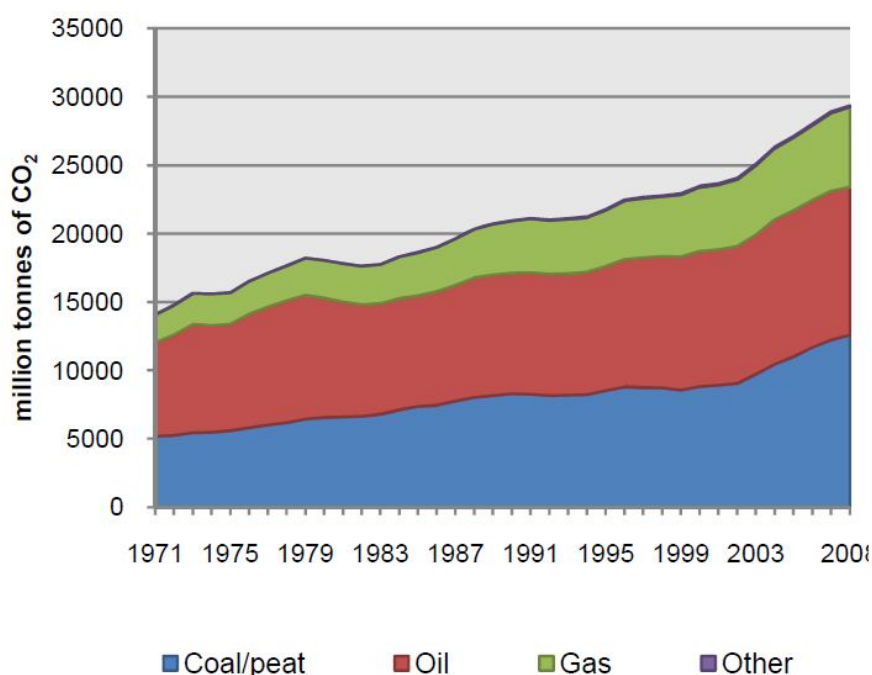


Gráfico 5 - Emissões de CO₂ por tipo de combustível (International Energy Agency, 2010)

Os Gráfico 6 e 7, representam o consumo anual de CO₂ mundial, por sectores. Podemos verificar que a electricidade e aquecimento são os mais poluidores, e que por sua vez, indústria, na qual está englobada a construção, é a segunda. Em terceiro, aparece o sector dos transportes.

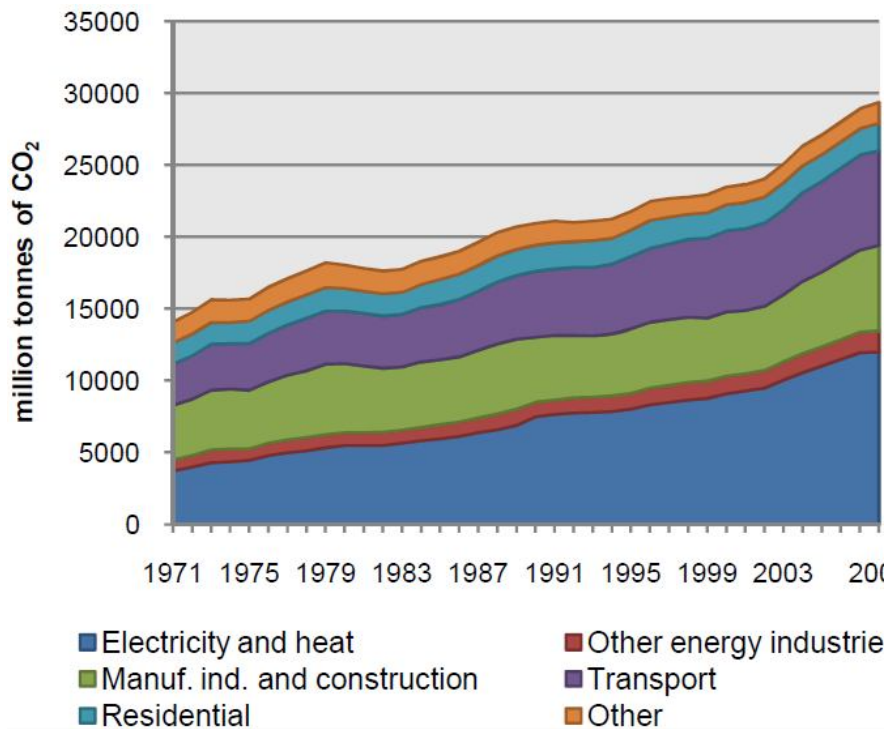


Gráfico 6 - Emissões de CO₂ por sector (International Energy Agency, 2010)

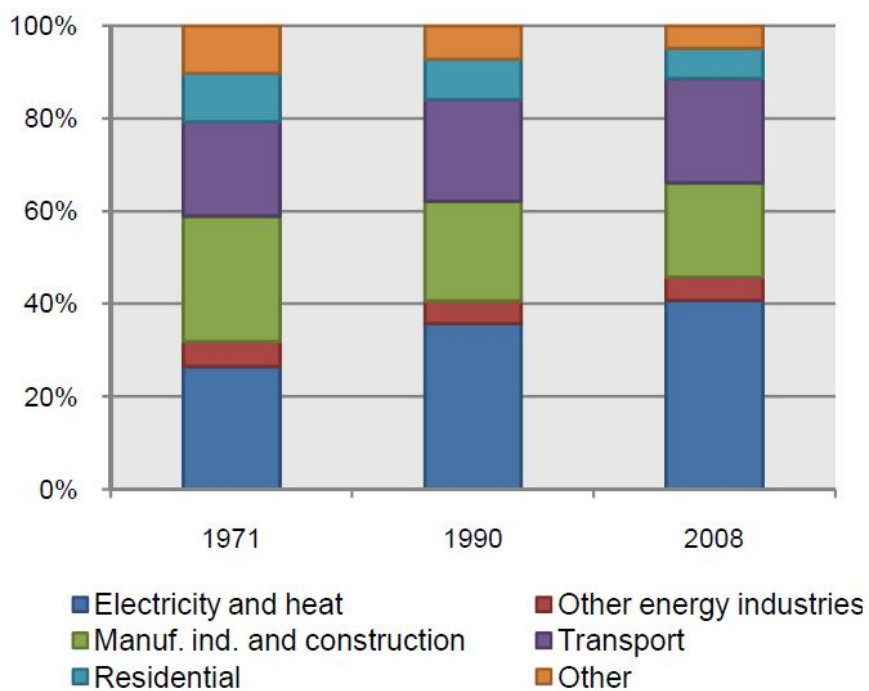


Gráfico 7 - Emissões de CO₂ por sector em % (International Energy Agency, 2010)

É importante referir, que a energia eléctrica é produzida com recurso a várias fontes de energia primária, podendo ser renovável ou não renovável, mais eu menos

emissora de CO₂ no caso português, a EDP em 2009, teve 29,4% da energia produzida através do gás natural; do 15,4% carvão; 13,3% da energia hídrica; 5% da energia nuclear; 1,3% do fuelóleo e os restantes 35,5% de outro tipo de fonte, em regime especial.

Todas as fontes de energia causam algum tipo de impacto ambiental, por exemplo a energia nuclear que tem origem em Espanha, não tem emissões directas de CO₂, no entanto para a sua construção houve necessariamente emissões, bem como para o transporte da matéria-prima para as instalações.

Deste modo é fácil perceber a energia incorporada, bem como as emissões de CO₂ incorporada pelo material não é constante, nem única para cada material. Por exemplo, um material de construção que requeira muita energia eléctrica na sua fabricação, terá emissões diferentes de País para País. Do mesmo modo, o seu transporte terá influência, quer na energia incorporada, quer nas emissões de CO₂, dependendo do tipo de meio de transporte, seja ele Aéreo, Rodoviário, Ferroviário ou Marítimo; assim como do combustível utilizado: gasóleo, electricidade; e por último das distâncias que o mesmo terá de percorrer.

Numa revisão bibliográfica feita por Vukotic et al (2010) com base em 5 estudos, verificou-se que a energia incorporada para aço virgem estrutural, era de 28 MJ/kg nos EUA; 32 MJ/kg em Hong Kong; 35 MJ/kg no Reino Unido; 42 MJ/kg na Índia e 59 MJ/kg na Nova Zelândia. O mesmo acontece com as emissões de CO₂ incorporadas, variando de 1,15 kgCO₂/kg a 3,92 kgCO₂/kg, na Nova Zelândia e 1,82 kgCO₂/kg no Reino Unido.

Vários autores e instituições têm desenvolvido estudos com o intuito de quantificar a EE e EC, dos materiais de construção, destacando-se a Universidade de Bath, na qual desenvolveram "*Inventory of Carbon & Energy (ICE)*", a Universidade de Wellington com uma base de dados de materiais, no "*Centre for building performance research*", ou Born Berge, no seu livro "*The ecology of Building Materials*"

O betão é o material de construção mais utilizado em todo o mundo, e é composto por mais do que um material. Para a sua fabricação são requeridas grandes quantidades de Energia, necessária maioritariamente para a produção do cimento Portland, cuja produção requer dois tipos de energia, a energia Térmica e a energia Eléctrica, sendo a energia Térmica aquela que assume a maior fatia do consumo total. A restante energia para a produção do betão, é consumida no transporte, na

mistura e na produção dos agregados, como é possível ver no Gráfico 8- Degradação do Consumo de Energia na produção do Betão Pronto.

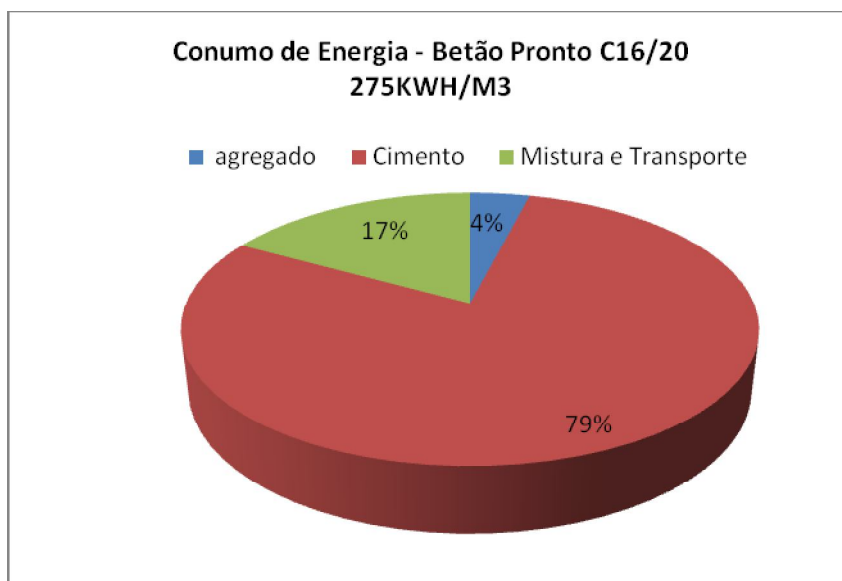


Gráfico 8- Degradação do Consumo de Energia na produção do Betão Pronto (Jalali& Torgal,2008)

No que respeita às emissões de CO₂, Jalali&Torgal (2008) referem que para uma unidade de betão com os consumos representados no Gráfico 1, há emissões de 0,39 toneladas de CO₂ por tonelada de clínquer de cimento, sendo também necessário juntar as emissões de CO₂ derivadas da descarbonatação do calcário. Esta descarbonatação, para 1 tonelada de clínquer de cimento gera 0,55 toneladas de CO₂. Os autores simplificam e assumem que para o fabrico de 1 tonelada de clínquer de cimento Portland produz-se 1 tonelada de CO₂.

Num estudo feito por Goggins et al. (2010), é referido que o Cimento Portland comum contribui com mais de 50% da energia incorporada para o betão e também refere, que o sector dos cimentos na Austrália, reduziu as emissões de CO₂ por tonelada em mais de 20%, entre 1990 e 2007.

2.3. Resíduos de Construção e Demolição

A indústria da construção é responsável pela produção de grandes quantidades de RCD, estima-se que gera por ano 100 milhões de toneladas de resíduos (WAMBUCO, 2002). Em Portugal não existem dados reais referentes à quantidade de RCD's gerados, sendo que os números divergem de autor para autor, mas estima-se que sejam na ordem dos 7,5 milhões de toneladas, perfazendo 22% do total de resíduos gerados no País (Algarvio, 2009).

Gonçalves (2007), refere que a vida útil dos primeiros edifícios de betão armado da década de 50 está a “caducar”, sendo possível um aumento acentuado na produção dos RCD.

Os RCD's são encarados assim, como um grande problema que trás consequências ambientais indesejadas. A gestão dos resíduos é um caminho a seguir para o desenvolvimento sustentável, na qual deve haver quadros legais que definam as políticas a tomar quanto à gestão de resíduos.

Em Portugal, no que concerne à gestão de resíduos, foi publicado em 2006, o Decreto-Lei nº 178, que define RCD, como *“resíduo proveniente de obras de construção, reconstrução, ampliação, alteração, conservação e demolição e da derrocada de edificações”*.

Em 2008, foi publicado o Decreto-Lei nº 46 que estabelece o *“regime das operações de gestão de resíduos resultantes de obras ou demolições de edifícios ou de derrocadas, (...) compreendendo a sua prevenção e reutilização e as suas operações de recolha, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação”*.

Temos também a Portaria n.º 292/2004, que define a Lista Europeia de Resíduos (LER) e vem catalogar os tipos de resíduos, bem como atribui um código a cada um deles. No que concerne aos resíduos da indústria da Construção estes estão agrupados, no capítulo 17.

Jalali e Torgal (2010), apontam um conjunto de aspectos negativos ao diploma, como por exemplo: não haver níveis mínimos de reciclagem nos projectos de construção e

o baixo custo estipulado de deposição em aterro dos RCD's, definidos em 2euros/ton.

Os RCD's podem ter vários destinos, reutilização dos mesmos sem que seja necessário processamento, a deposição em aterro, ou a reciclagem através do seu processamento num novo produto, como exemplo os agregados reciclados britados. A sua aplicabilidade na construção poderá ter vários destinos, argamassas, betões, sistemas de drenagens, pavimentos rodoviários, etc...

Segundo o Decreto-lei – 46/2008, a utilização de RCD em obra é feita em observância das normas técnicas nacionais e comunitárias aplicáveis. Ou através das especificações técnicas definidas pelo LNEC:

- a) Agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos (LNEC E 471:2006);
- b) Guia para a utilização de resíduos de construção e demolição em aterro e camada de leito de infra -estruturas de transportes (LNEC E 474:2006);
- c) Guia para a utilização de agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos (LNEC E 473:2006);
- d) Guia para a reciclagem de misturas betuminosas a quente em central (LNEC E 472:2006);

Nos casos concretos do aproveitamento de RCD's para agregados, a reciclagem do RCD está compreendida em diversas etapas, que contribuem para a qualidade do agregado produzido, a primeira etapa consiste na recolha dos RCD's e transporte até ao local da central da reciclagem, seguido da triagem que separa todo o material que não tem utilidade e que possa prejudicar a qualidade do agregado, nomeadamente papel, plástico, vidro, entre outros.

O processo seguinte consiste na redução da dimensão do RCD's, para torná-lo na dimensão do agregado possível de utilizar, esta redução é feita através de linhas de britagem, com equipamento diversificado que vai, depender da unidade e das características do agregado final a obter.

Num estudo realizado por Pereira et al. (2004), concluiu-se que uma central de reciclagem de agregados reduzirá grandes recursos de agregado natural primário consumido e diminuirá a necessidade de espaços para a deposição de RCD, o que poderá ser viável economicamente, mas que irá depender da sua localização.

Gonçalves, verificou também que no processo de britagem para a obtenção de agregados grossos reciclados, parte dos RCD produzidos são agregados finos, os quais podem ser utilizados para o fabrico de argamassas.(Gonçalves, 2007)

2.3.1. Betões com Incorporação de RCD's

Na pesquisa bibliografia efectuada foram encontrados vários estudos sobre o uso de agregados reciclados no betão, que demonstram a viabilidade da utilização de agregados reciclados para betão. (Correia, Brito, & Pereira, 2006)(Etxeberria, Vázquez, Marí, & Barra, 2007)(Zega, Villagran-Zaccardi, & Di Maio, 2010)(Corinaldesi & Mariconi, 2009)

Em Portugal, já está especificada a utilização de agregados reciclados grossos em Betões de Ligantes Hidráulicos, através da E 471-2006 produzida pelo LNEC. Nesta especificação “*estabelece os requisitos mínimos que deverão respeitar para poderem ser utilizados*” os agregados reciclados grossos em fabrico de betão. A especificação E 471-2006, estabelece 3 classes de agregados, identificando-as com ARB1, ARB2 e ARC, nos quais os ARB's têm como constituintes maioritariamente o betão, misturado ou não com agregados não ligados. No que respeita à classe ARC, tem como principais constituintes o betão, agregados não ligados e elementos de alvenaria.As percentagens de cada classe podem ser observadas no Quadro 3.

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

Quadro 3- Proporção dos Constituintes agregados reciclados (LNEC E 471, 2006)

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

Onde:

R_C - betão, produtos de betão e argamassas;

R_u -agregados não ligados, pedra natural e agregados tratados com ligantes hidráulicos;

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

R_A-materiais betuminosos;

FL_S- material pétreo flutuante;

FL_{NS} -material não pétreo flutuante;

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

R_G -vidro;

As classes de agregados ARB's, podem ser usados no fabrico de betão para aplicar em elementos de betão simples ou betão armado, mas com restrições nas proporções para aplicação em betão armado, representadas no Quadro 4 Os agregados da classe ARC, não podem ser aplicados em betões estruturais, limitando-se a betões de enchimentos ou regularização.

| Classe de agregados reciclados | Classe de resistência | Percentagem de incorporação | Classe de exposição ambiental |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| ARB1 | C40/50 | 25% | X0;XC1;XC2;XC3;XC4;XS1;XA1 |
| ARB2 | C35/45 | 20% | |

Quadro 4 - Classe de resistência, percentagem de incorporação e classe de exposição ambiental permitida (LNEC E 471, 2006)

A especificação, abre a porta à utilização de percentagens mais elevadas em relação às definidas, mas terão de se fazer estudos específicos que avaliam as suas propriedades.

Segundo Etxeberria, Vázquez, & Marí (2007), verificou-se que uma substituição até 25% de agregados grossos britados de resíduos de betão, por agregados convencionais, com a mesma dosagem de ligante e razão a/c não reduz a resistência à compressão. Para agregados finos de resíduos de betão reciclado, Evangelista & Brito (2007), referem que as percentagens podem chegar até 30% de substituição.

Para materiais como o tijolo britado, as percentagens podem chegar até 15%, sem perda de resistência e até 20% vai depender do tipo de tijolo (Cachim, 2009).

Para substituição de agregados a partir de 30% até à totalidade, as resistências têm quebras de 15% a 30%, sendo necessário o aumento da quantidade de ligante para se alcançar as resistências pretendidas (Khatib, 2005). Segundo Etxeberria, Vázquez, & Marí (2007) e Evangelista & Brito (2007), este aumento de ligante poderá não ser economicamente viável e ter aumentos nos impactos ambientais que não são desejáveis.

Um estudo recente demonstra que para betão estrutural da classe C32/40, é possível utilizar agregados reciclados finos e grossos na razão máxima de substituição de 30% (Corinaldesi, 2010).

Akash Rao et al (2007), fazem um apanhado de diversos estudos sobre as propriedades dos betões com agregados reciclados. Segundo estes autores, a trabalhabilidade do betão fresco feito com agregados reciclados é menor, quando comparado com betões tradicionais feitos com a mesma razão a/c. Este facto prende-se com a maior absorção de água por parte dos agregados reciclados, devido essencialmente à sua maior porosidade.

De entre os estudos de viabilidade económica, foi realizado um na Irlanda que refere que existe viabilidade económica, mas tinham inerentes variáveis como, o custo de aterro ser superior ao custo de levar os resíduos para a central de reciclagem e os custos do agregado primário ser superior ao agregado britado. Também é referido no estudo que centros em grande escala fazem diminuir os custos de produção dos agregados reciclados, sendo mais competitivos. (Duran, Lenihan, & O'Regan, 2006)

No Brasil, num estudo de viabilidade económica demonstrou-se que a viabilidade está nos centros de reciclagem de cariz público, com características específicas adaptadas aos municípios, porque a receita dos produtos transformados não permite que se abram centros privados, a viabilidade segundo o estudo está condicionada por a continuidade da produção e o volume de produção que se consegue atingir. (Nunes, Mahler, Valle, & Neves, 2007)

3. Caso de Estudo

No presente capítulo dá-se início ao estudo do caso prático, nele vão ser apresentados as matérias que foram tidos como base do estudo, bem como a explicação da metodologia aplicada.

Para a análise deste caso de estudo optou-se por um sistema que fosse uma aproximação a “Cradle-to-gate”, ou seja, desde a extracção/aquisição da matéria-prima até chegar ao local de produção.

O sistema proposto contempla a primeira etapa do LCA do produto, ou seja, Extracção/Aquisição da matéria-prima e transporte até à central de betão pronto, na qual o betão irá ser produzido, não sendo contabilizada a produção do betão. Os consumos para a produção dos betões, com agregados naturais britados ou com agregados reciclados, será igual.

Os fluxos do sistema são a introdução de Energia, expressa em MJ, para a realização do processo, e a saída do sistema são as emissões de Dióxido de Carbono, expressa em kgCO₂, permitindo fazer uma análise de sustentabilidade do produto e contabilizar o valor global da etapa e o impacto que ela terá no ambiente.

Para a contabilização Energia Incorporada (EmbodiedEnergy –EE) e Emissões de CO₂ incorporada (EmbodiedCarbon - EC) dos agregados naturais foi assumido os seguintes parâmetros: desmonte da rocha e britagem numa pedreira, carregamento do camião, transporte até a uma central de betão. As emissões referentes ao fabrico e rebentamento dos explosivos não foram contempladas.

Para a contabilização da EE e EC dos agregados reciclados foram assumidas as hipóteses de que os resíduos de construção e demolição são tratados numa pequena unidade de reciclagem móvel.

A unidade funcional escolhida foi o kg, tendo em conta que os materiais que compõem a composição do betão vêm expressos em kg, permitindo assim a comparação entre os diversos parâmetros, bem como facilitará na análise primordial dos artigos científicos consultados.

3.1. Materiais

3.1.1. Caracterização da Unidade de Reciclagem

A unidade de reciclagem em estudo é baseada numa unidade instalada em Montemor-o-Novo, inserida no projecto Reagir - Reciclagem de Entulho no Âmbito da Gestão Integrada de Resíduos. Esta unidade foi instalada com o objectivo de implementar soluções de gestão inovadoras que promovam a recolha selectiva, a reciclagem e a valorização dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD produzidos na área deste concelho, respondendo a um conjunto de problemas que estavam na origem dos depósitos ilegais dos RCD's.

Esta unidade possui interesse relevante para o estudo, devido às suas características, nomeadamente: a dimensão e a mobilidade do equipamento, que facilmente poderá ser transportado; o modelo da unidade para grandes obras, onde haja grandes volumes de RCD's e que sejam passíveis de serem reutilizados; bem com instalar facilmente este tipo de unidade em locais estratégicos em que haja grande afluência de resíduos de obras nas imediações da instalação.

A unidade de reciclagem compreende 3 fases fundamentais, a recepção dos resíduos, o processo de reciclagem e o armazenamento. Todo o processo começa com a chegada dos RCD's à unidade, na qual à uma inspecção visual seguida de um encaminhamento dos resíduos para locais diversificados, de acordo com as suas características. Seguidamente, encaminham-se os resíduos para a britagem e separação magnética, por fim é armazenado segundo a sua granulometria, conforme a planta da unidade na Figura 4.

A britadeira e respectivos crivos têm uma capacidade de produção 50t/h, no entanto, o sistema de alimentação da britadeira adoptado, nomeadamente a retroescavadora limita o rendimento a 22t/h.

Os agregados reciclados considerados no estudo, partem do pressuposto que cumprem os normativos da família da NP EN 933 e NP EN 1097, bem como o normativo referente à utilização de agregados reciclados grossos para a produção de betões de ligantes hidráulicos, NP EN 12620 e especificações LNEC E-469/2006,

sendo que estes possuem toda a capacidade para serem utilizados como betão nas suas várias utilizações.

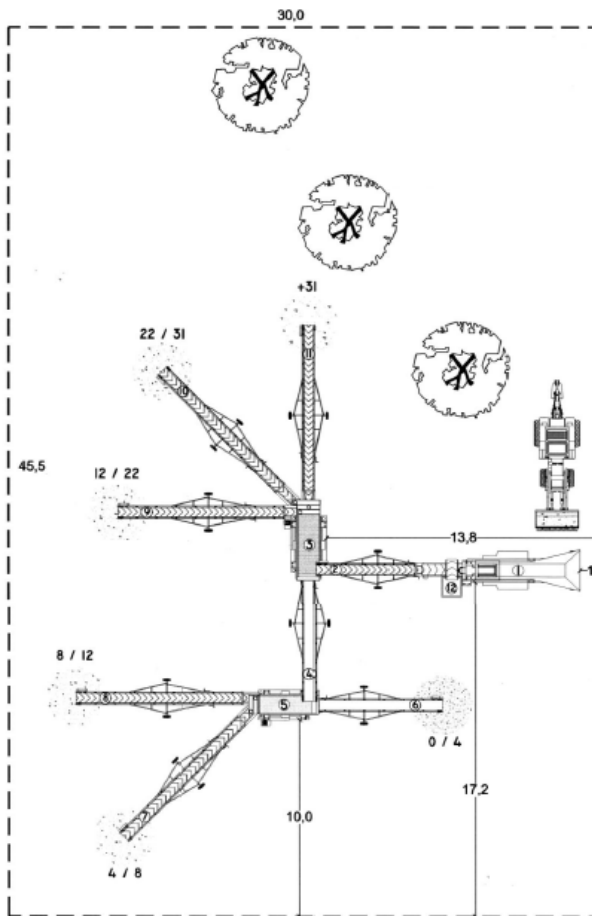


Figura 4 - Planta da Unidade de Reciclagem (Câmara Municipal de Montemor-o-Novo)

3.1.1.1. Equipamento da Unidade de Reciclagem

O equipamento utilizado na unidade de reciclagem é:

- Britadeira RubbleMaster RM60 LPB600 , potência 67kW e rendimento 50t/h, Figura 6;
- 1 crivo Tusa III Deck, potência 7,5C.V, 1 crivo Tusa II Deck, potência 5 C.V, Figura 7;
- 1 Retroescavadora, potência 71 kW/97 CV CEE 80/126956kW e rendimento 22t/h, Figura 5;
- 1 Camião, potência 260C.V; capacidade 14t;



Figura 5 - Retroescavadora



Figura 6 - Britadeira RubbleMaster



Figura 7 - Crivos Tusa

Na Quadro 5, está resumida a fonte de Energia do equipamento, bem como a energia incorporada e emissões de CO₂, por kg de material. As tabelas de cálculo estão apresentadas em Anexo.

| | Fonte | Energia (kWh/kg) | Energia incorporada (MJ/kg) | Coefficiente CO ₂ (kgCO ₂ /kWh) [†] | Emissões CO ₂ (kgCO ₂ /kg) |
|---|---------------|------------------|-----------------------------|--|--|
| Retroescavadora (71 kW/97 CV CEE 80/1269) | Gasóleo | 0,0033 | 0,0116 | 0,253 | 0,0008 |
| Britadeira (RubbleMaster RM60 LPB600) | Gasóleo | 0,0031 | 0,0109 | 0,253 | 0,0008 |
| 7 Tapetes de transporte | Electricidade | 0,0005 | 0,0018 | 0,157 | 0,00079 |
| 2 Crivos | Electricidade | 0,0004 | 0,0015 | 0,157 | 0,00066 |
| Camião (motor 260 HP) | Gasóleo | 0,0043 | 0,0156 | 0,253 | 0,0011 |
| Total | - | 0,0115 | 0,0415 | - | 0,0028 |

Quadro 5- - Resumo do EE e EC do equipamento da Unidade de Reciclagem

3.1.1.2. Caracterização da Pedreira

A Pedreira utilizada para o estudo fica situada na Zona de Montemor-o-Novo e é explorada para fins industriais, nomeadamente agregado para a indústria da construção. A matéria-prima é o granodiorito.

O processo de fabrico do agregado tem início com a perfuração da frente da pedreira para o desmonte com explosivo, após o desmonte, os blocos de rocha são transportados até à linha de britagem. A pedreira em estudo possui duas linhas de britagem, designada por linha de britagem principal e linha de britagem secundária. Para o estudo, vai contabilizar-se apenas a linha de britagem principal, que é composta por 3 sistemas: o sistema primário, o secundário e o terciário, responsáveis para produção da granulometria do agregado em estudo. Por fim o agregado é armazenado em pilhas, segundo as suas granulometrias.

O rendimento da linha de britagem corresponde ao menor dos rendimentos do equipamento presente na linha de britagem, neste caso são 72ton/h.

^{††} Fonte: Conversion Factors: Energy and carbon conversion, Carbon Trust, DEFRA 2009

3.1.1.3. Equipamento da Pedreira

O equipamento utilizado na pedreira é:

- Perfuradora AtlasCopcoRoc D5-11, Potência 117kW, Figura 10;
- Moinho de maxilas Sandevik JM1312HD, Potência 160kW, Figura 8;
- Moinho cônico Nordberg HP400, Potência 315 kW, Figura 9;
- Moinhos cônicos Nordberg HP300, Potência 200 kW
- 3 Crivos, Potência 30 kW cada, Figura 11;
- Dumper Caterpillar 769D, Potência 365 kW, Figura 14;
- Pá Carregadora Caterpillar 980G, Potência 224 kW, ;
- Escavadora giratória DoosanDx 480LC, Potência 248 kW, Figura 12;
- Camião Volvo FMX D11C450, Potência 332kW;



Figura 8- Moinho de maxilas



Figura 9 - Moinho cónico Nordberg



Figura 10- Perfuradora Atlas



Figura 11- Crivo



Figura 12 - Escavadora Giratória



Figura 13 - Pá Carregadora Caterpillar



Figura 14- Dumper Caterpillar

Na Quadro 6, está resumida a fonte de energia do equipamento, bem como a energia incorporada e emissões de CO₂, por kg de material. As tabelas de cálculo encontram-se em Anexo.

| | Fonte | Energia (kWh/Kg) | Energia (MJ/kg) | Coefficiente CO ₂ (kgCO ₂ /KWh) | CO ₂ (KgCO ₂ /kg) |
|---------------------------------------|---------------|------------------|-----------------|---|---|
| Perfuradora (Atlas CopcoRoc D5-11) | Gasóleo | 0,000815 | 0,00293 | 0,253 | 0,0002063 |
| Escavadora giratória (DoosanDx 480LC) | Gasóleo | 0,000321 | 0,00115 | 0,253 | 0,000812 |
| Dumper (Caterpillar 769D) | Gasóleo | 0,001983 | 0,00714 | 0,253 | 0,0005018 |
| Linha de britagem | Electricidade | 0,0106 | 0,03824 | 0,157 | 0,0016681 |
| Pá Carregadora (Caterpillar 980G) | Gasóleo | 0,000615 | 0,00221 | 0,253 | 0,0001557 |
| Total | - | 0,01436 | 0,05169 | 1,169 | 0,0026133 |

Quadro 6 - Resumo do EE e EC do equipamento da Pedreira

3.2. Métodos

Neste capítulo descreve-se a metodologia adoptada na dissertação trabalho, os dados necessários foram obtidos através de cálculo, ou através de estudos de referência feitos sobre os materiais em questão.

Para os cálculos da EE e EC dos materiais areia, água e cinzas volantes foram utilizadas as tabelas do Inventário de Carbono e Energia da Universidade de Bath, do Reino Unido, versão 1.6a (Hammond & Jones, 2008).

Para o cálculo da EE, e EC, do agregado natural britado e reciclado, foi necessário conhecer os consumos de todo o equipamento inerente à execução do processo. O equipamento considerado foi rigorosamente igual ao presente nas instalações, quer da pedreira, quer da unidade de reciclagem. As conversões foram feitas através das tabelas de conversão (ConversionFactors, Carbon Trust), uma adaptação de uma publicação do Department of Environment, Food and Rural Affairs.

No que respeita ao cimento, foi utilizado o relatório de sustentabilidade da SECIL Outão de 2008, em que vêm referido EE e EC necessário à sua produção.

As emissões de CO₂ inerentes à energia eléctrica utilizada foram contabilizadas através do “relatório e contas 2009”, da EDP. Este dá-nos o valor exacto das emissões de CO₂ emitido para a produção da energia eléctrica, referente a Portugal.

Não foram contabilizadas as emissões de CO₂, nem a energia necessária para produzir os produtos auxiliares, tais como: equipamentos, explosivos, consumíveis inerentes à utilização dos equipamentos. A contabilização destes seria extrapolar o objectivo do estudo, abrindo variáveis ao sistema difíceis de controlar e contabilizar, que envolviam a dependência de demasiados factores.

O âmbito do estudo não englobou a aplicação do betão, no entanto é importante referir que no processo de hidratação do betão há emissões significativas de CO₂, que num estudo mais abrangente aumentaria as emissões.

3.2.1. Composições dos Betões

Para este estudo foram escolhidas 4 composições de betões, sendo todas elas utilizadas na região. O cimento utilizado em todas as composições foi o CEM II/A – L 42,5 R.

Consideraram-se dois betões sem nenhuma adição de cinzas volantes e dois com a incorporação de cinzas volantes, cujas classes de resistência são C20/25 e C35/45, de acordo com a Quadro 7.

| | C20/25 (35%cinzas) | C20/25 (0% Cinzas) | C35/45 (35%cinzas) | C35/45 (0% Cinzas) |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R (kg) | 192 | 215 | 260 | 350 |
| Cinzas Volantes (kg) | 103 | 0 | 140 | 0 |
| Brita 2 (0-12,5mm) (kg) | 438 | 397 | 252 | 255 |
| Brita 1 (0-22mm) (kg) | 625 | 576 | 719 | 667 |
| Areia grossa (kg) | 571 | 717 | 556 | 645 |
| Areia fina (kg) | 244 | 307 | 238 | 277 |
| Adjuvantes (kg) | 3,75 | 3,01 | 6,8 | 6,8 |
| Água (L) | 162 | 153 | 153 | 163 |
| Consistência | S3 | S3 | S4 | S4 |

Quadro 7 - Composições dos Betões de referência

A partir das composições da Quadro7, procedeu-se à substituição dos agregados grossos por agregados reciclados grossos, nas proporções de 10%, 20%, 30% e 100. Optou-se por 10%, 20% e 30%, visto que segundo a revisão bibliográfica quando ultrapassados estes valores a classe de resistência do betão diminuí.

Os valores das composições com substituição podem ser observados no Quadro 8 a 11.

| | RCD 0% | RCD 10% | RCD 20% | RCD 30% | RCD 100% |
|--------------------------------|--------|---------|---------|---------|----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R (kg) | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 |
| Cinzas Volantes (kg) | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 |
| Agregado Britado (kg) | 1063 | 956,7 | 850,4 | 744,1 | 0 |
| Agregado reciclado (kg) | 0 | 106,3 | 212,6 | 318,9 | 1063 |
| Areia (kg) | 815 | 815 | 815 | 815 | 815 |
| Água (L) | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 |

Quadro 8 - Betão C20/25 (35%cinzas)

| | RCD 0% | RCD 10% | RCD 20% | RCD 30% | RCD 100% |
|--------------------------------|--------|---------|---------|---------|----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R (kg) | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 |
| Cinzas Volantes (kg) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Agregado Britado (kg) | 973 | 875,7 | 778,4 | 681,1 | 0 |
| Agregado reciclado (kg) | 0 | 97,3 | 194,6 | 291,9 | 973 |
| Areia grossa (kg) | 1024 | 1024 | 1024 | 1024 | 1024 |
| Água (L) | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 |

Quadro 9 - Betão C20/25 (0% Cinzas)

| | RCD 0% | RCD 10% | RCD 20% | RCD 30% | RCD 100% |
|--------------------------------|--------|---------|---------|---------|----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R (kg) | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 |
| Cinzas Volantes (kg) | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 |
| Agregado Britado (kg) | 971 | 873,9 | 776,8 | 679,7 | 0 |
| Agregado reciclado (kg) | 0 | 97,1 | 194,2 | 291,3 | 971 |
| Areia grossa (kg) | 794 | 794 | 794 | 794 | 794 |
| Água (L) | 0,39 | 0,39 | 0,39 | 0,39 | 0,39 |

Quadro 10 - C35/45 (35%cinzas)

| | RCD 0% | RCD 10% | RCD 20% | RCD 30% | RCD 100% |
|--------------------------------|--------|---------|---------|---------|----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R (kg) | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 |
| Cinzas Volantes (kg) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Agregado Britado (kg) | 922 | 829,8 | 737,6 | 645,4 | 0 |
| Agregado reciclado (kg) | 0 | 92,2 | 184,4 | 276,6 | 922 |
| Areia grossa (kg) | 922 | 922 | 922 | 922 | 922 |
| Água (L) | 163 | 163 | 163 | 163 | 163 |

Quadro 11 - C35/45 (0% Cinzas)

Para cada um destes betões serão efectuados os cálculos da EE e EC.

Para este estudo os valores dos betões sem RCD's servem como referência para as restantes composições. As composições com incorporação de RCD's, encontram-se nas tabelas em Anexo.

Também é importante referir que a utilização dos agregados reciclados, irá diminuir as resistências das composições, segundo os estudos abordados na revisão bibliográfica, pelo que para poder ter as resistências pretendidas com agregados reciclados, implica os aumentos do teor em ligante, sendo que este não foi contabilizado. No estudo assumiu-se que as resistências não decresciam com a substituição do agregado.

3.2.2. Transporte

Além dos cálculos de EE e EC para os materiais, também são considerados os seus valores para o transporte.

Neste estudo, foi considerada a distância média da proveniência de que cada material, desde a sua extracção até à central de Betão Pronto. É importante referir que a distância considerada, representa um ciclo, na qual o veículo terá de ir e voltar, pelo que os quilómetros contam a dobrar.

3.2.3. Custos

Um dos pilares do desenvolvimento sustentável contempla a parte económica, por isso é interessante fazer uma análise de custos dos betões com incorporação de resíduos de construção e demolição.

Nesta análise vão ser utilizados os mesmos parâmetros e fronteiras da análise da sustentabilidade, permitindo fazer um paralelismo com as componentes ambientais dos betões em estudo.

Deste modo, é definido como fronteiras o custo da fabricação das matérias-primas, (britas, areias, cimento, agregado reciclado, cinzas volantes) e o transporte à central de Betão. Extrapolar esta fronteira, não iria acrescentar interesse aos parâmetros seleccionados no estudo, visto que os custos de fabricação do betão serão iguais para quaisquer composições, após entrada do material na central.

Os valores considerados para o material e transporte, servem apenas como referência, pois existem variáveis difíceis de contabilizar para um estudo desta característica. Factores como o IVA, ou descontos por quantidades, variações nos custos dos combustíveis, custos indirectos associados aos equipamentos ou inflação anual.

4. Resultados obtidos

Neste capítulo são apresentados os resultados referentes a cada uma das composições em estudo.

4.1. Composições dos betões

No Quadro 12 - Consumo de Energia do Emissões de CO₂ do material, estão apresentados os consumos de energia e emissões de CO₂, associados a cada material, bem como a respectiva fonte onde os valores foram identificados.

| | Consumo de Energia material (Mj/kg) | Emissões de CO ₂ mateiral(KgCO ₂ /kg) | Fonte |
|---------------------------|-------------------------------------|---|---|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 2,777 | 0,641 | Relatório Sustentabilidade Secil Outão 2008 |
| Cinzas Volantes | 0,1 | 0,01 | Inventory Carbon & Energy 1.6 a U. Bath |
| Agregado natural britado | 0,052 | 0,003 | Cálculo |
| Agregado reciclado | 0,042 | 0,003 | Cálculo |
| Areia grossa | 0,1 | 0,005 | Inventory Carbon & Energy 1.6 a U. Bath |
| Água | 0,2 | 0 | Inventory Carbon & Energy 1.6 a U. Bath |

Quadro 12 - Consumo de Energia do Emissões de CO₂ do material

Verifica-se que o cimento é o principal responsável pelo consumo de Energia por kg e emissões de CO₂.

4.2. Transporte

Na Quadro 13, são indicados os consumos por kg, associados a cada material e respectiva distância que os mesmos terão de percorrer, na Quadro 14 estão apresentadas as emissões de CO₂, por kg, associadas ao material.

| | Transporte | Distância (Km) (fonte:googlemaps) | Consumo de energia transporte [†] (MJ/kg.Km) | Consumo de energia transporte (MJ/kg) |
|---------------------------|------------------|--------------------------------------|---|--|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | Outão - Évora | 206 | 0,000402 | 0,083 |
| Cinzas Volantes | Sines - Évora | 258 | 0,000402 | 0,104 |
| Agregado natural britado | Montemor - Évora | 30 | 0,000402 | 0,012 |
| Agregado reciclado | Montemor - Évora | 30 | 0,000402 | 0,012 |
| Areia grossa | Grandola - Évora | 170 | 0,000402 | 0,068 |
| Água | Évora | 0 | 0,000402 | 0 |

Quadro 13 - Consumo de Energia no Transporte dos materiais

| | Transporte | Distância (Km) | Emissões de CO ₂ transporte [§] (KgCO ₂ /kg.Km) | Emissões de CO ₂ transporte (KgCO ₂ /kg) |
|---------------------------|------------------|----------------|--|---|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | Outão - Évora | 206 | 0,000089 | 0,018 |
| Cinzas Volantes | Sines - Évora | 258 | 0,000089 | 0,023 |
| Agregado natural britado | Montemor- Évora | 30 | 0,000089 | 0,0027 |
| Agregado reciclado | Montemor- Évora | 30 | 0,000089 | 0,0027 |
| Areia grossa | Grandola - Évora | 170 | 0,000089 | 0,015 |
| Água | Évora | 0 | 0,000089 | 0 |

Quadro 14 - Emissões de CO₂ do transporte dos materiais

^{††} Fonte: Transportation Energy Data Book, Edition 29, EUA 2010

[§] Fonte: Sustainability Report, DB Mobility Networks Logistics, 2009

Assim, pudemos observar no Gráfico 9 - Consumo de Energia incorporada no transporte por material (%) e no Gráfico 10 - Emissões de CO₂ no transporte por material (%), que as cinzas volantes apresentam 37% das emissões e consumo energético, seguido do cimento com 30%, da areia grossa com 25% e do agregado britado 4%, estes valores prendem-se com as distâncias nas quais os materiais têm que percorrer até ao local onde será produzido o Betão.

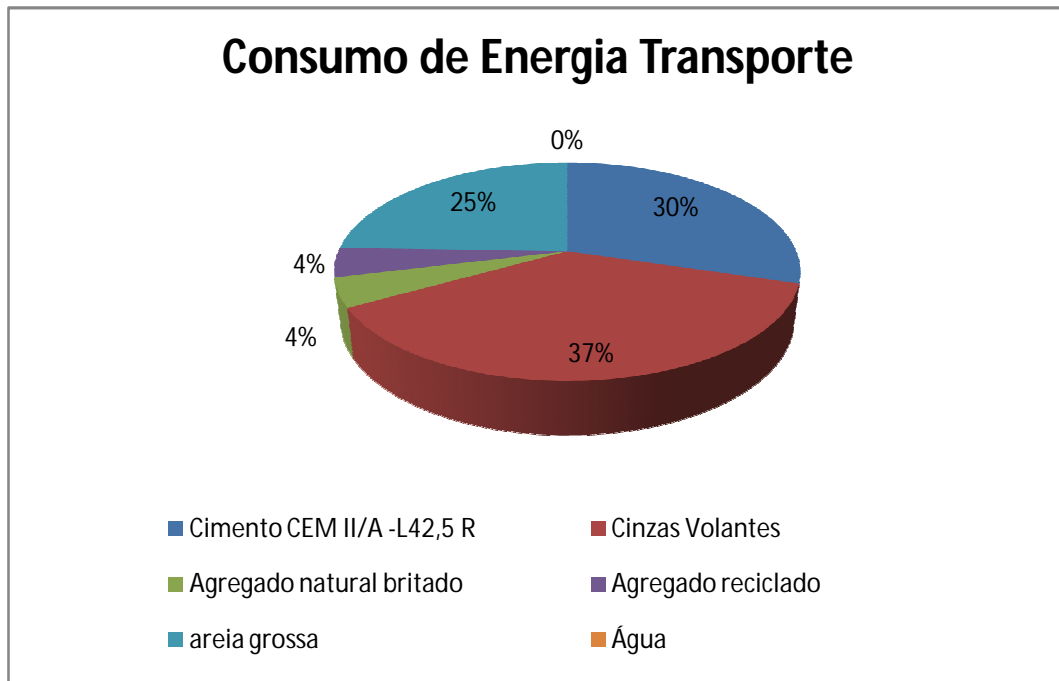


Gráfico 9 - Consumo de Energia incorporada no transporte por material (%)

Também se pode observar que os valores de Energia e emissões CO₂ são iguais, isto deve-se à fonte de energia utilizada no, transporte Rodoviário, nomeadamente o Gasóleo, o que faz com que estes dois parâmetros sejam directamente proporcionais.

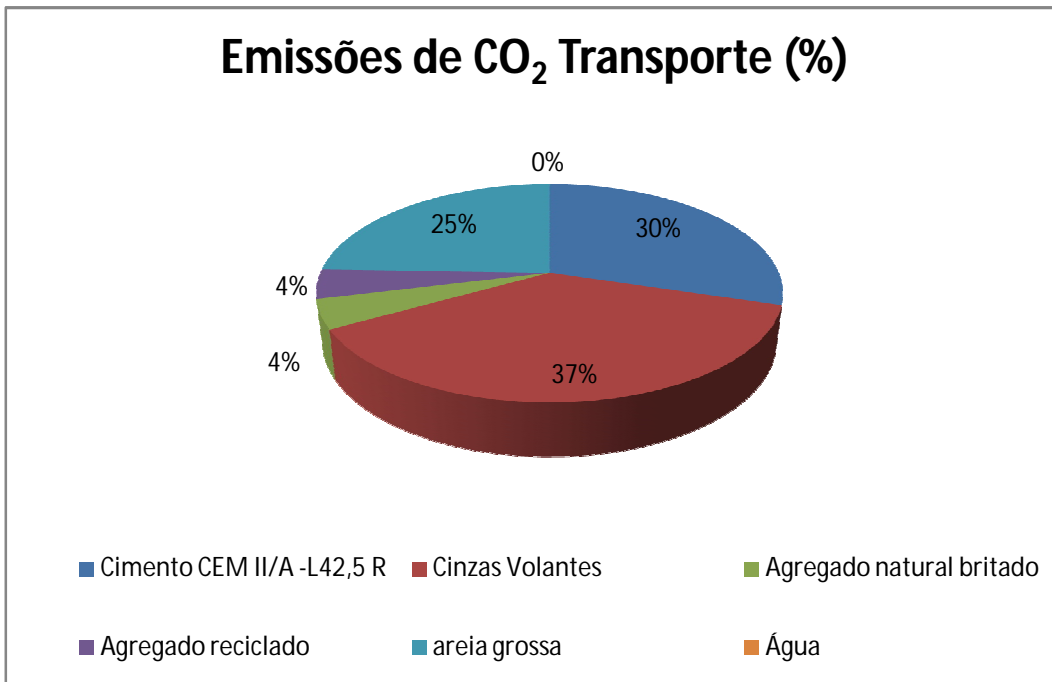


Gráfico 10 - Emissões de CO₂ no transporte por material (%)

Constata-se que o transporte assume valores de EE e EC, que não devem ser negligenciados.

4.3. Custos

No Quadro 15, estão apresentados os custos (€/ton), de cada um dos materiais que fazem parte das composições dos betões, este encontra-se dividido em Matéria-Prima e transporte. Os materiais que têm custos mais elevados são o cimento, seguidos das cinzas volantes. O que tem menor custo é o agregado reciclado. É interessante ver que o cimento é o que têm custos mais elevados como matéria-prima, no entanto, as cinzas volantes têm maior custo no que respeita ao transporte. O mesmo acontece com o agregado grosso, em que o custo da matéria-prima da matéria reciclada é menor, mas tem um custo de transporte superior ao do agregado natural britado.

| | Custo (€/ton) | | |
|--------------------------|---------------|------------|-------|
| | Matéria-prima | Transporte | Total |
| Agregado Natural Britado | 6,35 | 2,4 | 8,75 |
| Agregado reciclado | 2 | 3 | 5 |
| Areia | 6,7 | 3,5 | 10,2 |
| Cimento | 103,45 | 8,75 | 112,2 |
| Cinzas volantes | 32,6 | 11,95 | 44,55 |

Quadro 15 - Custo do material e transporte

Na Quadro 16, estão apresentados os custos das várias composições de betões, com as diversas percentagens de substituição de agregado natural por agregado reciclado. As quantidades foram as utilizadas anteriormente, presentes nas Quadro 8, 9, 10 e 11, para cada composição.

| Custo (€)por m ³ | RCD 0% | RCD 10% | RCD 20% | RCD 30% | RCD 100% |
|-----------------------------|--------|---------|---------|---------|----------|
| C20/25 (35%cinzas) | 43,75 | 43,35 | 42,95 | 42,55 | 39,76 |
| C20/25 (0% Cinzas) | 43,08 | 42,72 | 42,35 | 41,99 | 39,43 |
| C35/45 (35%cinzas) | 52,00 | 51,64 | 51,28 | 50,91 | 48,36 |
| C35/45 (0% Cinzas) | 56,74 | 56,40 | 56,05 | 55,70 | 53,28 |

Quadro 16 - Custo de várias composições de betão, com incorporação de diversas quantidades de RCD's

5. Análise e discussão dos resultados

O Presente capítulo é destinado à análise e discussão dos resultados obtidos.

5.1. Energia Incorporada e Emissões de CO₂ dos Betões

Na Quadro 17 estão presentes os valores de consumo de energia, para todos os materiais que compõem o betão. Esta tabela esta dividida em energia incorporada pelo material e energia responsável pelo seu transporte, acontecendo o mesmo para as emissões de CO₂, na Quadro 18.

| | Consumo de Energia material (MJ/kg) | Consumo de energia transporte (MJ/kg) | Consumo de Energia total (MJ/kg) |
|---------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 2,778 | 0,083 | 2,861 |
| Cinzas Volantes | 0,1 | 0,104 | 0,204 |
| Agregado natural britado | 0,052 | 0,012 | 0,064 |
| Agregado reciclado | 0,042 | 0,012 | 0,056 |
| Areia grossa | 0,1 | 0,068 | 0,168 |
| Água | 0,2 | 0 | 0,2 |

Quadro 17 - Síntese do consumo de energia por materiais

| | Emissões de CO ₂ material (KgCO ₂ /kg) | Emissões de CO ₂ transporte (KgCO ₂ /kg) | Emissões de CO ₂ total (KgCO ₂ /kg) |
|---------------------------|--|--|---|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 0,641 | 0,018 | 0,659 |
| Cinzas Volantes | 0,01 | 0,023 | 0,033 |
| Agregado natural britado | 0,0026 | 0,0027 | 0,0053 |
| Agregado reciclado | 0,0028 | 0,0027 | 0,0055 |
| Areia grossa | 0,005 | 0,015 | 0,0201 |
| Água | 0 | 0 | 0 |

Quadro 18 - Síntese das emissões de CO₂ dos materiais

Ao analisarmos os resultados dos materiais apresentados dos Quadros 14 e 15 em conjunto com cada um dos betões em estudo, podemos obter os resultados apresentados no Gráficos 11 ao Gráfico 30.

5.1.1. Betão C20/25 com 0% Cinzas Volantes

No Betão C20/25 sem cinzas volantes (Gráfico 11), o cimento é o material que apresenta mais energia incorporada com aproximadamente 615 MJ, seguido da areia grossa com 172,4MJ. Este facto está relacionado com a utilização da areia grossa em maiores quantidades. As emissões de CO₂, seguem o comportamento idêntico ao da energia incorporada, com 141,8 KgCO₂ emitida pelo cimento e 20,6 KgCO₂ pela areia grossa.

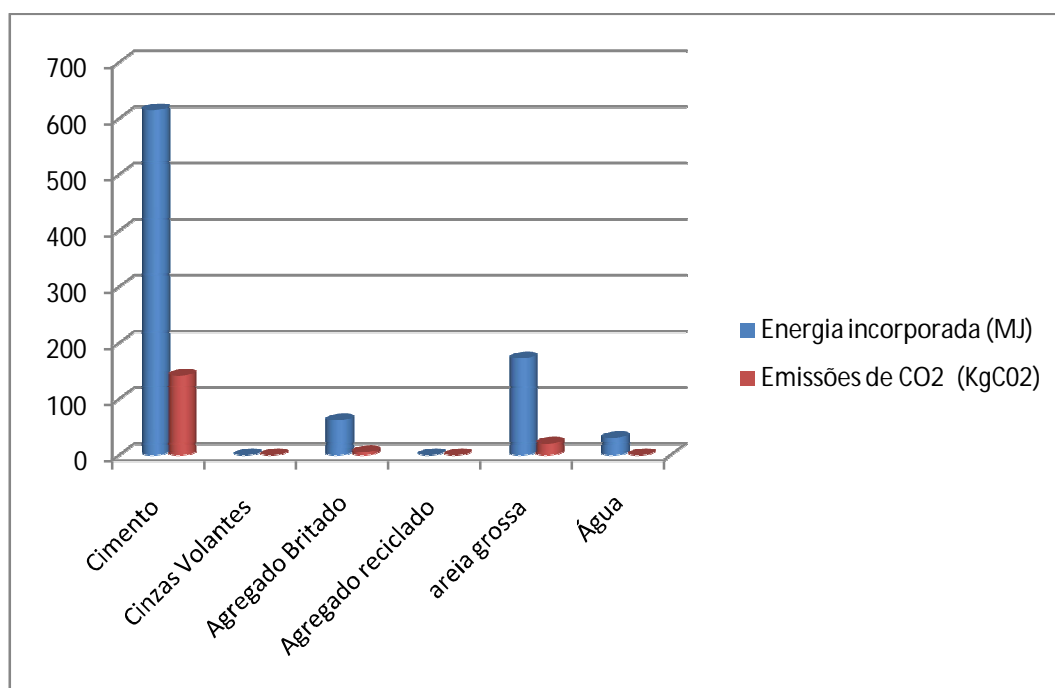


Gráfico 11 - C20/25 (0% Cinzas) RCD 0%

Com a substituição de 10% dos agregados britados por reciclados (Gráfico 12), os números referentes ao cimento e areia ficaram iguais, mas o agregado britado reduziu a energia incorporada em 6,2 MJ, passando para 55,8 MJ. Quanto às emissões de CO₂ houve aproximadamente uma redução de meio quilograma de CO₂ emitido.

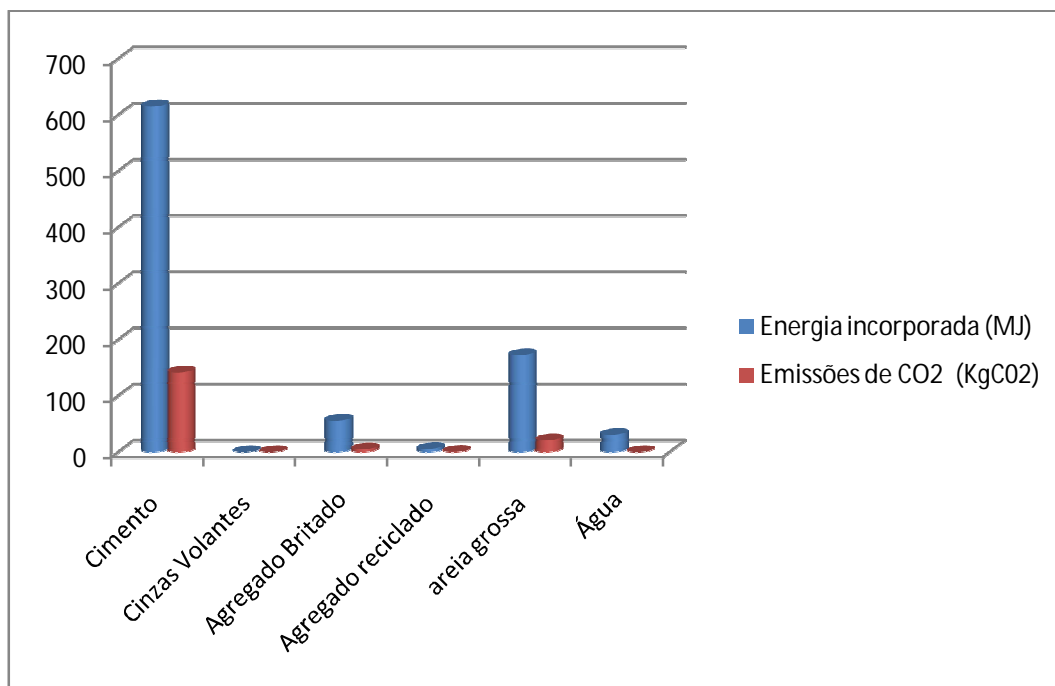


Gráfico 12 -C20/25 (0% Cinzas) RCD 10%

A mesma composição, mas com a substituição por 20% de agregados reciclados (Gráfico 13), resulta numa descida de 18,6MJ no agregado britado e com um impacto relativo do agregado reciclado que já possui 10,4 MJ. A emissão de CO₂ por parte do agregado reciclado começa a ser significativa, com aproximadamente 1Kg de CO₂ emitido. O agregado natural britado tem emissões na ordem dos 3,4Kg.

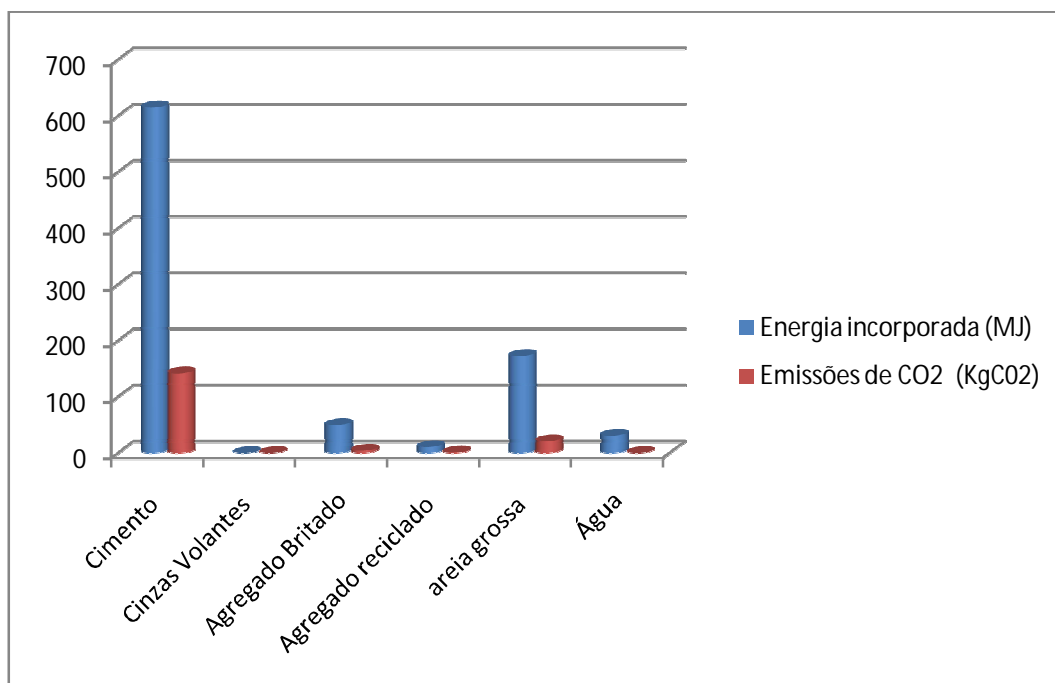


Gráfico 13 -C20/25 (0% Cinzas) RCD 20%

O betão com a substituição por agregados na ordem dos 30% (Gráfico 14), faz com que o consumo de energia do agregado britado passe para 43,4MJ e o agregado reciclado passa a ser responsável por 15,6 MJ da energia necessária para 1m³ daquela composição de betão. As emissões de CO₂ dos agregados são 3,59kg e 1,6Kg, respectivamente para o agregado britado e para o agregado reciclado.

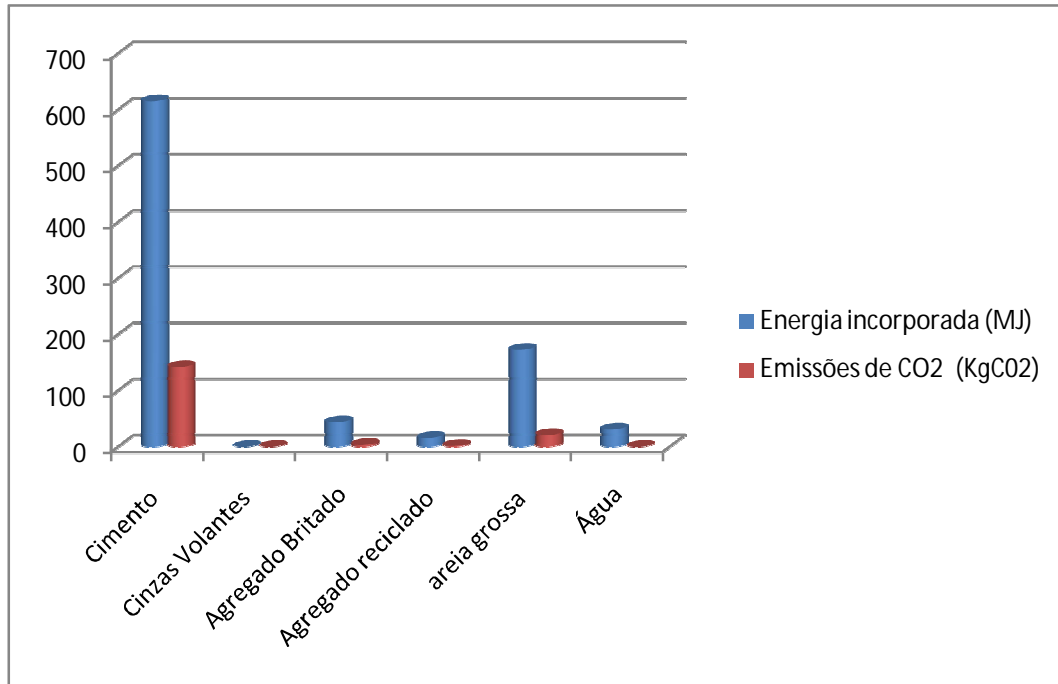


Gráfico 14 - C20/25 (0% Cinzas) RCD 30%

Com a substituição total do agregado britado (Gráfico 15), este deixa de ter expressão, pelo que o agregado reciclado passa a consumir 52,1 MJ e a emitir 5,3 KgCO₂. Face ao valor de referência verifica-se que, com o agregado reciclado é necessária menos energia, mas ao invés, mais emissões de CO₂.

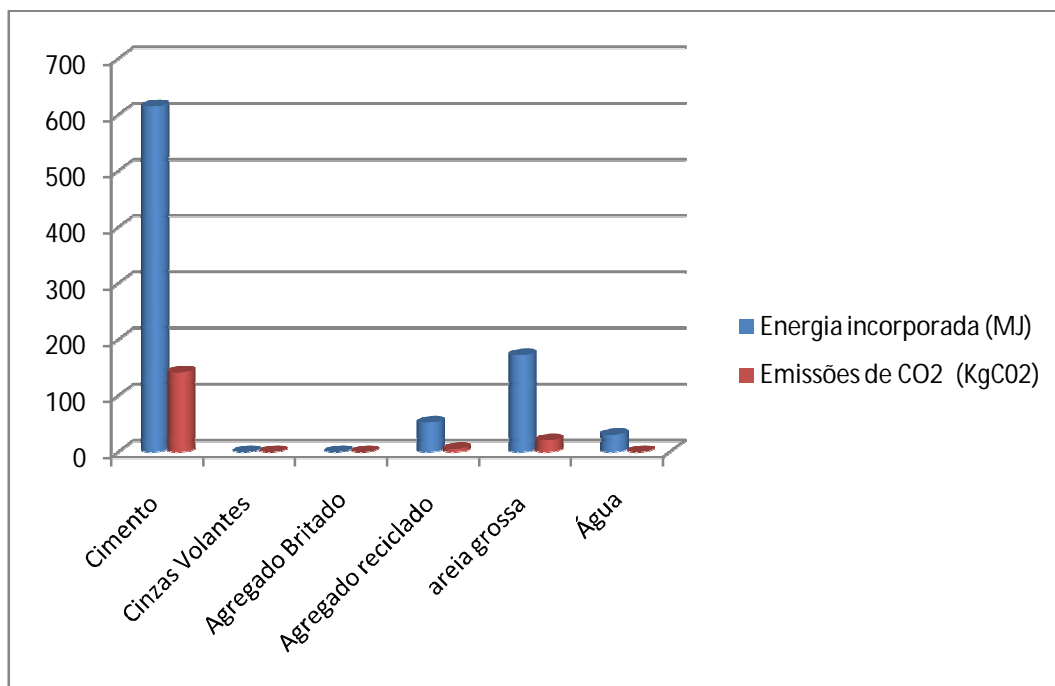


Gráfico 15- C20/25 (0% Cinzas) RCD 100%

No Gráfico 16 podemos ver que a composição sem agregado reciclado, tem uma energia incorporada de 880 MJ, sendo que a composição que contem apenas agregado reciclado consome aproximadamente menos 10 MJ que a composição de referência, ou seja sem agregados reciclados.

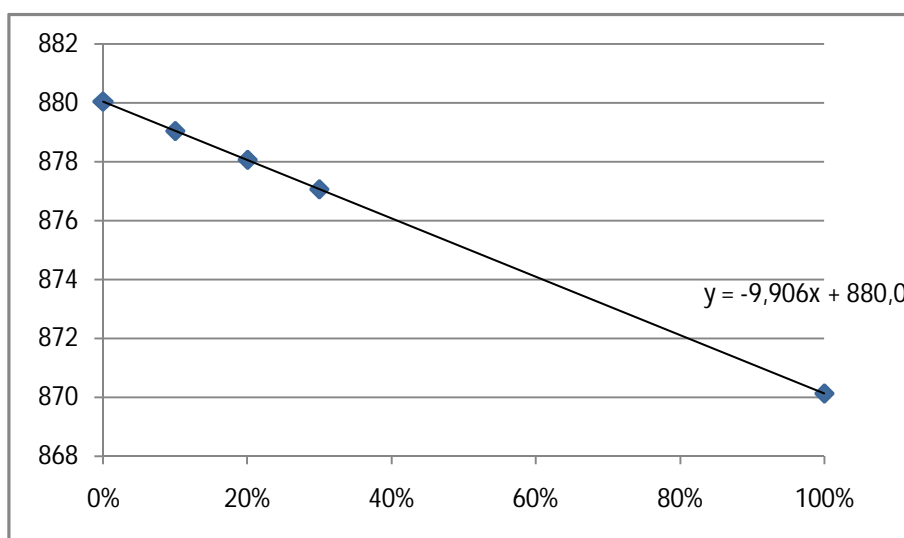


Gráfico 16- Energia incorporada (MJ) C20/25 S3 (0% Cinzas) 0% RCD's

No Gráfico 17 podemos ver que a composição sem agregado reciclado, tem umas emissões de CO₂ de 167,5 kgCO₂, sendo que a composição que contem apenas agregado reciclado consome 167,7 kgCO₂ que a composição de referência, ou seja sem agregados reciclados.

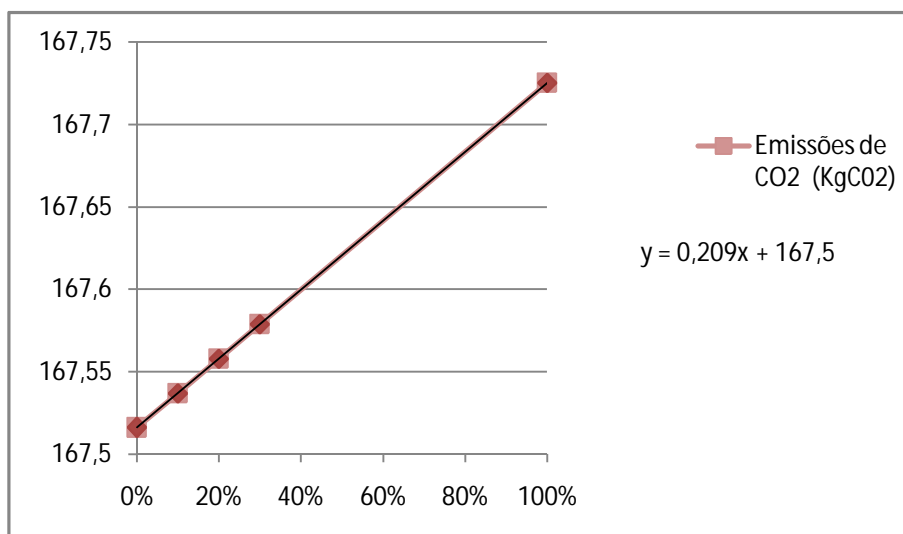


Gráfico 17 - Emissões de CO₂ (KgCO₂) C20/25 S3 (0% Cinzas)

5.1.2. Betão C20/25 com 35% Cinzas Volantes

A diferença desta composição (Gráfico 18) em relação às referidas anteriormente está na utilização de cinzas volantes, na razão de 35%, sendo que as classes de resistência e de abaixamento são iguais. A incorporação de cinzas volante vai diminuir a quantidade de cimento necessária. Sendo que o cimento continua a ser o material preponderante a nível de consumo de Energia, com 549,2 MJ, seguido da areia grossa com 137,2MJ, do agregado britado, 67,8MJ, da água com 32,4MJ, por fim as cinzas volantes que requerem 20,9 MJ. No que respeita às emissões de CO₂, o cimento emite 126,6Kg, seguido da areia grossa 16,4Kg, agregado britado 5,6kg e por fim cinzas volantes 3,4kg.

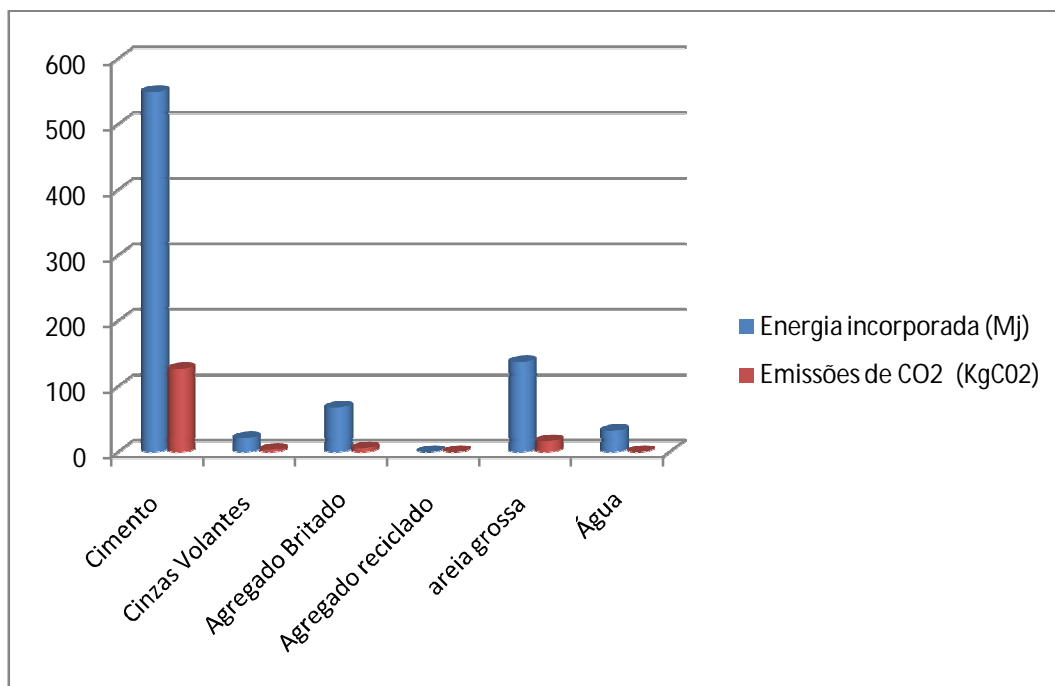


Gráfico 18- C20/25 (35%cinzas) RCD 0%

No gráfico 19 podemos ver que a substituição em 10% do agregado britado por agregado reciclado, não vai alterar a energia incorporada, nem as emissões de CO₂, do cimento, cinzas volantes, areia grossa e água, no entanto, para o agregado britado à uma redução de aproximadamente 60,9 MJ, com emissões de aproximadamente 5,1kgCO₂. No que concerne ao agregado reciclado este ainda não possui grande expressão nos totais.

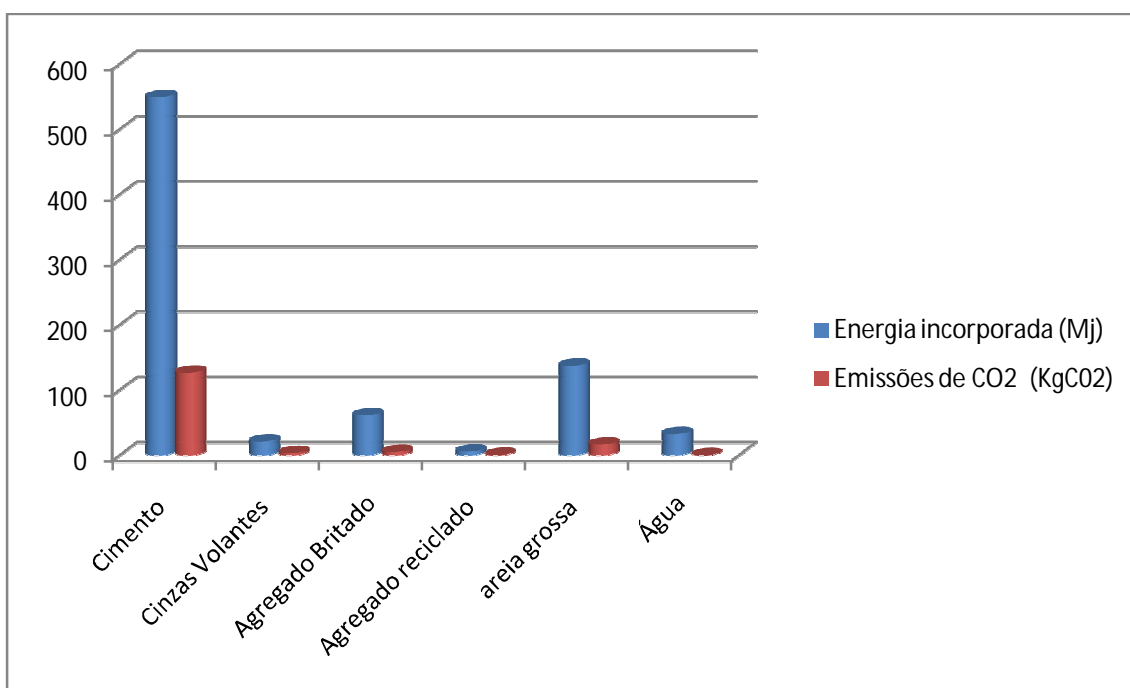


Gráfico 19 - C20/25 (35%cinzas) RCD 10%

Com a substituição em 20% de agregados naturais por reciclados (Gráfico 20), verifica-se que os agregados naturais, passam a ter uma energia incorporada de 54,1 MJ e uma emissão de CO₂ de aproximadamente 4,5 kg. O agregado reciclado tem um consumo de 11,4 MJ e emissões de aproximadamente 1,7 kgCO₂.

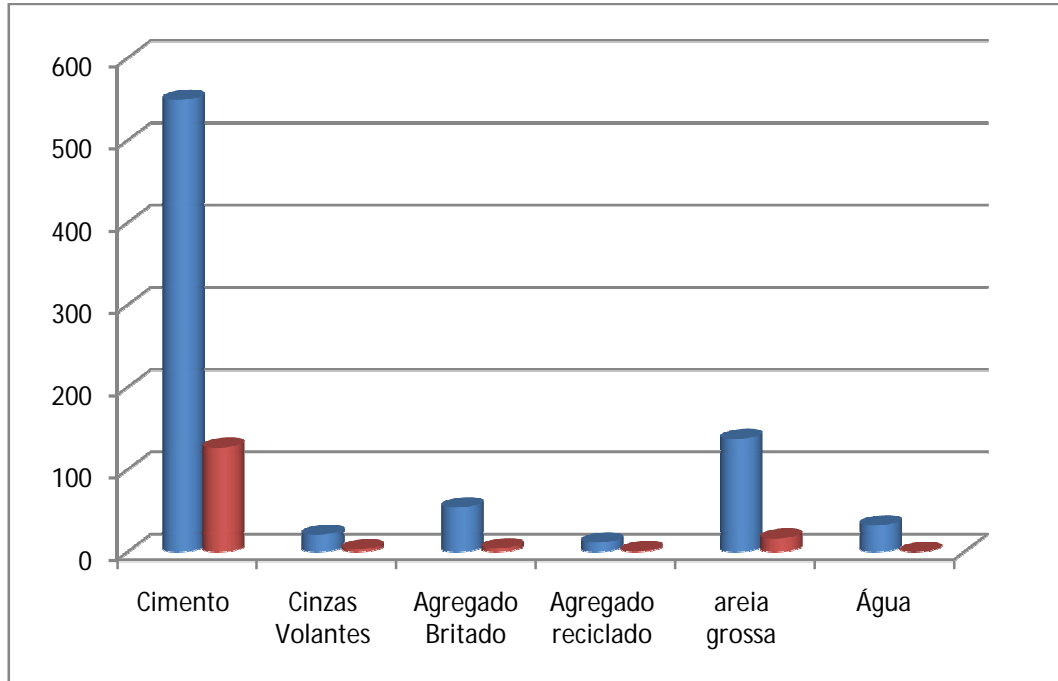


Gráfico 20 - C20/25 (35%cinzas) RCD 20%

No gráfico 21 a composição incorpora 30% de agregados reciclados. Verifica-se um aumento significativo da importância que o agregado reciclado tem na energia incorporada, com valores na ordem do 17MJ e emissões na ordem dos 1,8 kgCO₂, o agregado britado tem os valores de 47,4MJ e 3,9 kgCO₂, respectivamente energia e emissões.

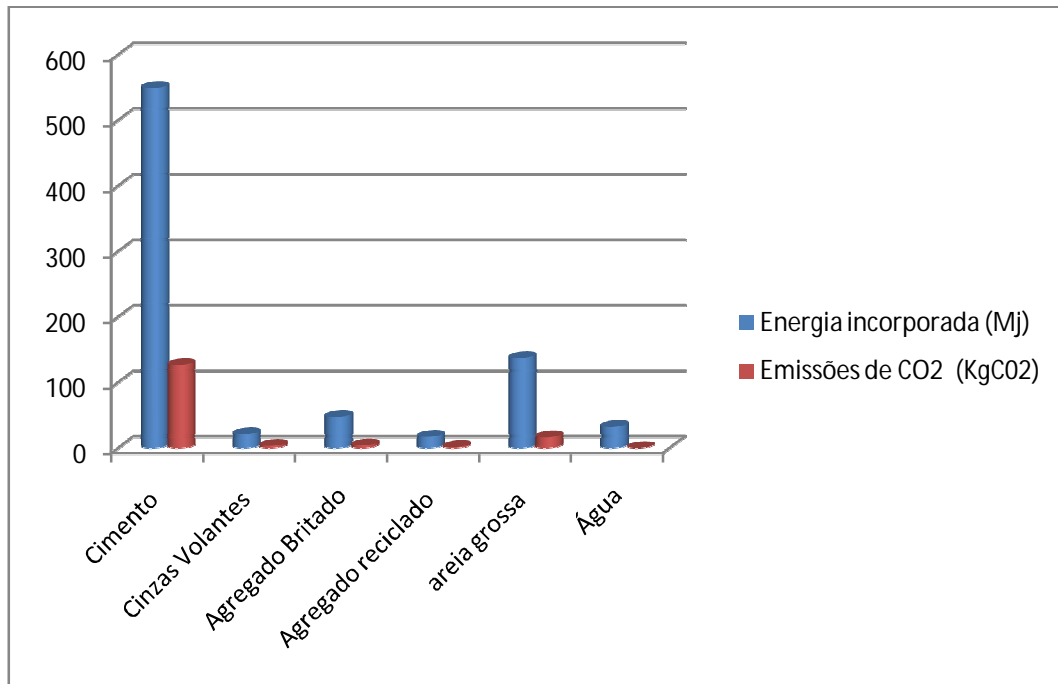


Gráfico 21 - C20/25 (35%cinzas) RCD 30%

A substituição total (Gráfico 22) do agregado britado faz com que o agregado reciclado seja totalmente responsável pela energia incorporada e pelas emissões, pelo que é respectivamente 56,9MJ e 5,8 kgCO₂. Assim, o valor da energia está abaixo do valor de referência, no entanto nota-se um ligeiro aumento das emissões de CO₂.

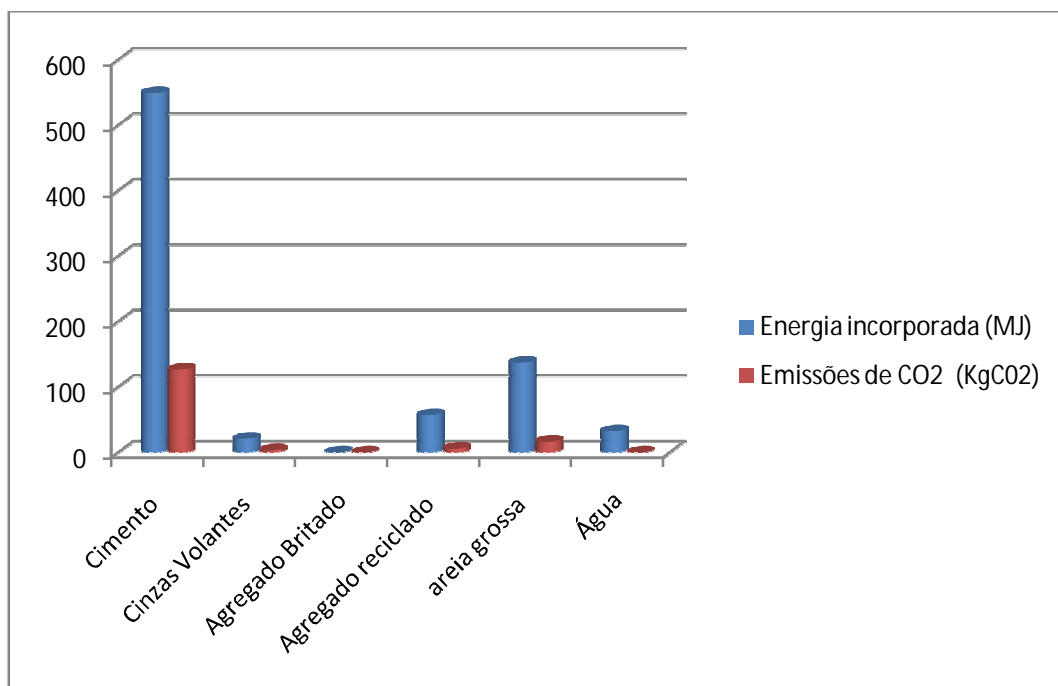


Gráfico 22 - C20/25 (35%cinzas) RCD 100%

No Gráfico 23, verifica-se que a composição de referência, tem uma energia incorporada de 807,6 MJ face aos 796,8 MJ, da composição apenas com agregados reciclados.

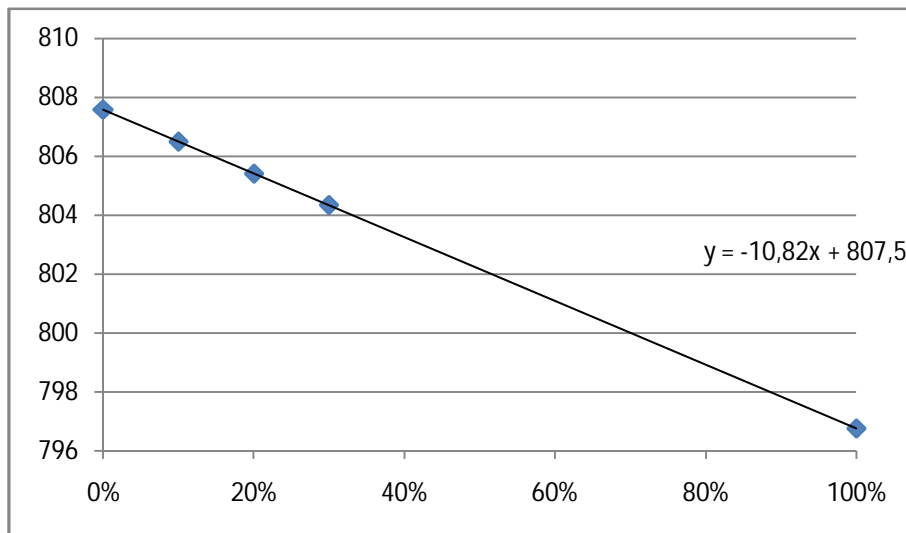


Gráfico 23 - Energia incorporada (MJ) C20/25 S3 (35% Cinzas)

No Gráfico 24, verifica-se que a composição de referência, tem umas emissões de CO₂ de 152 kgCO₂, face aos 152,2 kgCO₂, da composição apenas com agregados reciclados.

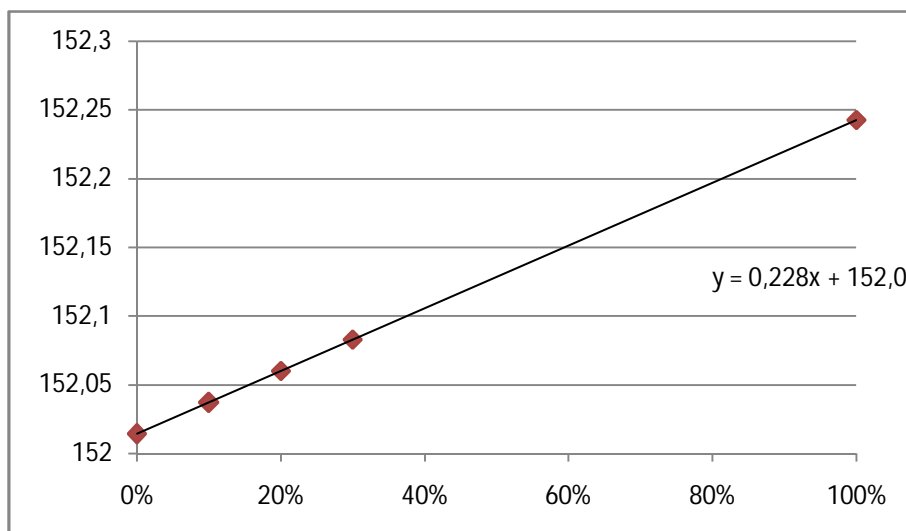


Gráfico 24 - Emissões de CO₂ (KgCO₂) C20/25 S3 (35% Cinzas)

5.1.3. Betão C35/45 com 0% cinzas Volantes

A composição referente ao Gráfico 25 tem como diferença das composições anteriores, o aumento da resistência à compressão. No entanto, pode assinalar-se que o cimento continua a ser o principal consumidor de energia, 1001,2 MJ e emissor de CO₂, 230,8 kg. De seguida vem a areia grossa, com 155 MJ e 18,6 kgCO₂, e o agregado britado com 58,8 MJ e 4,9 kgCO₂, por fim vem a água com uma energia incorporada de 32,6 MJ. Para esta composição, não existem cinzas, nem agregados reciclados, como tal, não assumem nenhum valor.

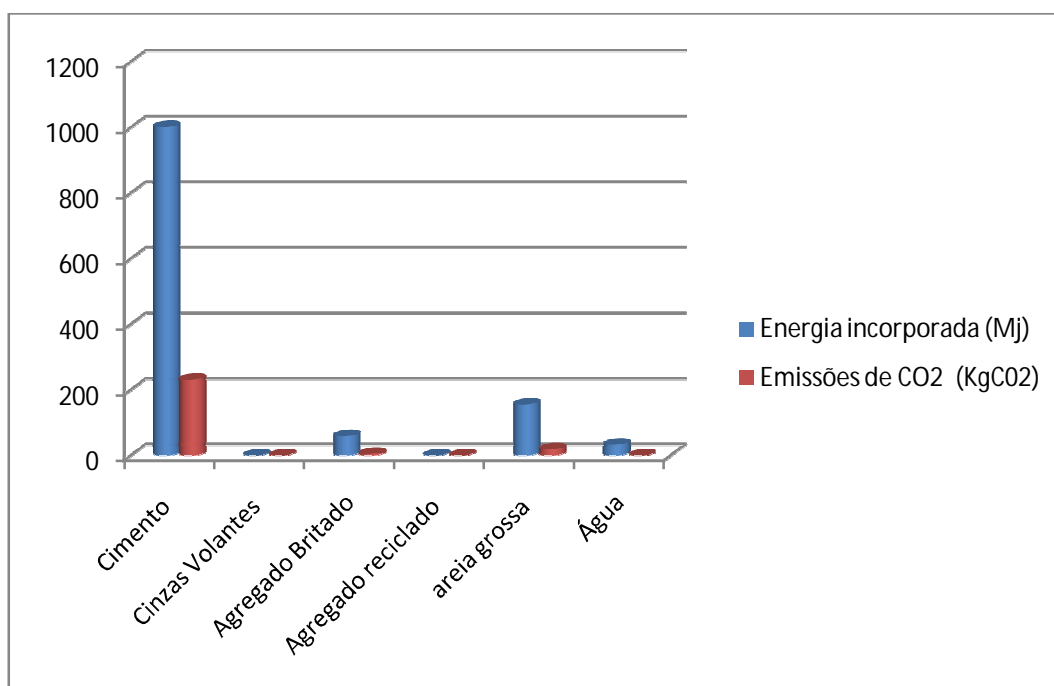


Gráfico 25 - C35/45 (0% Cinzas) RCD 0%

No gráfico 26, para a composição com a substituição de 10% de agregados britados por reciclados, os valores de cimento, areia e água não vão ser alterados, no entanto o agregado britado passa a ter uma energia incorporada de 52,9 MJ e emissões de 4,4 kgCO₂. O agregado reciclado ainda não tem grande expressão no consumo e emissões.

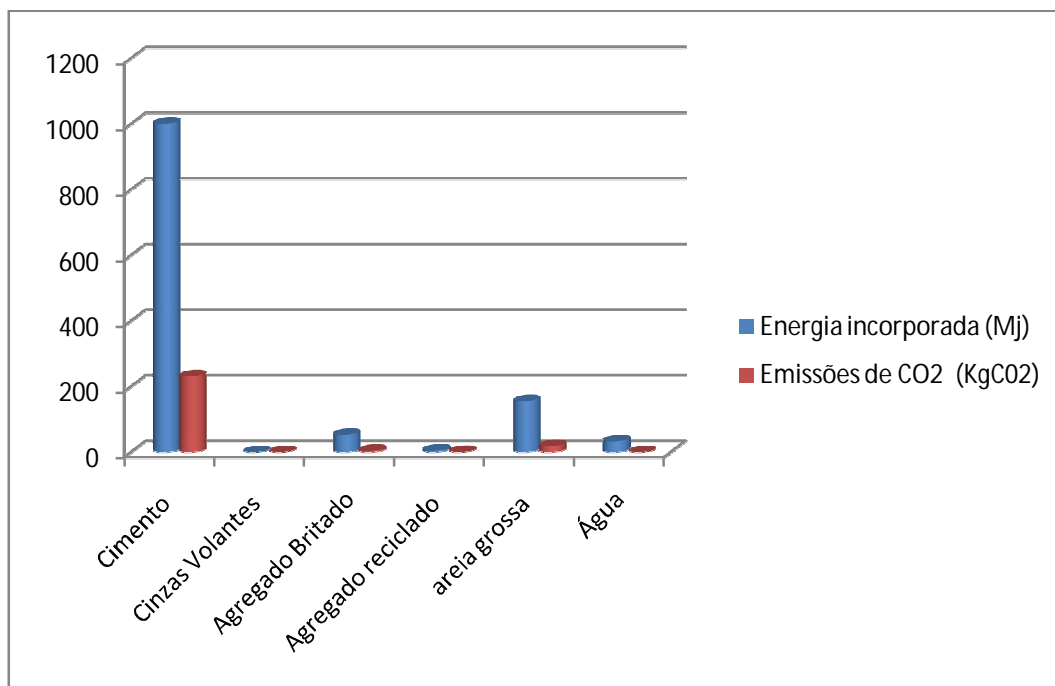


Gráfico 26 - C35/45 (0% Cinzas) RCD 10%

A substituição de 20% dos agregados britados por reciclados indicados no Gráfico 27, faz com que haja uma diminuição da energia incorporada de 11,7 MJ no agregado britado e 0,98 nas emissões de CO₂. Os agregados reciclados já incorporam energia no valor de 9,9 MJ e emitem 1 kgCO₂.

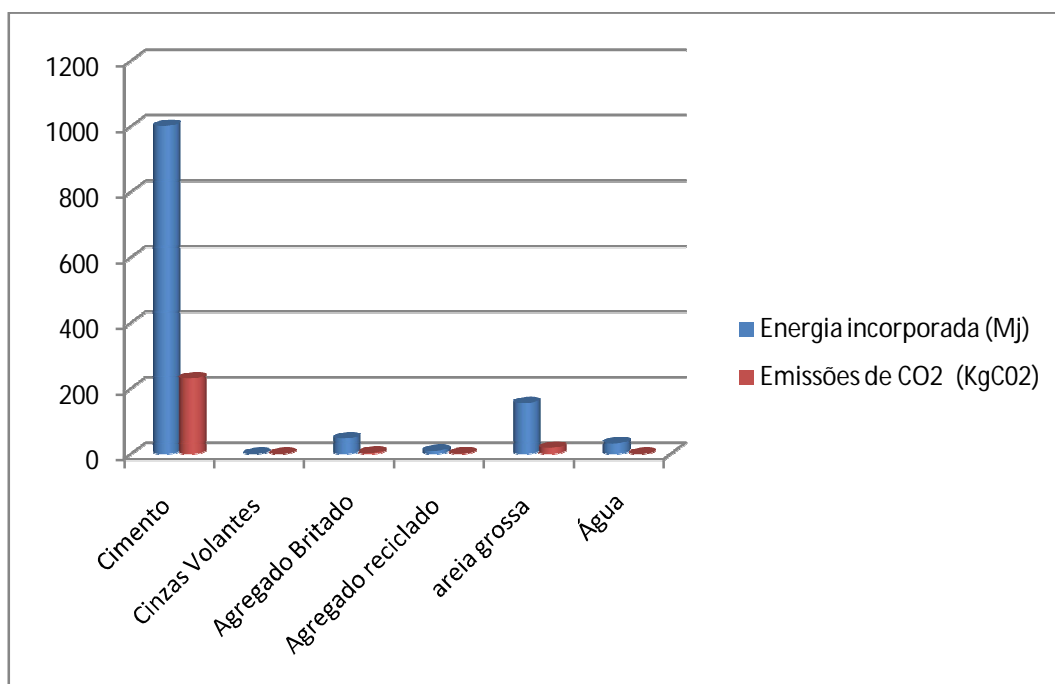


Gráfico 27 - C35/45 (0% Cinzas) RCD 20%

No Gráfico 28, a substituição dos agregados britados é de 30%, pelo que o agregado britado possui uma energia incorporada de 41,1 MJ e emissões de CO₂ de 3,4 kg. O agregado reciclado assume um valor significativo com energia incorporada de 14,8 MJ e 1,5 kgCO₂.

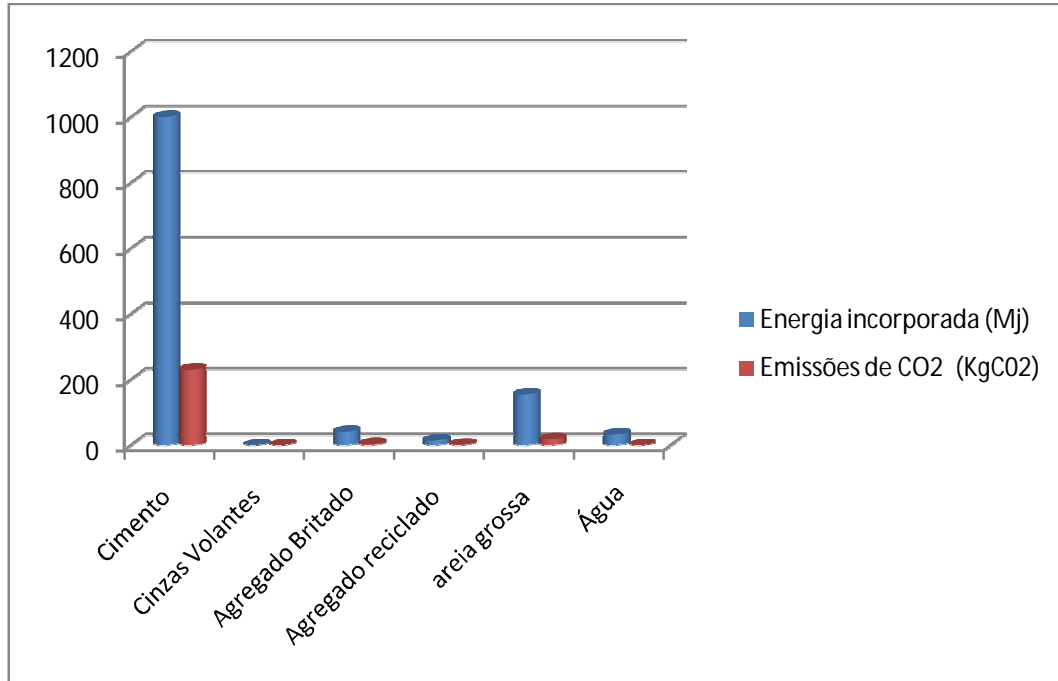


Gráfico 28 - C35/45 (0% Cinzas) RCD 30%

No Gráfico 29, esta apresentada a composição do betão C35/45 sem cinzas volantes, com a incorporação na sua totalidade de agregados reciclados, os agregados reciclados têm uma energia incorporada de 49,4 MJ e emissões de CO₂ de 5,1 kg.

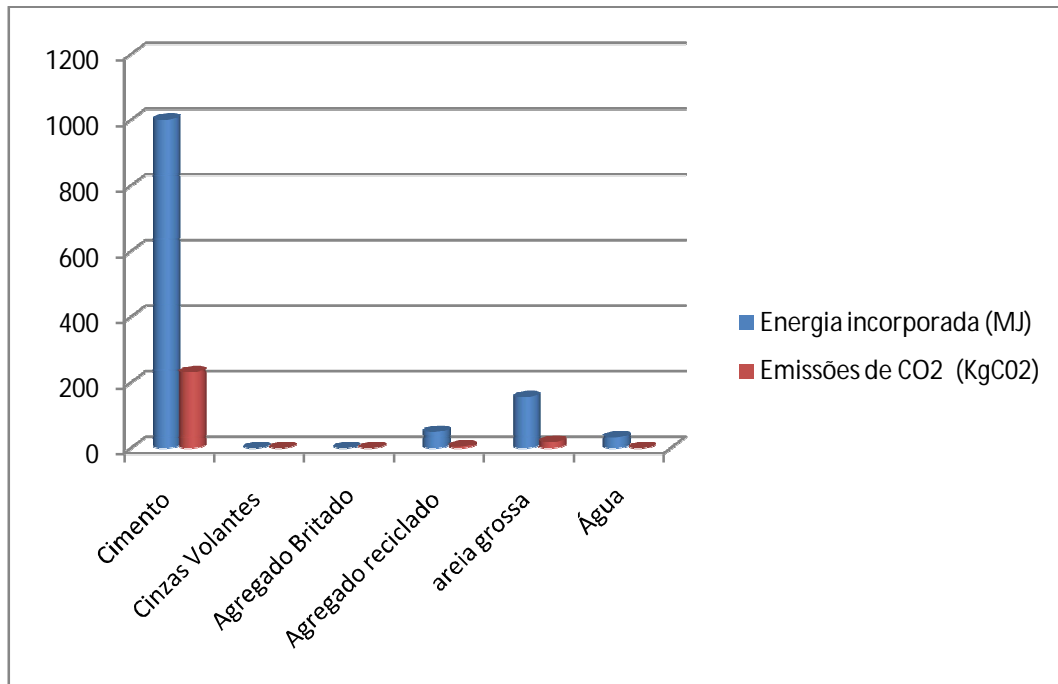


Gráfico 29 - C35/45 (0% Cinzas) RCD 100%

No Gráfico 30, podemos ver que a composição sem agregado reciclado tem uma energia incorporada de 1247,8 MJ, sendo que a composição que contém apenas agregado reciclado consome aproximadamente menos 9,4MJ que a de referência, ou seja 1238,4 MJ.

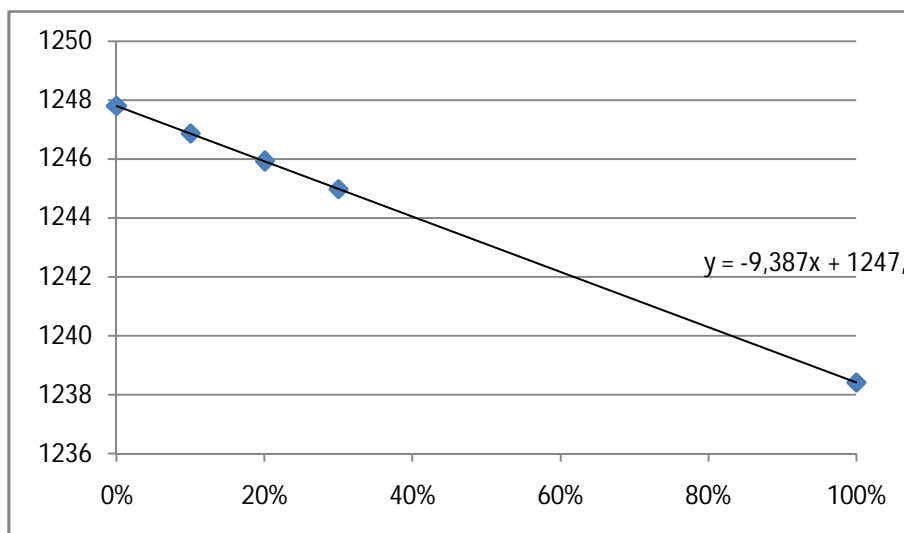


Gráfico 30 - Energia incorporada (MJ) C35/45 S4 (0% Cinzas)

No Gráfico 31, podemos ver que a composição sem agregado reciclado tem umas emissões de CO₂ de 254,2 kgCO₂, sendo que a composição que contém apenas agregado reciclado consome aproximadamente menos 0,2 kgCO₂, que a de referência, ou seja 254,4 kgCO₂.

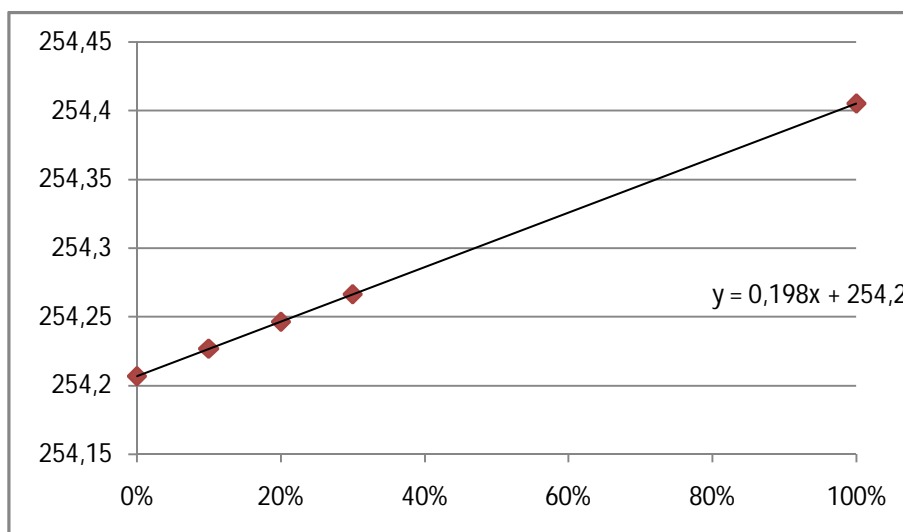


Gráfico 31 - Emissões de CO₂ (KgCO₂) C35/45 S4 (0% Cinzas)

5.1.4. Betão C35/45 com 35% cinzas Volantes

A composição apresentada no Gráfico 32 corresponde a um betão da Classe C35/45, a diferença que este tem para com o anterior é que esta composição contém 35% de cinzas volantes. Não obstante, o cimento continua a ser o material que consome mais energia, com 743,8 MJ e emite 171,4 kgCO₂, seguido da areia grossa com 133,6 MJ e 15,9 kgCO₂, agregado britado com 61 MJ e 5,1kgCO₂, água 30,6 MJ e por fim as cinzas volantes com 28,5 MJ e 4,6kgCO₂.

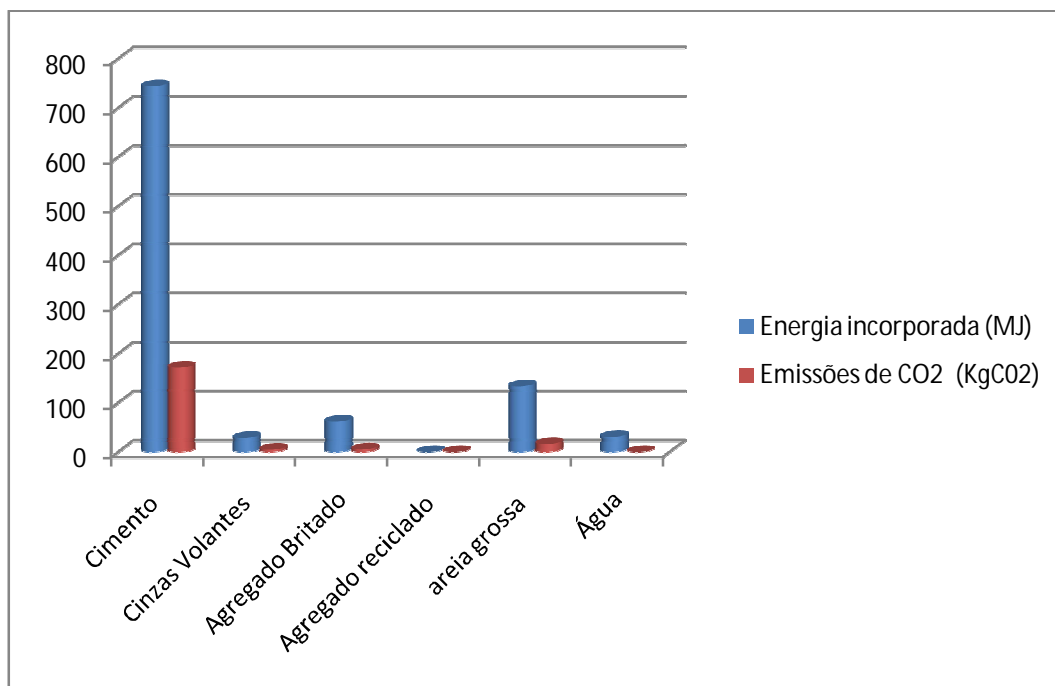


Gráfico 32 - C35/45 (35%cinzas) RCD 0%

O Gráfico 33 apresenta uma composição idêntica ao do gráfico anterior, no entanto com uma substituição de 10%, de agregado reciclado por agregado britado. Face à composição anterior, o cimento, cinzas volantes, areia grossa e água tem o valor de energia incorporada e emissões de CO₂ igual ao valor de referência. O valor da energia do agregado britado, nesta composição, desce para 55,7 MJ e as emissões 4,6kgCO₂.

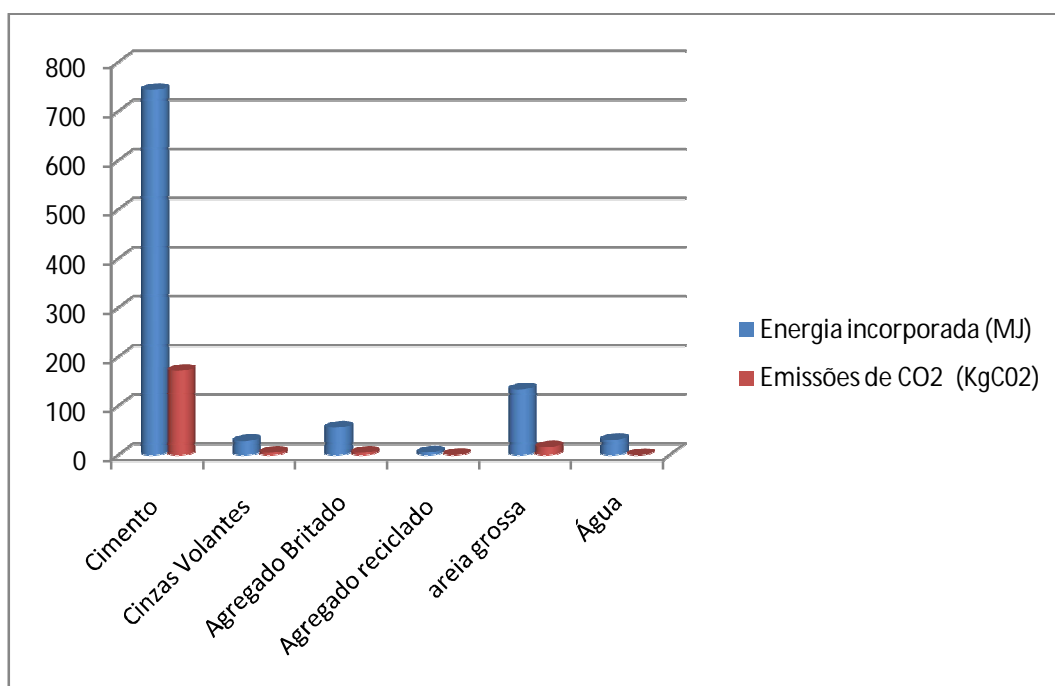


Gráfico 33 - C35/45 (35%cinzas) RCD 10%

No gráfico 34 a substituição de 20% dos agregados britados por reciclados, faz com que haja uma diminuição da energia incorporada de 12,4 MJ no agregado britado e 0,53 nas emissões de CO₂. Os agregados reciclados incorporam energia no valor de 10,4 MJ e emitem 1,1 kgCO₂.

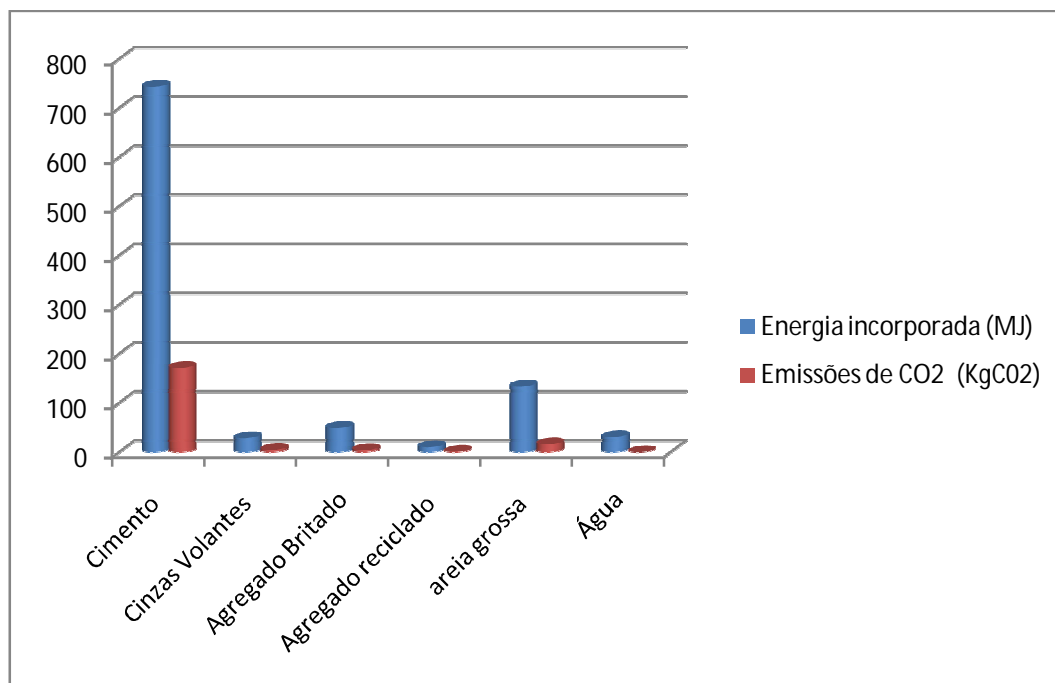


Gráfico 34 - C35/45 (35%cinzas) RCD 20%

No Gráfico 35, a substituição dos agregados britados é de 30%, pelo que o agregado britado possui uma energia incorporada de 43,3 MJ e emissões de CO₂ de 3,6 kg. O agregado reciclado assume um valor significativo com energia incorporada de 15,6 MJ e 1,6 kgCO₂.

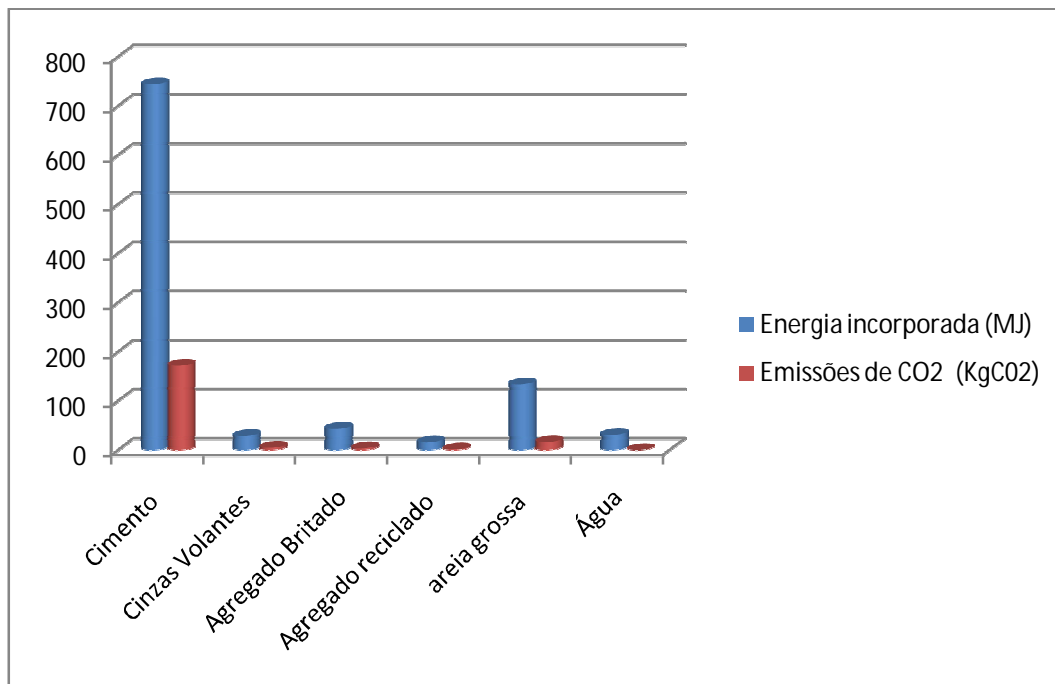


Gráfico 35 - C35/45 (35%cinzas) RCD 30%

No Gráfico 36, está apresentada a composição do betão C35/45 com 35% cinzas volantes, com a incorporação na sua totalidade de agregados reciclados, os agregados reciclados têm uma energia incorporada de 52 MJ e emissões de CO₂ de 5,3 kg.

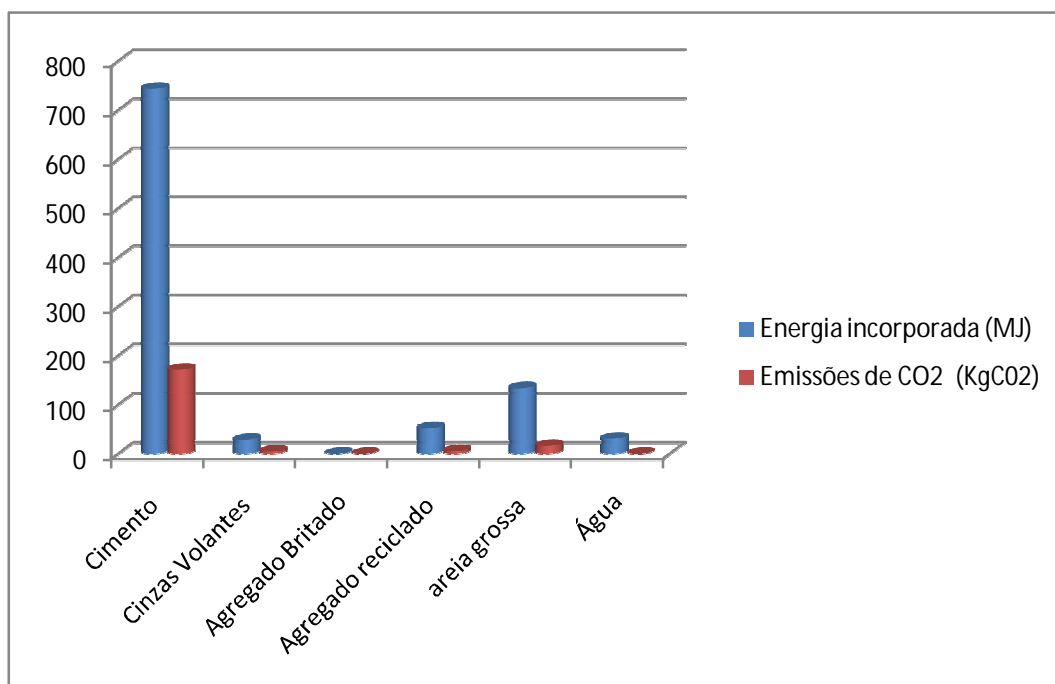


Gráfico 36 - C35/45 (35%cinzas) RCD 100%

Podemos ver no Gráfico 37, que a composição com 0% de substituição de agregados britados tem uma energia incorporada de 967,9 MJ, sendo que a composição com 100% de agregado reciclado tem 958 MJ de energia incorporada.

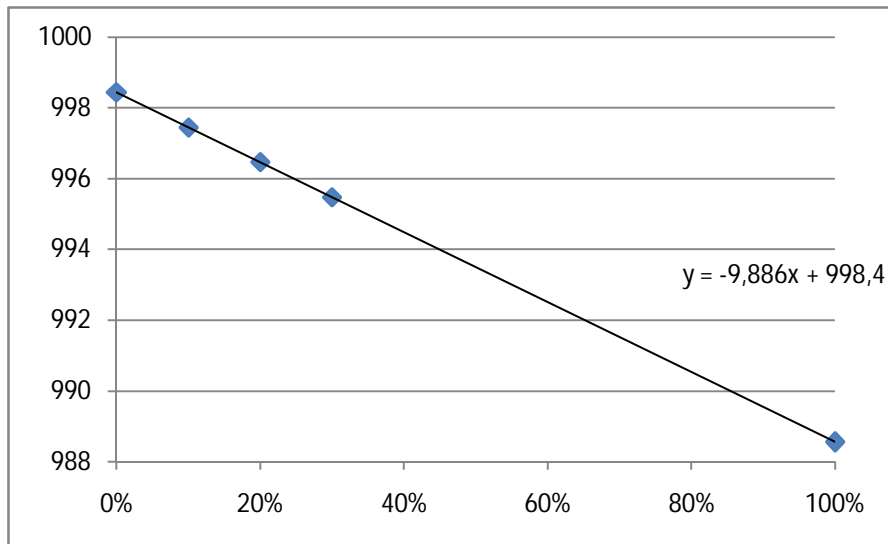


Gráfico 37 - Energia incorporada (MJ) C35/45 S4 (35% Cinzas)

Por fim, podemos ver no Gráfico 38, que a composição com 0% de substituição de agregados britados tem emissões de CO₂ de 197,16 kgCO₂, sendo que a composição com 100% de agregado reciclado tem 197,37 kgCO₂ de energia incorporada.

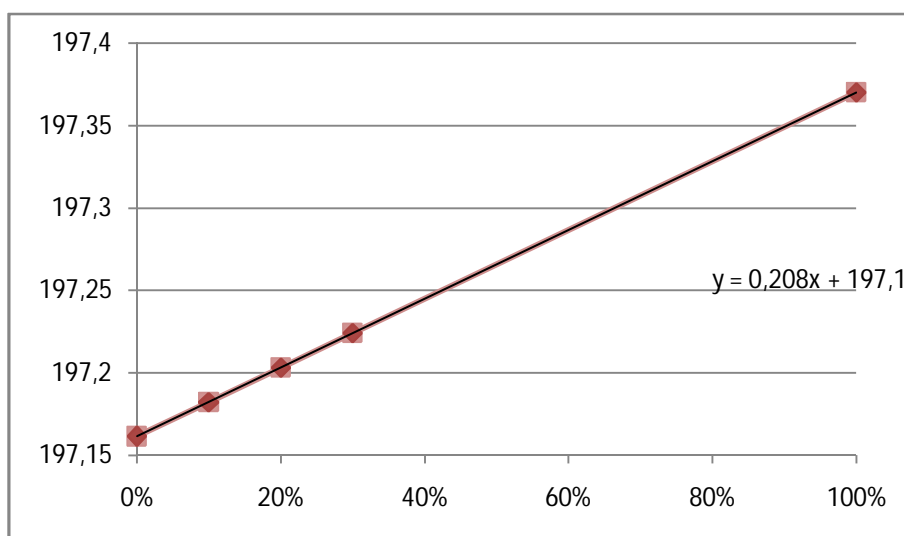


Gráfico 38 - Emissões de CO₂ (KgCO₂) C35/45 S4 (35% Cinzas)

5.2. Comparação da Energia incorporado e Emissões de CO₂ das composições

Os Gráficos 39, 40, 41, 42 e 43 fazem a comparação das quatro composições em estudo. É perceptível em todas as composições apresentadas que a energia incorporada segue o mesmo andamento das emissões de CO₂ em todas as composições, é compreensível visto que elas estão directamente relacionadas.

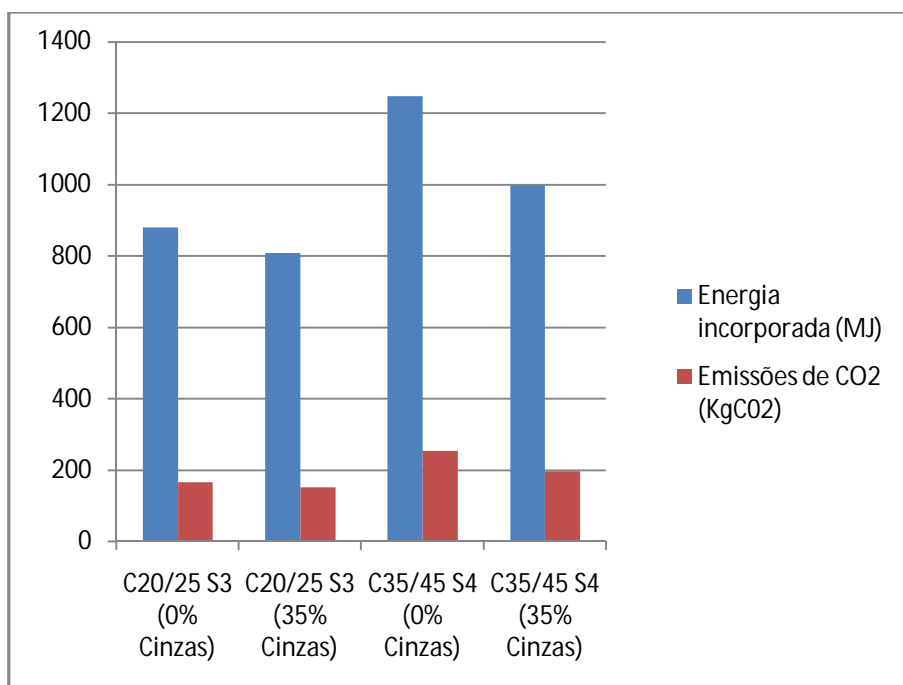


Gráfico 39 - Betões com 0% RCD

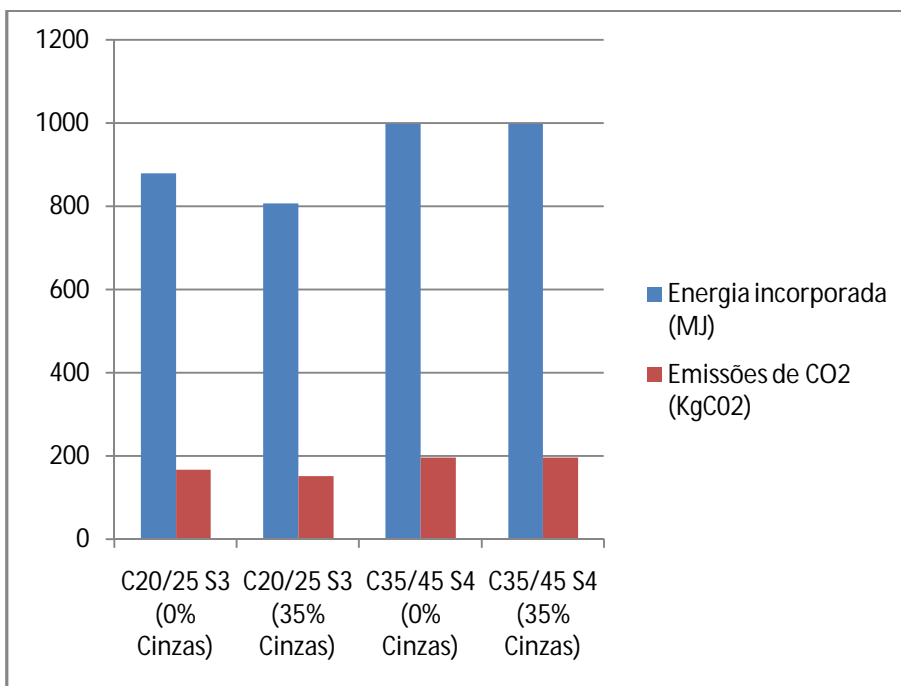


Gráfico 40 - Betões com 10 % RCD

Também é possível observar que as composições com mais energia e emissões são aquelas que têm maior resistência, nomeadamente as C35/45. Neste caso a composição que contém apenas cimento tem a mais alta energia incorporada e emissões de CO₂.

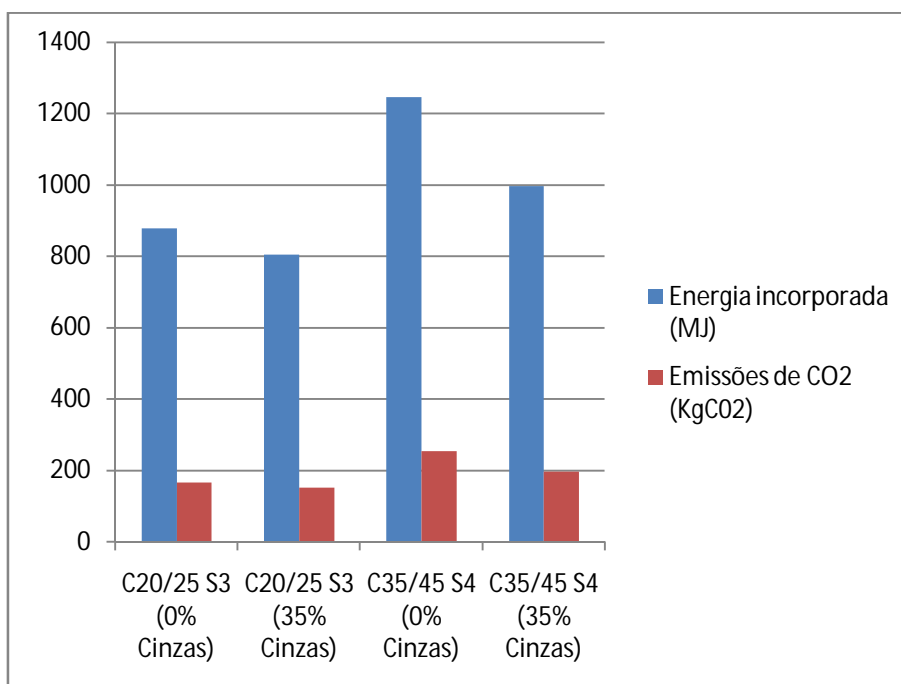


Gráfico 41 - Betões 20 % RCD

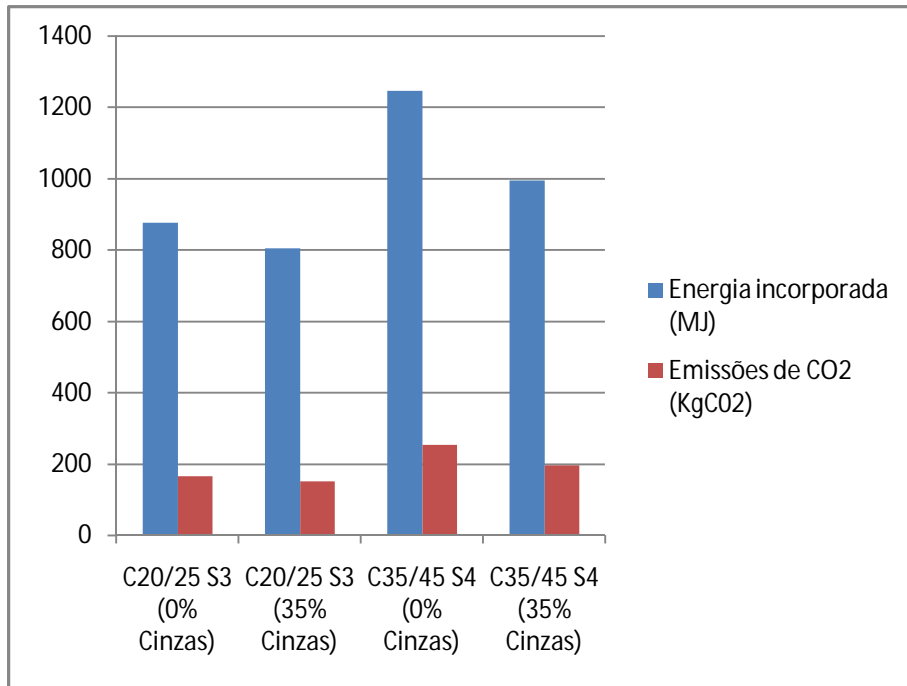


Gráfico 42 - Betões 30%RCD

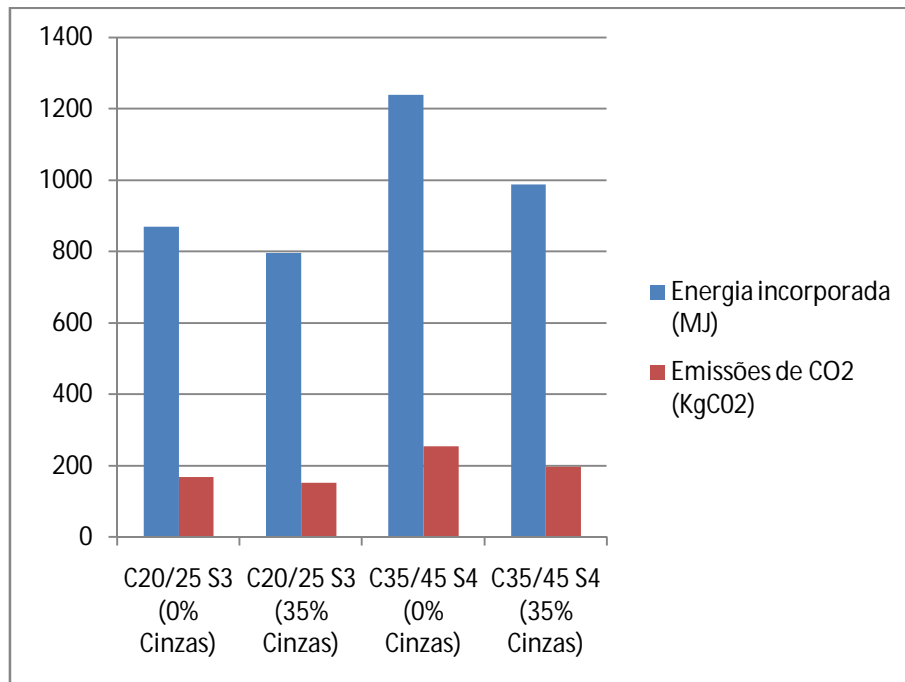


Gráfico 43 - Betões com 100% RCD

O contrário acontece nas composições de betões de menor resistência, na classe C20/25 e com a introdução de cinzas volantes. Esta composição tem o menor valor de energia incorporada e emissões de CO₂, das quatro composições.

5.3. Custos dos Betões

Podemos ver no Gráfico 44, que as composições com maiores custos são as que têm maior resistência, ou seja os betões C35/45. Esta situação verifica-se porque estes betões têm maiores conteúdos de cimento.

Pode-se também constatar que não existem praticamente diferenças entre o C20/25 com e sem cinzas.

No que concerne às percentagens de RCD's nos betões, verifica-se que quanto maior for a percentagem de substituição por agregados reciclados mais baixo será o seu custo.

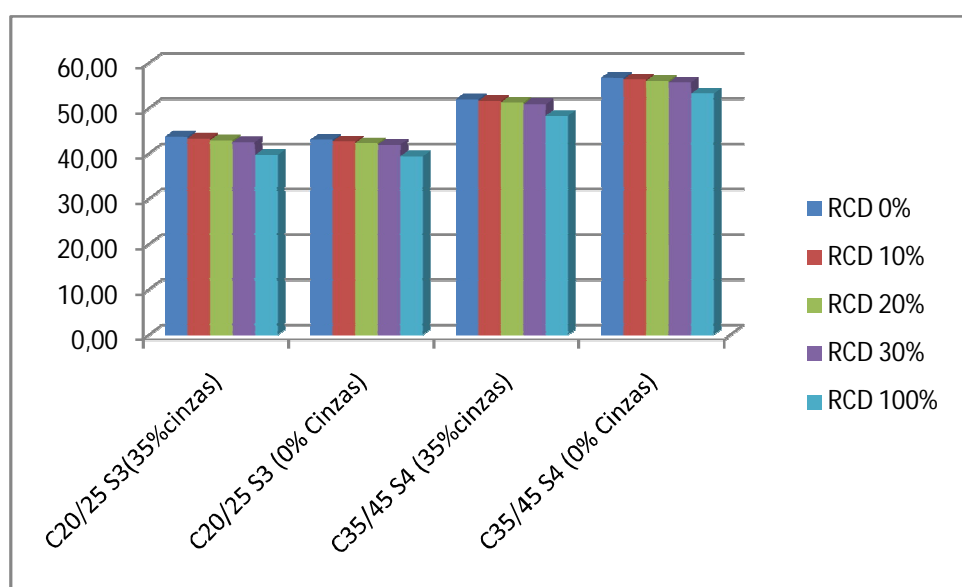


Gráfico 44 - Custo de várias composições de betão, com incorporação de diversas quantidades de RCD's

Conclui-se portanto, que a inclusão de agregados reciclados em substituição de agregados naturais britados, baixa os custos de produção dos betões, pelo que a nível económico pode ser uma alternativa muito interessante.

5.4. Transporte

Esta parte do trabalho corresponde às emissões de CO₂ incorporada e Energia incorporada, pelos materiais que compõem o betão, para o sistema proposto. Deste modo os valores vêm em percentagem, mas correspondem ao valor por kg, ou seja não estão associados a nenhuma composição.

No caso em estudo o transporte dos materiais desde o local onde são fabricados até à entrada da fábrica, é responsável por 8% da energia incorporada e 9% das emissões de CO₂, conforme se pode visualizar nos gráficos Gráfico 45 e Gráfico 46.

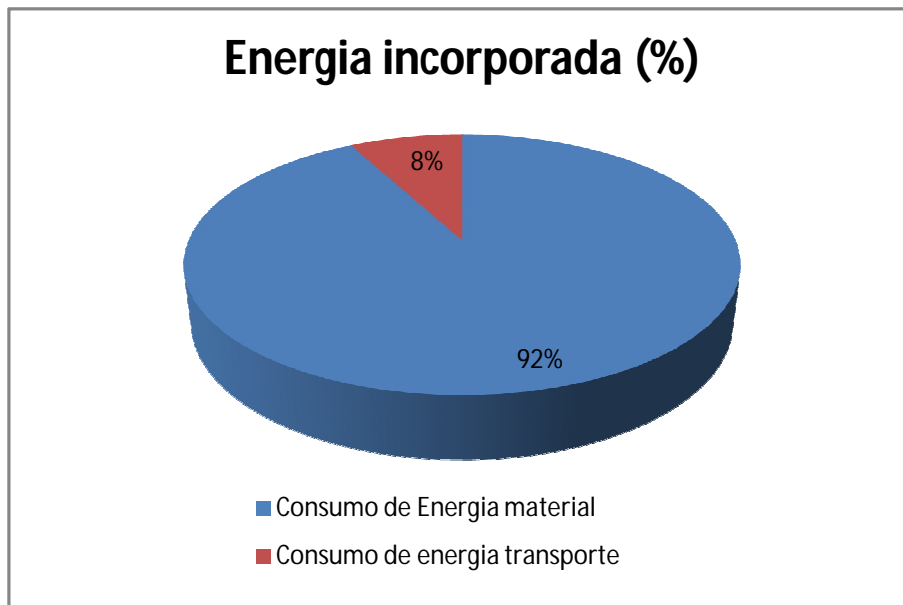


Gráfico 45 - Energia incorporada (%)

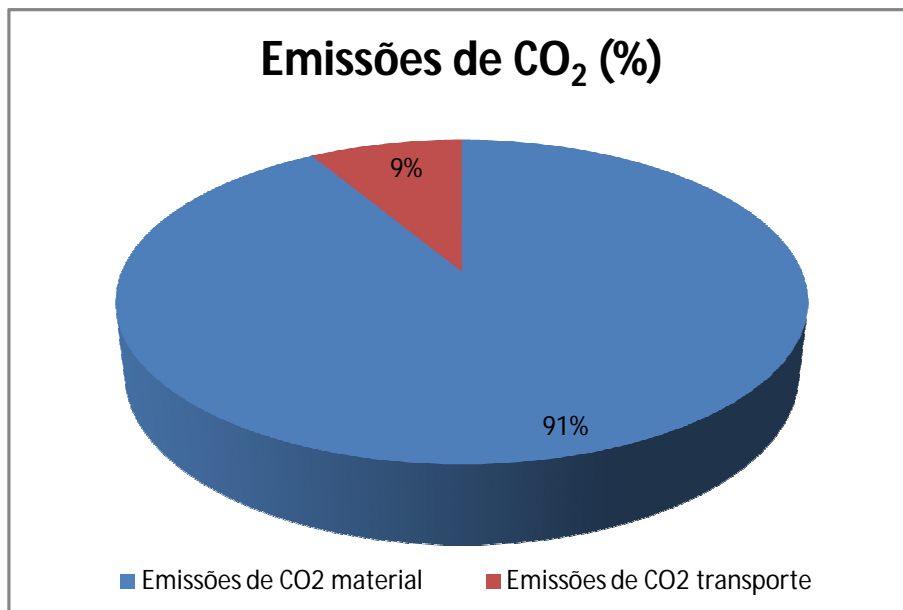


Gráfico 46 - Emissões de CO₂ (%)

Uma localização situada na periferia das cidades na qual pudessem receber e transformar grandes quantidades de RCD's com distâncias relativamente curtas, poderia ser uma boa solução para o problema.

5.5. Discussão dos resultados

No que concerne aos materiais que fazem parte das composições dos betões, nomeadamente o cimento, as cinzas volantes, a areia, os agregados e a água, a energia incorporada de cada material está dividida em energia incorporada associada ao fabrico do material e energia incorporada associada ao seu transporte. O mesmo acontece com as emissões de CO₂ dos materiais, uma está associada à sua produção a outra está associada ao transporte.

Ao serem analisados os consumos de energia incorporada de forma separada entre energia associada ao material e energia associada ao transporte, verifica-se que 8 % da energia incorporada é derivada do transporte, face ao modelo escolhido, também é de referir que este valor vem sobre kg de material, não ficando directamente relacionado com as composições. No entanto, as distâncias que o material tem de percorrer até ao destino final, podem variar de forma mais significativa, nomeadamente na distância das obras de demolição até à central de reciclagem, a distância da central de reciclagem à central de betão, bem como na central de produção de cimento à central de Betão. Estes parâmetros poderão influenciar significativamente os resultados, sendo que quanto maior for a distância, maior vai ser o consumo de energia relativo ao transporte.

No que concerne às emissões de CO₂, verifica-se que o transporte é responsável por 9% das emissões totais das composições, de acordo com a situação referência escolhida e tendo em conta que este valor vem sobre kg de material, não ficando directamente relacionadas com as composições. Tal como o consumo energético, esta variável está relacionada com as distâncias que os materiais têm de percorrer até ao seu destino final, no entanto, existem factores que poderão condicionar as emissões, nomeadamente tipo de combustível, capacidade de carga do veículo, bem como o estado de conservação do mesmo.

Foi unânime a todas as composições que o cimento tem maiores consumos de energia incorporada e emissões de CO₂, de seguida da areia, agregados e por fim a água, as cinzas volantes ocupam o último lugar quando as composições integram este material.

Foi possível perceber que a introdução de RCD's nas composições de betões, face às emissões de CO₂ e consumo energia, tem um comportamento linear, ou seja, quanto maior for a substituição de agregado britado por agregado reciclado, menor será o consumo de Energia associado a cada composição.

As emissões de CO₂ e o consumo de energia por parte dos betões com incorporação de resíduos são inversamente proporcionais e comportam-se linearmente conforme a introdução de RCD's. Deste modo, quanto maior for a introdução de RCD's, menor é o consumo de energia, mas maiores vão ser as emissões de CO₂.

Dentro das substituições de agregado britado por agregado reciclado, de 0%, 10%, 20%, 30% e 100%, verifica-se que a que usa agregados reciclados na quantidade de 100% é mais vantajosa no que diz respeito a níveis de consumo de Energia. No entanto, convém lembrar que alguns parâmetros mecânicos podem ser alterados quando as substituições ultrapassam os 30%, de acordo com a bibliografia consultada.

O aumento em 10% do agregado reciclado nas composições, tem um decréscimo de Energia de 0,13%. De entre as composições estudadas a que tem melhor comportamento em termos de Energia incorporada é a C20/25 com 35% de cinzas e 100% de agregados reciclados. A utilização de 30% de agregado reciclado, nesta mesma composição permite poupar 3,24MJ de energia, se se utilizar 100% permite poupar 10,8 MJ, por cada m³.

No que diz respeito às emissões de CO₂ das composições, com 0%, 10%, 20%, 30% e 100%, de agregado reciclado verifica-se que o uso de agregados reciclados na quantidade de 100% é menos vantajoso no que diz respeito a níveis de emissões de CO₂.

O aumento em 10% do agregado reciclado nas composições, tem um incremento de emissões de CO₂ de 0,015%. De entre as composições estudadas a que tem melhor comportamento em termos de emissões de CO₂ é a C20/25 com 35% de cinzas e 0% de agregados reciclados, porque tem menos agregado reciclado, logo menos aumentos de emissões de CO₂. A utilização de 30% de agregado reciclado, nesta composição, faz aumentar 0,068kg de emissões, se se utilizar 100% aumenta 0,228 kg.

No respeitante aos custos, o valor por kg de agregado reciclado é mais barato que o agregado britado, como tal os betões que incorporem agregados reciclados apresentam custos mais baixos. Também se verificou que os betões com cinzas volantes, são betões mais económicos. A cada introdução de 10% de agregado reciclado temos decréscimos de 0,4 euros no custo do betão. A composição mais económica é a C20/25 com 25% de cinzas e com 100% de agregados reciclados.

Face ao exposto, várias são as vantagens da utilização de agregados reciclados, quer no ponto de vista ambiental, quer no ponto de vista económico. A nível energético, betões com agregados reciclados têm um consumo de energia mais reduzido. Os resíduos, têm como destino primordial os aterros, isto deve-se ao facto de os custos legislados de depósito em aterro serem muito baixos, mas a sua utilização causa impactos ao nível da ocupação do solo e poluição dos mesmos, quando os resíduos contêm poluentes. É comum em Portugal o depósito ilegal de resíduos, muito contribui a deficiente ou mesmo inexistente fiscalização destes casos, este tipo de práticas pode conduzir a grandes danos no ambiente. A utilização dos resíduos de construção e demolição, como agregados reciclados traduzem-se num aproveitamento de um material que não têm função aparente, utilizações como subproduto, leva a com que estes resíduos não vão ocupar mais espaço em aterros.

Os RCD's transformados em agregados reciclados, assume-se como uma mais valia ambiental, no sentido que a sua ampla utilização, pode vir a baixar os consumos de agregados britados e respectivamente a diminuição da exploração dos recursos naturais.

As desvantagens encontradas no estudo, prende-se com o aumento das emissões de CO₂, com a incorporação de agregados reciclados nas composições de betões, este facto está directamente relacionado com o transporte do material, mas também com o equipamento que é utilizado para a transformação de RCD's. Para melhorar estes aspectos, podem-se optar várias soluções, no que concerne ao equipamento. Este pode ter maior capacidade de transporte, reduzindo as emissões por tonelada de material transportado. Também o bom estado de conservação do camião é essencial para o seu desempenho ambiental no que respeita ao combustível. As utilizações de bio-combustíveis ou movidos a outro tipo de energia, como a energia eléctrica reduziriam as emissões.

A gestão das distâncias entre as obras em que são produzidos RCD's, e a central de reciclagem influi nas emissões de CO₂. No caso em que a reciclagem dos RCD's se faça no local da demolição, seria a melhor das hipóteses neste âmbito de utilização. Este factor irá contribuir para uma redução significativa do CO₂. Uma localização situada na periferia das cidades na qual pudessem receber e transformar grandes quantidade de RCD's com distâncias relativamente curtas, poderia proporcionar também uma boa solução, já que serviriam diferentes obras.

6. Conclusão

Relativamente ao trabalho efectuado, conclui-se que:

- As composições com maior utilização de agregados reciclados, têm menores consumos de energia incorporada, mas têm maiores emissões de CO₂.
- A utilização dos agregados reciclados em betões tem uma redução no consumo energético incorporado do material, que ronda 0,13%, por 10% de agregado reciclado substituído.
- As emissões de CO₂ em betões com agregado reciclados sofrem um aumento, comparado com os agregados tradicionais, que ronda 0,015% por 10% de agregado reciclado substituído.
- O aumento do CO₂ prende-se com o transporte que é necessário fazer desde o local da demolição até ao local da Unidade de Reciclagem.
- No caso da reciclagem dos RCD's ser feita no local da demolição, irá contribuir para uma redução significativa do CO₂.
- O factor transporte é grandemente influenciado pelas distâncias que os materiais estão da fábrica de betão pronto.
- O transporte dos materiais assume um papel preponderante em todo o produto, sendo que para o estudo em causa, assume aproximadamente 10%, por kg, da energia necessária para as composições de betões, pelo que a aproximação das centrais seria uma mais-valia na redução da energia.
- Quanto maior for a substituição de agregados menor será o custo do Betão, rondando os 0,2 euros, por 10% de incorporação de agregados reciclados, num m³
- A falta de fiscalização faz com que seja prática comum o depósito dos RCD's em locais não legalizados, sendo mais um ponto fraco, no que concerne à reutilização dos resíduos.
- O cimento é o material que mais influência as composições de betões, quer em termos de consumos de energia, quer nas emissões de CO₂, sendo que é facilmente perceptível que as composições que tenham maior dosagem de cimento, assumem os valores de energia incorporada e emissões de CO₂.

- A substituição parcial de cimento por uma adição tipo II, faz com que o betão requeira menos energia e produza menos emissões de CO₂. Por outro lado, a localização destas adições poderão trazer mais emissões de CO₂ devido ao seu transporte.

Em suma, embora este tipo de solução possa ter alguns inconvenientes apresentados no estudo, devem ser destacadas as mais-valias no campo dos três pilares da sustentabilidade, pois possuem um custo mais reduzido, ambientalmente traduz-se numa vantagem visto que para além da redução no consumo energético, também diminui o espaço necessário para aprovisionar esses resíduos, bem como podem canalizar a criação de emprego nesta área, visto que são preciso mais postos de trabalho para reciclar os RCD's ao invés dos necessários para os colocar os RCD's em aterro.

7. Desenvolvimentos Futuros

O transporte é um factor muito importante no consumo de energia e emissões de CO₂, para futuros desenvolvimentos era importante perceber até que distância é viável ambientalmente ter uma central de reciclagem de RCD's.

8. Bibliografia.

Afonso, F. P., Bárbara, M., Vita, C., Adão, D., Neves, F., & Martins, L. (2009). *O Mercado da Reabilitação Enquadramento, Relevância e Perspectivas*. AECOPS.

Akash, R., Kumar, J., & Misra, S. (2007). Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. *Resources Conservation and Recycling* 50 , pp. 71 -81.

Alcorn, A., & Wood, P. (1998). *New Zeland building materials embodied energy coeficients database volume II- coeficients*. Wellington: Centre for Building Performance Reserch, Victoria University of Wellington.

Algarvio, D. A. (2009). *RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO: CONTRIBUIÇÃO PARA CONTROLO DO PROCESSO*. Lisboa: FCT- UNL.

Alves Dias, L. (2008). *Organização e Gestão de Obras*. Lisboa: Instituto Superio Técnico.

Baganha, M. I., Marques, C. J., & Pedro, G. (2001). O sector da Constrção Civil e Obras Públicas em Portugal: 1990 -2000. *5th Framework Programme Improving Human Potential and Socio-Economic Knowledge Base Key Action for Socio-Economic Research*.

Berge, B. (2009). *The ecologu of building materials*. UK: Architectural Press.

Cachim, P. B. (2009). Mechanical properties of brick aggregates concrete. *Construction and Building Materials, Vol. 23* , pp. 1292 - 1297.

Cepinha, E., Ferrão, P., & Santos, S. (s.d.). The certification of buildings an enterprise strategy of the real estate sector: a national scope analysis.

Corinaldesi, V. (2010). Mechanical and elastic behaviour of concretes made of recycled-concrete coarse aggregates. *Construction and Building Materials, vol. 24* , pp. 1616 - 1620.

Corinaldesi, V., & Mariconi, G. (2009). Influence of mineral additions on the performance of 100% recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials, Vol.23* , pp. 2869-2876.

Correia, J., Brito, J., & Pereira, A. (2006). Effects on concrete durability of using recycled ceramic aggregates. *Materials and Structures, Vol.39* , pp. 169 - 177.

Couto, A. B., Couto, A. B., & Teixeira, J. C. (2006). Desconstrução - Uma Ferramente para Sustentabilidade da Construção. *NUTAU - Inovações Tecnológicas e Sustentabilidade*. S. Paulo.

Curran, M. A. *life Cycle Assessment: Principles and Praticce*. . Ohio: Nacional Risk Management Recherch Laboratory.

Davis, S. C., Diegel, S. W., & Boundy, R. G. (2010). *Transportation Energy Data Book: Edition 29*. U.S Departement of Energy.

- DB Mobility Networks Logistics. (2009). *Sustainability Report*. Berlin: Deutsche Bahn.
- DEFRA. (2009). Energy and Carbon conversions. *Conversion Factors* .
- Duran, X., Lenihan, H., & O'Regan, B. (2006). A model for assessing the economic viability of construction and demolition waste recycling—the case of Ireland. *Resources, Conservation and Recycling* 46 , pp. 302 - 320.
- EDP. (2009). *Relatório e Contas 2009*. EDP.
- Etxeberria, M., Vázquez, E., Marí, A., & Barra, M. (2007). Influence of amount of recycled coarse aggregates and productions process on properties of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Research* , pp. 735 - 472.
- Evangelista, L., & Brito, J. (2007). Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement & Concrete Composites* , pp. 397 - 401.
- Ferreira, J. V. (2004). *Análise de ciclo de vida dos produtos*. Viseu: Instituto Politécnico de Viseu.
- FIEC. (2001). *Annual Report*.
- FIEC. (2009). *Anual Report*.
- Furtado, C. G. (2007). GESTÃO E VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO. São Miguel.
- Goggins, J., Keane, T., & Kelly, A. (2010). The assessment of embodied energy in typical reinforced concrete building structures in Ireland. *Energy and Buildings* 42 , pp. 735-744.
- Gonçalves, P. C. (2007). *BETÃO COM AGREGADOS RECICLADOS: ANÁLISE COMENTADA DA LEGISLAÇÃO EXISTENTE*. Lisboa: IST.
- Hammond, G., & Jones, C. (2008). *Inventory of Carbon & Energy Version 1.6a*. University of Bath.
- Henriques, P. (2009). *Lifecycle assessment of energy consumption and carbon emissions of rammed earth walls*. Brighton: University of Brighton.
- INCI. (2009). *Relatório do sector da Construção em Portugal*.
- Institute of Waste Management and Contaminated Sites Treatment of Dresden University of Technology. (2002). *WAMBUCO - Manual Europeu de Resíduos da Construção de Edifícios*.
- Instituto Nacional de Estatísticas. (2008). *Estatísticas da Construção e Habitação*. Lisboa: INE.
- International Energy Agency. (2010). *CO2 Emissions from fuel combustion - Highlights*. IEA .
- International energy agency. (2003). *Energy to 2050 Scenarios for Sustainable*. OECD.
- Khatib, J. M. (2005). Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate . *Cement and Concrete Research* 35 , pp. 763-769.

- Kibert, C. J. (1994). Proceedings of the first international conference on sustainable construction. *CIB TG 16*. Tampa, EUA.
- Mariano, L. S. (2008). *GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL COM REAPROVEITAMENTO ESTRUTURAL: ESTUDO DE CASO DE UMA OBRA COM 4.000m²*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.
- Mateus, R., & Bragança, L. (2004). Avaliação da sustentabilidade da construção : desenvolvimento de uma metodologia para a avaliação a sustentabilidade de soluções construtivas. *CONGRESSO SOBRE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL*. Leça da Palmeira: Ordem dos Engenheiros.
- Nunes, K., Mahler, C., Valle, R., & Neves, C. (2007). Evaluation of investments in recycling centres for Construction and demolition wastes in Brazilian municipalities. *Waste Management 27*, pp. 1531 - 1540.
- Organização das Nações Unidas. (1996). *Agenda Habitat II*. Istambul.
- Paz Branco, J. (1983). *Rendimentos, Mão-de-obra, Materia e Equipamento de Construção Civil*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Pereira, L. H., Jalali, S., & Aguiar, J. L. (2004). Viabilidade Económica de uma Central de tratamento de Resíduos de Construção e Demolição. *Encontro Novas Problemáticas Para a Gestão dos Resíduos*. Beja.
- Pinheiro, M. D. (2006). *Ambiente e Construção Sustentável*. Amadora: Instituto do Ambiente.
- REAGIR. (2005). Reciclagem de Entulho no Âmbito da Gestão Integrada de Resíduos. *Gestão de Resíduos de Construção e Demolição em Portugal*.
- SECIL. (2008). *Declaração Ambiental intercalar*. Outão: SECIL.
- Torgal, F. P., & Jalali, S. (Outubro de 2008). Contributos do betão para a sustentabilidade da industria da construção. *Betão n°21*, pp. 37-42.
- Torgal, F., & Jalali, S. (2010). *A Sustentabilidade dos Materiais de Construção*. TECMinho.
- Torgal, P. F., & Jalali, S. (2007). CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. O Caso dos Materiais de Construção. *Congresso da Construção - 3º Congresso Nacional*. Coimbra.
- University of Wellington. (2005). *Table of embodied energy coefficients*. Centre for building Performance.
- Vulkotic, L., Fenner, R., & Symons, K. (Setembro de 2010). Assessing embodied energy of building structural elements. *Engineering Sustainability 163*, pp. 147 - 158.
- Zega, C., Villagran-Zaccardi, Y., & Di Maio, A. (2010). Effect of natural coars aggregate type on the physical and mechanical properties of recycled coars aggregates. *Materials and Structures, Vol.43*, pp. 195-201.

Anexos:

Pedreira

| | Potência (KW) | Produção (kg/h) | Energia (KWh/Kg) |
|-------------------------------------|---------------|-----------------|------------------|
| Perfuradora (Atlas Copco Roc D5-11) | 117 | 143437,5 | 0,00082 |

Quadro A 1 - Perfuradora

| Linha de britagem | Potência (KW) |
|---|---------------|
| 1 Moinho de maxilas (Sandevik JM1312HD) | 160 |
| 1 Moinho cônico (Nordberg HP400) | 315 |
| 1 Moinhos cônicos (Nordberg HP300) | 200 |
| 3 Crivos | 90 |
| Total | 765 |

Quadro A 2- Equipamento Linha de britagem

| | Potência (KW) | Rendimento (kg/h) | Energia (KWh/Kg) |
|-------------------|---------------|-------------------|------------------|
| Linha de britagem | 765 | 72000 | 0,0106 |

Quadro A 3 - Linha de britagem

| | Potência (KW) | Rendimento (kg/h) | Energia (KWh/Kg) |
|---------------------------|---------------|-------------------|------------------|
| Dumper (Caterpillar 769D) | 363 | 183000 | 0,00198 |

Quadro A 4 -Dumper

| | Potência (KW) | Rendimento (kg/h) | Energia (KWh/Kg) |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|------------------|
| Pá Carregadora (Caterpillar 980G) | 224 | 363800 | 0,0006 |

Quadro A 5 - Pá Carregadora

| | Potência (KW) | Rendimento (kg/h) | Energia (KWh/Kg) |
|--|---------------|-------------------|------------------|
| Escavadora giratória (Doosan Dx 480LC) | 248 | 772530 | 0,0003 |

Quadro A 6 - Escavadora giratória

Unidade de Reciclagem

| | Potência (KW) | Rendimento (kg/h) | Energia (KWh/Kg) |
|--|---------------|-------------------|------------------|
| Britadeira (Rubble Master RM60 LPB600) | 67 | 22000 | 0,0031 |

Quadro A 7 - Britadeira

| | Potência (KW) | Rendimento (kg/h) | Energia (KWh/Kg) |
|-------------------|---------------|-------------------|------------------|
| 1 Crivos III Deck | 5,5927 | 22000 | 0,00025 |

| | | | |
|------------------|--------|-------|---------|
| 1 Crivos II Deck | 3,7285 | 22000 | 0,00017 |
|------------------|--------|-------|---------|

Quadro A 8 - Crivos

| | Potência (KW) | Rendimento (kg/h) | Energia (KWh/Kg) |
|---|---------------|-------------------|------------------|
| Retroescavadora (71 kW/97 CV CEE 80/1269) | 71 | 22000 | 0,00323 |

Quadro A 9 - Retroescavadora

| | Potência (KW) | Rendimento (kg/h) | Energia (KWh/Kg) |
|------------------------|---------------|-------------------|------------------|
| 1 Tapete de transporte | 2,2371 | 22000 | 0,0001 |
| 6 Tapete de transporte | 8,9484 | 22000 | 0,0004 |

Quadro A 10 - Tapetes de transportes

| | Potência (KW) | Rendimento (kg/h) | Energia (KWh/Kg) |
|-----------------------|---------------|-------------------|------------------|
| Camião (motor 260 HP) | 193,882 | 44800 | 0,00433 |

Quadro A 11 - Camião 1

| | Distâncias médias (km) | Velocidade média (Km/h) | Tempo (h) | Massa média (kg) | Rendimento (kg/h) |
|-----------------------|------------------------|-------------------------|-----------|------------------|-------------------|
| Camião (motor 260 HP) | 25 | 80 | 0,3125 | 14000 | 44800 |

Quadro A 12 - Camião 2

Betão C20/25 S3 (0% Cinzas)

| C20/25 S3 (0% Cinzas) | Massa (kg) | Energia incorporada (MJ/kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂ /kg) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|---------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|---|--|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 215 | 2,861 | 615,03 | 0,659 | 141,76 |
| Cinzas Volantes | 0 | 0,204 | 0 | 0,033 | 0 |
| Agregado Britado | 973 | 0,064 | 62,03 | 0,005 | 5,14 |
| Agregado reciclado | 0 | 0,054 | 0 | 0,0055 | 0 |
| Areia grossa | 1024 | 0,168 | 172,38 | 0,0201 | 20,61 |
| Água | 153 | 0,2 | 30,6 | 0 | 0 |

Quadro A 13 - C20/25 S3 (0% Cinzas) 0% RCD s

| C20/25 S3 (0% Cinzas) | Massa (kg) | Energia incorporada (MJ/kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂ /kg) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|---------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|---|--|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 215 | 2,861 | 615,03 | 0,659 | 141,76 |
| Cinzas Volantes | 0 | 0,204 | 0 | 0,033 | 0 |
| Agregado Britado | 875,7 | 0,064 | 55,83 | 0,0053 | 4,63 |
| Agregado reciclado | 97,3 | 0,054 | 5,21 | 0,005 | 0,54 |
| Areia grossa | 1024 | 0,168 | 172,38 | 0,020 | 20,61 |
| Água | 153 | 0,2 | 30,6 | 0 | 0 |

Quadro A 14 - C20/25 S3 (0% Cinzas) 10% RCD's

| C20/25 S3 (0% Cinzas) | Massa (kg) | Energia incorporada (MJ/kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂ /kg) | Emissões de CO ₂ (Kg CO ₂) |
|---------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|---|---|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 215 | 2,861 | 615,03 | 0,659 | 141,76 |
| Cinzas Volantes | 0 | 0,204 | 0 | 0,033 | 0 |
| Agregado Britado | 778,4 | 0,064 | 49,63 | 0,0053 | 4,11 |
| Agregado reciclado | 194,6 | 0,054 | 10,43 | 0,005 | 1,07 |
| Areia grossa | 1024 | 0,168 | 172,38 | 0,020 | 20,61 |
| Água | 153 | 0,2 | 30,6 | 0 | 0 |

Quadro A 15 - C20/25 S3 (0% Cinzas) 20% RCD's

| C20/25 S3 (0% Cinzas) | Massa (kg) | Energia incorporada (MJ/kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂ /kg) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|---------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|---|--|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 215 | 2,861 | 615,03 | 0,659 | 141,76 |
| Cinzas Volantes | 0 | 0,204 | 0 | 0,033 | 0 |
| Agregado Britado | 681,1 | 0,064 | 43,42 | 0,0053 | 3,59 |
| Agregado reciclado | 291,9 | 0,054 | 15,64 | 0,005 | 1,61 |
| Areia grossa | 1024 | 0,168 | 172,38 | 0,020 | 20,61 |
| Água | 153 | 0,2 | 30,6 | 0 | 0 |

Quadro A 16 - C20/25 S3 (0% Cinzas) 30% RCD's

| C20/25 S3 (0% Cinzas) | Massa (kg) | Energia incorporada (MJ/kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂ /kg) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|---------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|---|--|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 215 | 2,861 | 615,03 | 0,659 | 141,76 |
| Cinzas Volantes | 0 | 0,204 | 0 | 0,033 | 0 |
| Agregado Britado | 0 | 0,064 | 0 | 0,0053 | 0 |
| Agregado reciclado | 973 | 0,054 | 52,13 | 0,005 | 5,35 |
| Areia grossa | 1024 | 0,168 | 172,38 | 0,020 | 20,61 |
| Água | 153 | 0,2 | 30,6 | 0 | 0 |

Quadro A 17 - C20/25 S3 (0% Cinzas) 100% RCD's

| RCD's | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|-------|--------------------------|--|
| 0% | 880,04 | 167,52 |
| 10% | 879,05 | 167,54 |
| 20% | 878,06 | 167,56 |
| 30% | 877,07 | 167,58 |
| 100% | 870,13 | 167,73 |

Quadro A 18- Energia incorporada e Emissões de CO₂, C20/25 S3 (0% Cinzas)

Betão C20/25 S3 (35% Cinzas)

| C20/25 S3 (35%cinzas) | Massa (kg) | Energia incorporada (MJ/kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂ /kg) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|---------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|---|--|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 192 | 2,861 | 549,23 | 0,659 | 126,59 |
| Cinzas Volantes | 103 | 0,204 | 20,98 | 0,033 | 3,39 |
| Agregado Britado | 1063 | 0,064 | 67,77 | 0,0053 | 5,62 |
| Agregado reciclado | 0 | 0,054 | 0 | 0,005 | 0 |
| Areia grossa | 815 | 0,168 | 137,19 | 0,020 | 16,41 |
| Água | 162 | 0,2 | 32,4 | 0 | 0 |

Quadro A 19 - C20/25 S3 (35%cinzas) 0%RCD's

| C20/25 S3 (35%cinzas) | Massa (kg) | Energia incorporada (MJ/kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂ /kg) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|---------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|---|--|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 192 | 2,861 | 549,23 | 0,659 | 126,59 |
| Cinzas Volantes | 103 | 0,204 | 20,98 | 0,033 | 3,39 |
| Agregado Britado | 956,7 | 0,064 | 60,99 | 0,0053 | 5,06 |
| Agregado reciclado | 106,3 | 0,054 | 5,69 | 0,005 | 0,59 |
| Areia grossa | 815 | 0,168 | 137,19 | 0,020 | 16,41 |
| Água | 162 | 0,2 | 32,4 | 0 | 0 |

Quadro A 20 - C20/25 S3 (35%cinzas) 10% RCD's

| C20/25 S3 (35%cinzas) | Massa (kg) | Energia incorporada (MJ/kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂ /kg) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|---------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|---|--|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 192 | 2,861 | 549,23 | 0,659 | 126,59 |
| Cinzas Volantes | 103 | 0,204 | 20,98 | 0,033 | 3,39 |
| Agregado Britado | 850,4 | 0,064 | 54,23 | 0,0053 | 4,49 |
| Agregado reciclado | 212,6 | 0,054 | 11,39 | 0,005 | 1,17 |
| Areia grossa | 815 | 0,168 | 137,19 | 0,020 | 16,41 |
| Água | 162 | 0,2 | 32,4 | 0 | 0 |

Quadro A 21 - C20/25 S3(35%cinzas) 20% RCD's

| C20/25 S3 (35%cinzas) | Massa (kg) | Energia incorporada (MJ/kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂ /kg) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|---------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|---|--|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 192 | 2,861 | 549,23 | 0,659 | 126,59 |
| Cinzas Volantes | 103 | 0,204 | 20,98 | 0,033 | 3,39 |
| Agregado Britado | 744,1 | 0,064 | 47,44 | 0,0053 | 3,93 |
| Agregado reciclado | 318,9 | 0,054 | 17,09 | 0,005 | 1,75 |
| Areia grossa | 815 | 0,168 | 137,19 | 0,020 | 16,41 |
| Água | 162 | 0,2 | 32,4 | 0 | 0 |

Quadro A 22 - C20/25 S3 (35%cinzas) 30% RCD's

| C20/25 S3 (35%cinzas) | Massa (kg) | Energia incorporada (MJ/kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂ /kg) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|---------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|---|--|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 192 | 2,861 | 549,23 | 0,659 | 126,59 |
| Cinzas Volantes | 103 | 0,204 | 20,98 | 0,033 | 3,39 |
| Agregado Britado | 0 | 0,064 | 0 | 0,0053 | 0 |
| Agregado reciclado | 1063 | 0,054 | 56,95 | 0,005 | 5,85 |
| Areia grossa | 815 | 0,168 | 137,19 | 0,020 | 16,41 |
| Água | 162 | 0,2 | 32,4 | 0 | 0 |

Quadro A 23 - C20/25 S3 (35%cinzas) 100% RCD's

| RCD's | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|-------|--------------------------|--|
| 0% | 807,59 | 152,01 |
| 10% | 806,50 | 152,04 |
| 20% | 805,42 | 152,06 |
| 30% | 804,34 | 152,09 |
| 100% | 796,76 | 152,24 |

Quadro A 24 - Energia incorporada e emissões de CO₂, C20/25 S3 (35%cinzas)

Betão C35/45 S4 (0% Cinzas)

| C35/45 S4 (0% Cinzas) | Massa (kg) | Energia incorporada (MJ/kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂ /kg) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|---------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|---|--|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 350 | 2,861 | 1001,21 | 0,659 | 230,78 |
| Cinzas Volantes | 0 | 0,204 | 0 | 0,033 | 0 |
| Agregado Britado | 922 | 0,064 | 58,78 | 0,0053 | 4,872 |
| Agregado reciclado | 0 | 0,054 | 0 | 0,005 | 0 |
| Areia grossa | 922 | 0,168 | 155,21 | 0,020 | 18,56 |
| Água | 163 | 0,2 | 32,6 | 0 | 0 |

Quadro A 25 - C35/45 S4 (0% Cinzas) 0%RCD's

| C35/45 S4 (0% Cinzas) | Massa (kg) | Energia incorporada (MJ/kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂ /kg) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|---------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|---|--|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 350 | 2,861 | 1001,21 | 0,659 | 230,78 |
| Cinzas Volantes | 0 | 0,204 | 0 | 0,033 | 0 |
| Agregado Britado | 829,8 | 0,064 | 52,90 | 0,0053 | 4,38 |
| Agregado reciclado | 92,2 | 0,054 | 4,94 | 0,005 | 0,507 |
| Areia grossa | 922 | 0,168 | 155,21 | 0,020 | 18,56 |
| Água | 163 | 0,2 | 32,6 | 0 | 0 |

Quadro A 26 - C35/45 S4 (0% Cinzas) 10% RCD's

| C35/45 S4 (0% Cinzas) | Massa (kg) | Energia incorporada (MJ/kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂ /kg) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|---------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|---|--|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 350 | 2,861 | 1001,21 | 0,659 | 230,78 |
| Cinzas Volantes | 0 | 0,204 | 0 | 0,033 | 0 |
| Agregado Britado | 737,6 | 0,064 | 47,03 | 0,0053 | 3,89 |
| Agregado reciclado | 184,4 | 0,054 | 9,88 | 0,005 | 1,01 |
| Areia grossa | 922 | 0,168 | 155,21 | 0,020 | 18,56 |
| Água | 163 | 0,2 | 32,6 | 0 | 0 |

Quadro A 27 - C35/45 S4 (0% Cinzas) 20% RCD's

| C35/45 S4 (0% Cinzas) | Massa (kg) | Energia incorporada (MJ/kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂ /kg) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|---------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|---|--|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 350 | 2,861 | 1001,21 | 0,659 | 230,78 |
| Cinzas Volantes | 0 | 0,204 | 0 | 0,033 | 0 |
| Agregado Britado | 645,4 | 0,064 | 41,15 | 0,0053 | 3,41 |
| Agregado reciclado | 276,6 | 0,054 | 14,82 | 0,005 | 1,52 |
| Areia grossa | 922 | 0,168 | 155,21 | 0,020 | 18,56 |
| Água | 163 | 0,2 | 32,6 | 0 | 0 |

Quadro A 28 - C35/45 S4 (0% Cinzas) 30% RCD's

| C35/45 S4 (0% Cinzas) | Massa (kg) | Energia incorporada (MJ/kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂ /kg) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|---------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|---|--|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 350 | 2,86 | 1001,21 | 0,659 | 230,78 |
| Cinzas Volantes | 0 | 0,20 | 0 | 0,033 | 0 |
| Agregado Britado | 0 | 0,06 | 0 | 0,0053 | 0 |
| Agregado reciclado | 922 | 0,05 | 49,39 | 0,005 | 5,07 |
| Areia grossa | 922 | 0,17 | 155,21 | 0,020 | 18,56 |
| Água | 163 | 0,2 | 32,6 | 0 | 0 |

Quadro A 29 - C35/45 S4 (0% Cinzas) 100% RCD's

| RCD's | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|-------|--------------------------|--|
| 0% | 1247,79 | 254,21 |
| 10% | 1246,86 | 254,23 |
| 20% | 1245,92 | 254,25 |
| 30% | 1244,98 | 254,27 |
| 100% | 1238,41 | 254,41 |

Quadro A 30 - Energia incorporada e emissões de CO₂, C35/45 S4 (0% Cinzas)

Betão C35/45 S4 (35% Cinzas)

| C35/45 S4 (35%cinzas) | Massa (kg) | Energia incorporada (MJ/kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (Kg CO ₂ /kg) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|---------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|--|--|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 260 | 2,86 | 743,75 | 0,659 | 171,43 |
| Cinzas Volantes | 140 | 0,20 | 28,52 | 0,033 | 4,61 |
| Agregado Britado | 971 | 0,06 | 61,91 | 0,0053 | 5,13 |
| Agregado reciclado | 0 | 0,05 | 0 | 0,005 | 0 |
| Areia grossa | 794 | 0,17 | 133,66 | 0,020 | 15,98 |
| Água | 153 | 0,2 | 30,6 | 0 | 0 |

Quadro A 31- C35/45 S4 (35%cinzas) 0% RCD's

| C35/45 S4 (35%cinzas) | Massa (kg) | Energia incorporada (MJ/kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (Kg CO ₂ /kg) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|---------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|--|--|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 260 | 2,86 | 743,75 | 0,659 | 171,43 |
| Cinzas Volantes | 140 | 0,20 | 28,52 | 0,033 | 4,62 |
| Agregado Britado | 873,9 | 0,06 | 55,72 | 0,0053 | 4,62 |
| Agregado reciclado | 97,1 | 0,05 | 5,20 | 0,005 | 0,53 |
| Areia grossa | 794 | 0,17 | 133,66 | 0,020 | 15,98 |
| Água | 153 | 0,2 | 30,6 | 0 | 0 |

Quadro A 32 - C35/45 S4 (35%cinzas) 10% RCD's

| C35/45 S4 (35%cinzas) | Massa (kg) | Energia incorporada (MJ/kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂ /kg) | Emissões de CO ₂ (Kg CO ₂) |
|---------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|---|---|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 260 | 2,86 | 743,75 | 0,659 | 171,43 |
| Cinzas Volantes | 140 | 0,20 | 28,52 | 0,033 | 4,62 |
| Agregado Britado | 776,8 | 0,06 | 49,53 | 0,0053 | 4,10 |
| Agregado reciclado | 194,2 | 0,05 | 10,40 | 0,005 | 1,07 |
| Areia grossa | 794 | 0,17 | 133,66 | 0,020 | 15,98 |
| Água | 153 | 0,2 | 30,6 | 0 | 0 |

Quadro A 33 - C35/45 S4 (35%cinzas) 20% RCD's

| C35/45 S4 (35%cinzas) | Massa (kg) | Energia incorporada (MJ/kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂ /kg) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|---------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|---|--|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 260 | 2,86 | 743,75 | 0,659 | 171,43 |
| Cinzas Volantes | 140 | 0,20 | 28,52 | 0,033 | 4,62 |
| Agregado Britado | 679,7 | 0,06 | 43,34 | 0,0053 | 3,59 |
| Agregado reciclado | 291,3 | 0,05 | 15,61 | 0,005 | 1,60 |
| Areia grossa | 794 | 0,17 | 133,66 | 0,020 | 15,98 |
| Água | 153 | 0,2 | 30,6 | 0 | 0 |

Quadro A 34 - C35/45 S4 (35%cinzas) 30% RCD's

| C35/45 S4 (35%cinzas) | Massa (kg) | Energia incorporada (MJ/kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂ /kg) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|---------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|---|--|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 260 | 2,86 | 743,75 | 0,659 | 171,43 |
| Cinzas Volantes | 140 | 0,20 | 28,52 | 0,033 | 4,62 |
| Agregado Britado | 0 | 0,06 | 0 | 0,0053 | 0 |
| Agregado reciclado | 971 | 0,05 | 52,02 | 0,005 | 5,34 |
| Areia grossa | 794 | 0,17 | 133,66 | 0,020 | 15,98 |
| Água | 153 | 0,2 | 30,6 | 0 | 0 |

Quadro A 35 - C35/45 S4 (35%cinzas) 100% RCD's

| RCD's | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|-------|--------------------------|--|
| 0% | 967,92 | 197,16 |
| 10% | 966,93 | 197,18 |
| 20% | 965,94 | 197,20 |
| 30% | 964,95 | 197,22 |
| 100% | 958,034 | 197,37 |

Quadro A 36 - Energia incorporada e emissões de CO₂, C35/45 S4 (35%cinzas)

Betão incorporando Resíduos

| 0% RCD | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|------------------------|--------------------------|--|
| C20/25 S3 (0% Cinzas) | 880,04 | 167,52 |
| C20/25 S3 (35% Cinzas) | 807,59 | 152,01 |
| C35/45 S4 (0% Cinzas) | 1247,79 | 254,21 |
| C35/45 S4 (35% Cinzas) | 967,92 | 197,16 |

Quadro A 37 - Betão incorporando 0% RCD's

| 10 % RCD | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|------------------------|--------------------------|--|
| C20/25 S3 (0% Cinzas) | 879,05 | 167,54 |
| C20/25 S3 (35% Cinzas) | 806,50 | 152,04 |
| C35/45 S4 (0% Cinzas) | 966,93 | 197,18 |
| C35/45 S4 (35% Cinzas) | 966,93 | 197,18 |

Quadro A 38 - Betão incorporando 10% RCD's

| 20 % RCD | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|------------------------|--------------------------|--|
| C20/25 S3 (0% Cinzas) | 878,06 | 167,56 |
| C20/25 S3 (35% Cinzas) | 805,42 | 152,06 |
| C35/45 S4 (0% Cinzas) | 1245,92 | 254,25 |
| C35/45 S4 (35% Cinzas) | 965,94 | 197,20 |

Quadro A 39 - Betão incorporando 20% RCD's

| 30 % RCD | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (KgCO ₂) |
|------------------------|--------------------------|--|
| C20/25 S3 (0% Cinzas) | 877,07 | 167,58 |
| C20/25 S3 (35% Cinzas) | 804,34 | 152,08 |
| C35/45 S4 (0% Cinzas) | 1244,98 | 254,27 |
| C35/45 S4 (35% Cinzas) | 964,95 | 197,22 |

Quadro A 40 - Betão incorporando 30% RCD's

| 100 % RCD | Energia incorporada (MJ) | Emissões de CO ₂ (Kg CO ₂) |
|------------------------|--------------------------|---|
| C20/25 S3 (0% Cinzas) | 870,13 | 167,73 |
| C20/25 S3 (35% Cinzas) | 796,76 | 152,24 |
| C35/45 S4 (0% Cinzas) | 1238,41 | 254,41 |
| C35/45 S4 (35% Cinzas) | 958,034 | 197,37 |

Quadro A 41 - Betão incorporando 100% RCD's

Custos por material, de 1m³ de Betão, C20/25 S3 (35%cinzas)

| C20/25 S3 (35%cinzas) | RCD 0% (ton) | Custo (€/ton) | Custo (€) |
|---------------------------|--------------|---------------|-----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 0,192 | 112,2 | 21,54 |
| Cinzas Volantes | 0,103 | 44,55 | 4,59 |
| Agregado Britado | 1,063 | 8,75 | 9,30 |
| Agregado reciclado | 0 | 5 | 0 |
| Areia | 0,815 | 10,2 | 8,31 |

Quadro A 42 - custo do betão C20/25 S3 (35%cinzas) 0%RCD's

| C20/25 S3(35%cinzas) | RCD 10% (ton) | Custo (€/ton) | Custo (€) |
|---------------------------|---------------|---------------|-----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 0,192 | 112,2 | 21,54 |
| Cinzas Volantes | 0,103 | 44,55 | 4,59 |
| Agregado Britado | 0,9567 | 8,75 | 8,37 |
| Agregado reciclado | 0,1063 | 5 | 0,53 |
| Areia | 0,815 | 10,2 | 8,31 |

Quadro A 43 - custo do Betão C20/25 S3 (35%cinzas) 10%RCD's

| C20/25 S3 (35%cinzas) | RCD 20% (ton) | Custo (€/ton) | Custo (€) |
|---------------------------|---------------|---------------|-----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 0,192 | 112,2 | 21,54 |
| Cinzas Volantes | 0,103 | 44,55 | 4,58 |
| Agregado Britado | 0,8504 | 8,75 | 7,44 |
| Agregado reciclado | 0,2126 | 5 | 1,06 |
| Areia | 0,815 | 10,2 | 8,31 |

Quadro A 44 - custo do betão C20/25 S3 (35%cinzas) 20%RCD's

| C20/25 S3 (35%cinzas) | RCD 30% (ton) | Custo (€/ton) | Custo (€) |
|---------------------------|---------------|---------------|-----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 0,192 | 112,2 | 21,54 |
| Cinzas Volantes | 0,103 | 44,55 | 4,59 |
| Agregado Britado | 0,7441 | 8,75 | 6,51 |
| Agregado reciclado | 0,3189 | 5 | 1,59 |
| Areia | 0,815 | 10,2 | 8,31 |

Quadro A 45 - custo do betão C20/25 S3 (35%cinzas) 30%RCD's

| C20/25 S3 (35%cinzas) | RCD 100% (ton) | Custo (€/ton) | Custo (€) |
|---------------------------|----------------|---------------|-----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 0,192 | 112,2 | 21,54 |
| Cinzas Volantes | 0,103 | 44,55 | 4,59 |
| Agregado Britado | 0 | 8,75 | 0 |
| Agregado reciclado | 1,063 | 5 | 5,32 |
| Areia | 0,815 | 10,2 | 8,31 |

Quadro A 46 - custo do betão C20/25 S3 (35%cinzas) 100%RCD's

Custos por material, de 1m³ de Betão C20/25 S3 (0%cinzas)

| C20/25 S3 (0% Cinzas) | RCD 0% (ton) | Custo (€/ton) | Custo (€) |
|---------------------------|--------------|---------------|-----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 0,215 | 112,2 | 24,12 |
| Cinzas Volantes | 0 | 44,55 | 0 |
| Agregado Britado | 0,973 | 8,75 | 8,51 |
| Agregado reciclado | 0 | 5 | 0 |
| Areia | 1,024 | 10,2 | 10,45 |

Quadro A 47 - custo do betão C20/25 S3 (0%cinzas) 0%RCD's

| C20/25 S3 (0% Cinzas) | RCD 10% (ton) | custo (€/ton) | Custo (€) |
|---------------------------|---------------|---------------|-----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 0,215 | 112,2 | 24,12 |
| Cinzas Volantes | 0 | 44,55 | 0 |
| Agregado Britado | 0,8757 | 8,75 | 7,66 |
| Agregado reciclado | 0,0973 | 5 | 0,49 |
| Areia | 1,024 | 10,2 | 10,45 |

Quadro A 48 - custo do betão C20/25 S3 (0%cinzas) 10%RCD's

| C20/25 S3 (0% Cinzas) | RCD 20% (ton) | Custo (€/ton) | Custo (€) |
|---------------------------|---------------|---------------|-----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 0,215 | 112,2 | 24,12 |
| Cinzas Volantes | 0 | 44,55 | 0 |
| Agregado Britado | 0,7784 | 8,75 | 6,81 |
| Agregado reciclado | 0,1946 | 5 | 0,97 |
| Areia | 1,024 | 10,2 | 10,45 |

Quadro A 49 - custo do betão C20/25 S3 (0%cinzas) 20%RCD's

| C20/25 S3 (0% Cinzas) | RCD 30% (ton) | Custo (€/ton) | Custo (€) |
|---------------------------|---------------|---------------|-----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 0,215 | 112,2 | 24,12 |
| Cinzas Volantes | 0 | 44,55 | 0 |
| Agregado Britado | 0,6811 | 8,75 | 5,96 |
| Agregado reciclado | 0,2919 | 5 | 1,46 |
| Areia | 1,024 | 10,2 | 10,45 |

Quadro A 50 - custo do betão C20/25 S3 (0%cinzas) 30%RCD's

| C20/25 S3 (0% Cinzas) | RCD 100% (ton) | Custo (€/ton) | Custo (€) |
|---------------------------|----------------|---------------|-----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 0,215 | 112,2 | 24,12 |
| Cinzas Volantes | 0 | 44,55 | 0 |
| Agregado Britado | 0 | 8,75 | 0 |
| Agregado reciclado | 0,973 | 5 | 4,87 |
| Areia | 1,024 | 10,2 | 10,45 |

Quadro A 51 - custo do betão C20/25 S3 (0%cinzas) 100%RCD's

Custos por material, de 1m³ de Betão C35/45 S4 (35%cinzas)

| C35/45 S4 (35%cinzas) | RCD 0% (ton) | Custo (€/ton) | Custo (€) |
|---------------------------|--------------|---------------|-----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 0,26 | 112,2 | 29,17 |
| Cinzas Volantes | 0,14 | 44,55 | 6,24 |
| Agregado Britado | 0,971 | 8,75 | 8,49 |
| Agregado reciclado | 0 | 5 | 0 |
| Areia | 0,794 | 10,2 | 8,09 |

Quadro A 52 - custo do betão C35/45 S3 (35%cinzas) 0%RCD's

| C35/45 S4 (35%cinzas) | RCD 10% (ton) | Custo (€/ton) | Custo (€) |
|---------------------------|---------------|---------------|-----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 0,26 | 112,2 | 29,17 |
| Cinzas Volantes | 0,14 | 44,55 | 6,24 |
| Agregado Britado | 0,8739 | 8,75 | 7,65 |
| Agregado reciclado | 0,0971 | 5 | 0,49 |
| Areia | 0,794 | 10,2 | 8,09 |

Quadro A 53 - custo do betão C35/45 S3 (35%cinzas) 10%RCD's

| C35/45 S4 (35%cinzas) | RCD 20% (ton) | Custo (€/ton) | Custo (€) |
|---------------------------|---------------|---------------|-----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 0,26 | 112,2 | 29,17 |
| Cinzas Volantes | 0,14 | 44,55 | 6,24 |
| Agregado Britado | 0,7768 | 8,75 | 6,79 |
| Agregado reciclado | 0,1942 | 5 | 0,97 |
| Areia | 0,794 | 10,2 | 8,09 |

Quadro A 54 - custo do betão C35/45 S3 (35%cinzas) 20%RCD's

| C35/45 S4 (35%cinzas) | RCD 30% (ton) | Custo (€/ton) | Custo (€) |
|---------------------------|---------------|---------------|-----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 0,26 | 112,2 | 29,17 |
| Cinzas Volantes | 0,14 | 44,55 | 6,24 |
| Agregado Britado | 0,6797 | 8,75 | 5,95 |
| Agregado reciclado | 0,2913 | 5 | 1,46 |
| Areia | 0,794 | 10,2 | 8,09 |

Quadro A 55 - custo do betão C35/45 S3 (35%cinzas) 30%RCD's

| C35/45 S4 (35%cinzas) | RCD 100% (ton) | Custo (€/ton) | Custo (€) |
|---------------------------|----------------|---------------|-----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 0,26 | 112,2 | 29,17 |
| Cinzas Volantes | 0,14 | 44,55 | 6,24 |
| Agregado Britado | 0 | 8,75 | 0 |
| Agregado reciclado | 0,971 | 5 | 4,86 |
| Areia | 0,794 | 10,2 | 8,09 |

Quadro A 56 - custo do betão C35/45 S3 (35%cinzas) 100%RCD's

Custos por material, de 1m³ de BetãoC35/45 S4 (0%cinzas)

| C35/45 S4 (0% Cinzas) | RCD 0% (ton) | Custo (€/ton) | Custo (€) |
|---------------------------|--------------|---------------|-----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 0,35 | 112,2 | 39,27 |
| Cinzas Volantes | 0 | 44,55 | 0 |
| Agregado Britado | 0,922 | 8,75 | 8,07 |
| Agregado reciclado | 0 | 5 | 0 |
| Areia | 0,922 | 10,2 | 9,4 |

Quadro A 57 - custo do betão C35/45 S3 (0%cinzas) 0%RCD's

| C35/45 S4 (0% Cinzas) | RCD 10% (ton) | Custo (€/ton) | Custo (€) |
|---------------------------|---------------|---------------|-----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 0,35 | 112,2 | 39,27 |
| Cinzas Volantes | 0 | 44,55 | 0 |
| Agregado Britado | 0,8298 | 8,75 | 7,26 |
| Agregado reciclado | 0,0922 | 5 | 0,46 |
| Areia | 0,922 | 10,2 | 9,40 |

Quadro A 58 - custo do betão C35/45 S3 (0%cinzas) 10%RCD's

| C35/45 S4 (0% Cinzas) | RCD 20% (ton) | Custo (€/ton) | Custo (€) |
|---------------------------|---------------|---------------|-----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 0,35 | 112,2 | 39,27 |
| Cinzas Volantes | 0 | 44,55 | 0 |
| Agregado Britado | 0,7376 | 8,75 | 6,45 |
| Agregado reciclado | 0,1844 | 5 | 0,92 |
| Areia | 0,922 | 10,2 | 9,40 |

Quadro A 59 - custo do betão C35/45 S3 (0%cinzas) 20%RCD's

| C35/45 S4 (0% Cinzas) | RCD 30% (ton) | Custo (€/ton) | Custo (€) |
|---------------------------|---------------|---------------|-----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 0,35 | 112,2 | 39,27 |
| Cinzas Volantes | 0 | 44,55 | 0 |
| Agregado Britado | 0,6454 | 8,75 | 5,65 |
| Agregado reciclado | 0,2766 | 5 | 1,38 |
| Areia | 0,922 | 10,2 | 9,40 |

Quadro A 60 - custo do betão C35/45 S3 (0%cinzas) 30%RCD's

| C35/45 S4 (0% Cinzas) | RCD 100% (ton) | Custo (€/ton) | Custo (€) |
|---------------------------|----------------|---------------|-----------|
| Cimento CEM II/A -L42,5 R | 0,35 | 112,2 | 39,27 |
| Cinzas Volantes | 0 | 44,55 | 0 |
| Agregado Britado | 0 | 8,75 | 0 |
| Agregado reciclado | 0,922 | 5 | 4,61 |
| Areia | 0,922 | 10,2 | 9,40 |

Quadro A 61 - custo do betão C35/45 S3 (0%cinzas) 100%RCD's