



Instituto Politécnico
de Castelo Branco
Escola Superior
de Tecnologia

Inovação e Sustentabilidade na Indústria da Construção Tijolos de Solo-Cimento com Adição de Resíduos da Indústria de Celulose, Dregs

Bruno Miguel Ribeiro de Oliveira

Orientador

Professor Adjunto Cristina Calmeiro do Santos

Dissertação apresentado à Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, área de especialização em Engenharia Civil especialização em Construção Sustentável, realizada sob a orientação científica da Professora Cristina Calmeiro dos Santos, do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

junho de 2022

Composição do júri

Presidente do júri

Rui Manuel Amaro Alves, Professor Adjunto da UTC de Engenharia da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

Vogais

Fernando José Garrido Branco, Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Maria Constança Simões Rigueiro, Professor Coordenador da UTC de Engenharia da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

Cristina Calmeiro dos Santos, Professor Adjunto da UTC de Engenharia da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco (Orientador).

Agradecimentos

Ao iniciarmos uma dissertação não sabemos ao certo se os caminhos pensados serão os melhores, até onde nos vão levar e nem se conseguiremos chegar até ao fim, mas de uma forma ou outra, lá vamos conseguindo ultrapassar os obstáculos com que nos deparamos e acabar por chegar a bom porto.

Assim apesar do presente trabalho ter sido realizado individualmente, a sua realização não teria sido possível sem o precioso apoio, companheirismo, disponibilidade e amizade prestados, por isso aqui deixo os meus maiores agradecimentos às pessoas que de uma maneira ou de outra me ajudaram e fizeram parte desta viagem.

Em primeiro lugar, desejo manifestar o meu sincero agradecimento aos Professores Dinis Gardete e Cristina Calmeiro pela orientação, pela sugestão do tema e da área de trabalho, por todos os conhecimentos transmitidos. Agradeço os ensinamentos, a exigência sempre pelo melhor, a prontidão demonstrada para me ajudar nesta dissertação e todos os momentos de partilha que contribuíram também para o meu crescimento. Nesta parte final à Professora Cristina também pelo apoio, disponibilidade, paciência ao longo da realização e revisão final, pela forma atenciosa e cuidada como me acompanhou durante a preparação, desenvolvimento e na conclusão da dissertação.

Ao Pedro e à Sofia que desde o início, sempre estiveram ao meu lado, pela amizade e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei a este trabalho, pois sem eles nada disto seria possível.

Não esquecer os meus colegas de curso, com quem convivi intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram crescer não só como pessoa, mas também como formando.

Por fim aos meus pais, mulher e filha, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste grande objetivo.

À empresa BIOTEK S.A., pela oferta dos resíduos DREGS utilizados nesta investigação.

Resumo

Para um desenvolvimento sustentável no setor da construção civil é importante pensar à frente e trabalhar no aproveitamento de materiais de rejeição industrial como substitutos de agregados ou aglomerantes tanto em misturas de argamassas como de betão, como pensar em novas ideias.

Assim temos a indústria de papel e celulose, que por meio do processo Kraft processa a celulose e gera grandes quantidades de resíduos conhecidos como dregs e com a possibilidade de aproveitamento do resíduo que têm como destino final aterros, devemos procurar inovações tecnológicas construtivas, aliando-se ao desenvolvimento da construção sustentável, viabilidade económica e implementação de novos recursos.

Portanto para minimizar os impactos ambientais e atender às exigências económicas, estão a ser desenvolvidos estudos para avaliar a viabilidade do aproveitamento destes resíduos em produtos aplicados na construção civil. Dentro desse esforço, a presente dissertação tem como objetivo analisar os resultados de uma possível integração dos dregs na construção civil, através da incorporação deste material em tijolos produzidos através de uma mistura de solo-cimento. Assim a utilização de um tijolo sustentável composto por um agregado, por dregs e por cimento torna-se atrativo quer pelo seu processo de fabricação e quer por não ser necessário a queima do mesmo.

Não descurar que o objetivo principal foi analisar a mistura para o fabrico de tijolos de solo-cimento e não estudar uma argamassa, foram realizados ensaios para caracterizar o material envolvendo a análise de várias amostras da mistura de solo-cimento com adição de dregs. Foram fabricados provetes com uma mistura de referência e provetes com 15 e 30% de dregs por substituição do agregado, ambos os grupos de provetes foram ensaiados à compressão.

Após o ensaio à compressão chegou-se a resultados interessantes com a base de uma mistura de 30% de dregs, mas melhorados com a mistura de 15% de dregs, sendo a mistura de 15% de dregs escolhida para a continuação do estudo.

Já com o tijolo de solo-cimento e os ensaios aplicados a este, demonstraram um bom potencial para a incorporação do resíduo, em quantidades adequadas na produção de tijolos de solo-cimento, reduzindo o custo da produção, além de diminuir os impactos ambientais com o destino atual do resíduo.

Palavras chave

Inovação; Sustentabilidade; Indústria da Construção; Tijolo Solo-cimento: Dregs.

Abstract

For sustainable development in the civil construction sector, it is important to think ahead and work on the use of industrial reject materials as substitutes for aggregates or binders in both mortar and concrete mixtures, as well as thinking about new ideas.

So we have the pulp and paper industry, which through the Kraft process processes pulp and generates large amounts of waste known as dregs and with the possibility of using the waste that has landfills as its final destination, we must look for constructive technological innovations, combining the development of sustainable construction, economic viability and implementation of new resources.

Therefore, in order to minimize environmental impacts and meet economic requirements, studies are being carried out to assess the feasibility of using these residues in products applied in civil construction. Within this effort, the present dissertation aims to analyse the results of a possible integration of dregs in civil construction, through the incorporation of this material in bricks produced through a soil-cement mixture. Thus, the use of a sustainable brick composed of an aggregate, dregs and cement becomes attractive both because of its manufacturing process and because it does not need to be burned.

Not forgetting that the main objective was to analyse the mixture for the manufacture of soil-cement bricks and not to study a mortar, tests were carried out to characterize the material involving the analysis of several samples of the soil-cement mixture with the addition of dregs. Samples were manufactured with a reference mixture and samples with 15 and 30% of dregs by replacing the aggregate, both groups of samples were tested in compression.

After the compression test, interesting results were obtained based on a mixture of 30% of dregs, but improved with the mixture of 15% of dregs, with the mixture of 15% of dregs being chosen for the continuation of the study.

With the soil-cement brick and the tests applied to it, they showed a good potential for the incorporation of the residue, in adequate amounts in the production of soil-cement bricks, reducing the cost of production, in addition to reducing the environmental impacts with the current destination of the waste.

Keywords

Innovation; Sustainability; Construction Industry; Soil-cement brick: Dregs.

Índice geral

1.	Introdução.....	1
1.1.	Enquadramento da dissertação.....	1
1.2.	Objetivos.....	1
1.3.	Organização da dissertação	2
2.	Resíduo da Indústria de Pasta de Papel - Dregs	4
2.1.	Introdução	4
2.2.	Indústria da pasta de papel.....	4
2.3.	Produção da Pasta de Papel	5
2.3.1.	Recuperação Química.....	6
2.3.2.	Os dregs	7
2.3.3.	Resíduos Sólidos	8
2.4.	Caraterização dos dregs	9
2.4.1.	Dregs e a Lista Europeia de Resíduos (LER)	9
2.4.2.	Caraterização Química.....	10
2.4.3.	Valorização dos dregs	11
3.	Metodologias experimentais para caraterização dos dregs	13
3.1.	Amostragem.....	13
3.2.	Caracterização do material	14
3.2.1.	Análise das propriedades geométricas - determinação da Massa Volúmica e da Absorção de água.....	14
3.2.2.	Análise das propriedades geométricas - ensaio de compactação.....	17
3.2.3.	Análise das propriedades físicas - análise granulométrica	20
3.2.4.	Análise das propriedades físicas - ensaio de adsorção de azul de metileno	28
3.3.	Discussão dos resultados	34
4.	Trabalho experimental.....	40
4.1.	Caraterização dos materiais	40
4.1.1.	Ligante	40
4.1.2.	Agregado natural	41
4.1.3.	Agregado reciclado - Dregs.....	43
4.1.4.	Estudo da mistura – 30% dregs e 70% areia.....	45
4.1.5.	Estudo da mistura – 15% dregs e 85% areia.....	46

4.2.	Procedimentos e ensaios – 1ª fase.....	47
4.2.1.	Fabrico de misturas.....	47
4.2.2.	Ensaio de abaixamento	48
4.2.3.	Enchimento e descofragem dos provetes.....	50
4.2.4.	Resistência à Compressão.....	53
4.3.	Procedimentos e ensaios – 2ª fase.....	55
4.3.1.	Fabrico dos Tijolos.....	55
4.3.2.	Absorção de água	58
4.3.3.	Eflorescência.....	59
4.3.4.	Construção do muro em tijolo.....	60
4.3.5.	Resistência do muro em tijolo.....	63
4.4.	Resultados dos Ensaios	64
4.4.1.	Ensaio de referência (ER)	65
4.4.2.	Solo-Cimento – 30% de dregs (SC _{30%})	66
4.4.3.	Solo-Cimento – 15% de dregs (SC _{15%})	67
4.4.4.	Tijolos de solo-cimento.....	69
4.5.	Análise e discussão dos resultados.....	72
4.5.1.	Comparação com os resultados de outros autores	74
4.5.2.	Aplicações do tijolo desenvolvido.....	78
5.	Ciclo de Vida.....	80
5.1.	Ciclo de vida do tijolo cerâmico	81
5.2.	Ciclo de vida do tijolo de solo-cimento.....	82
5.3.	Comparação entre tijolos cerâmicos e tijolos de solo-cimento	84
6.	Conclusões e desenvolvimentos futuros.....	87
6.1.	Conclusões.....	87
6.2.	Desenvolvimentos futuros.....	88
	Referências Bibliográficas.....	89
	Anexos.....	92

Índice de figuras

Figura 1 - Empresas do grupo Altri	5
Figura 2 - Empresa CELTEJO (atual Biotek), em Vila Velha de Ródão	5
Figura 3 - Ciclo de produção de celulose	6
Figura 4 - Diagrama do processo de recuperação de químicos e energia	7
Figura 5 - Dregs à saída do tanque de clarificação	8
Figura 6 - Produção de Resíduos Sólidos	8
Figura 7 - Destino dos Resíduos Sólidos Produzidos	9
Figura 8 - Valorização de dregs	12
Figura 9 - Aterro de dregs na fábrica Biotek	13
Figura 10 - Dregs após secagem.....	14
Figura 11 - Pesagem do picnómetro. a) vazio; b) com água.....	16
Figura 12 - Ensaio de compactação, LNEC E 197.....	19
Figura 13 - Curva de compactação.....	20
Figura 14 - Conjunto de peneiros utilizados.....	23
Figura 15 - Curva granulométrica do ensaio 1.....	25
Figura 16 - Curva granulométrica do ensaio 2 (Dregs).....	27
Figura 17 - Aspeto das partículas após separação por peneiração	28
Figura 18 - Ensaio <i>MBK</i> (Caulinite).....	31
Figura 19 - Ensaio 1 <i>MBF</i>	32
Figura 20 - Ensaio 2 <i>MBF</i>	33
Figura 21 - Densidade de vários tipos de solos e outros materiais	35
Figura 22 - Curva da capacidade de compactação.....	36
Figura 23 - Principais frações granulométricas de um solo	37
Figura 24 - Classificação de Solos LCPC/SETRA para Dimensão $\leq 50\text{ mm}$	38
Figura 25 - Classificação dos Solos Finos pelo LCPC/SETRA	39
Figura 26 - Cimento Portland (CEM) tipo II/B-L 32,5N	40
Figura 27 - Picnómetro utilizado nos ensaios.....	41
Figura 28 - Conjunto de peneiros utilizados.....	42
Figura 29 - Curva granulométrica do agregado.....	43
Figura 30 - Curva granulométrica do dregs.....	44
Figura 31 - Curva granulométrica da mistura de 30% de dregs e 70% de areia	45
.....	
Figura 32 - Curva granulométrica da mistura da mistura de 15% de dregs e 85% de areia.....	46
Figura 33 - Betoneira de eixo horizontal.....	47
Figura 34 - Sequência da mistura em betoneira	47
Figura 35 - Slump teste	48
Figura 36 - Imagens do ensaio de abaixamento	48
Figura 37 - Ensaio de abaixamento.....	49
Figura 38 - Medição do abaixamento	49

Figura 39 - Classes de abaixamento	50
Figura 40 - Classificação da consistência	50
Figura 41 - Cubo dimensões nominais	50
Figura 42 - Provetes utilizados.....	51
Figura 43 - Enchimento dos provetes.....	51
Figura 44 - Aplicação do óleo descofrante.....	52
Figura 45 - Provetes descofrados	52
Figura 46 - Prensa MATEST com capacidade de 3000kN	53
Figura 47 - Roturas satisfatórias de provetes cúbicos	54
Figura 48 - Provede cúbico após ensaio	54
Figura 49 - Composição do tijolo solo-cimento.....	56
Figura 50 - Molde para o fabrico dos tijolos de solo-cimento.....	56
Figura 51 -Fabrico dos tijolos de solo-cimento.....	57
Figura 52 - Tijolo maciço - medidas (mm)	57
Figura 53 - Medidas do tijolo de solo-cimento.....	58
Figura 54 - Tijolos de solo-cimento imersos em água destilada para realização do ensaio de efluorescência - a) Amostra 1; b) Amostra 2.....	60
Figura 55 - Muro de ½ peça, assentamento em contra-fiada	61
Figura 56 - Construção do protótipo de muro	62
Figura 57 - Muro construído.....	63
Figura 58 - Martelos utilizados. a) massa 1,05 kg; b) massa 5,25 kg.	64
Figura 59 - Quadro de resumo	65
Figura 60 - Tijolos de solo-cimento - ensaio de efluorescência. a) Amostra 1; b) Amostra 2.	70
Figura 61 - Tijolos de Solo-cimento. a) 30 % de dregs; b) 15% de dregs.....	71
Figura 62 - Resultado final, dois choques, com a massa 1,5kg.....	71
Figura 63 - Resultados das pancadas, com a massa 5,25kg. a) 1ª pancada; b) 2ª pancada.	72
Figura 64 - Média dos resultados dos ensaios à compressão.....	72
Figura 65 - Percentagem dos resultados em relação ao ensaio de referência	73
Figura 66 - Gráfico dos resultados da absorção de água	74
Figura 67 - Tabela dos traços e percentagens de materiais na mistura em volume	74
Figura 68 - Tabela do comparativo de resistência à compressão entre 7 e 28 dias	75
Figura 69 - Traços produzidos	75
Figura 70 - Valores médios da resistência à compressão dos tijolos	76
Figura 71 - Ensaio de resistência à compressão simples.....	76
Figura 72 - Tijolo de furação vertical	77
Figura 73 - Tijolo de solo-cimento numa churrasqueira	78
Figura 74 - Lancis para canteiros	79
Figura 75 - Economia circular	80

Figura 76 - Ciclo de vida de produtos cerâmicos	81
Figura 77 - Muro de tijolos de solo-cimento após demolição	82
Figura 78 - Percentagem de RCD produzidos pelo sector da construção e restantes atividades	83
Figura 79 - Ciclo de vida do RCD	83
Figura 80 - Parede de tijolo cerâmico	85
Figura 81 - Parede de tijolo de solo-cimento	85
Figura 82 - Fornos de tijolos na Índia	86

Índice de tabelas

Tabela 1- Composição química do resíduo dregs	10
Tabela 2- Nutrientes facilmente solúveis com base na literatura	12
Tabela 3- Quadro D.1 - Massa volúmica da água	17
Tabela 4- Cálculo da massa volúmica de partículas secas	17
Tabela 5- Ensaio de compactação - “Proctor”	19
Tabela 6 - Resultados do ensaio 1.....	24
Tabela 7 - Análise granulométrica do ensaio 1	25
Tabela 8 - Resultados do ensaio 2.....	26
Tabela 9 - Análise granulométrica do ensaio 2	27
Tabela 10 - Cálculo do valor de adsorção de azul de metileno da caulinite...31	
Tabela 11 - Cálculo do valor de adsorção de azul de metileno (<i>MBF</i>) - ensaio 1.....	32
Tabela 12 - Cálculo do valor de adsorção de azul de metileno (<i>MBF</i>) - ensaio 2.....	33
Tabela 13- Cálculo da baridade seca solta.....	34
Tabela 14- Relação entre a baridade seca solta e resultante.....	36
Tabela 15- Teor de água das amostras guardadas em ambiente de laboratório	37
Tabela 16- Análise granulométrica do agregado.....	43
Tabela 17- Análise granulométrica do dregs.....	44
Tabela 18- Análise granulométrica da mistura de 30% de dregs e 70% de areia	45
Tabela 19- Análise granulométrica da mistura de 15% de dregs e 85% de areia	46
Tabela 20- Medidas dos componentes utilizados no ensaio de referência (ER)	65
Tabela 21- Resistência à compressão, aos 7 dias (ER)	65
Tabela 22- Resistência à compressão, aos 28 dias (ER).....	66
Tabela 23- Medidas dos componentes utilizados no solo-cimento (SC _{30%})	66
Tabela 24- Resistência à compressão, aos 7 dias (SC _{30%})	67
Tabela 25- Resistência à compressão, aos 28 dias (SC _{30%}).....	67
Tabela 26- Medidas dos componentes utilizados no solo-cimento (SC _{15%})	68
Tabela 27- Resistência à compressão, aos 7 dias (SC _{15%})	68
Tabela 28- Resistência à compressão, aos 28 dias (SC _{15%}).....	69

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

<i>ABNT</i>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<i>AG</i>	Areia Grosseira
<i>ASTM</i>	American Society for Testing and Materials
<i>BEKP</i>	Bleached Eucalyptus Kraft Pulp
<i>ER</i>	Ensaio de referência
<i>C .../ ...</i>	Classes de resistência à compressão do betão
<i>CEM ...</i>	Tipo de cimento de acordo com a EN 197
<i>EN</i>	Norma Europeia
<i>E</i>	Especificação
<i>LNEC</i>	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
<i>LER</i>	Lista Europeia de Resíduos
<i>NP</i>	Norma Portuguesa
<i>MB_F</i>	Ensaio para determinação do valor de azul de metileno
<i>MB_K</i>	Ensaio para determinação do valor de azul de metileno da caulinite
<i>IP</i>	Índice de Plasticidade
<i>IPQ</i>	Instituto Português da Qualidade
<i>ISO</i>	Organização Internacional de Normalização
<i>RCD</i>	Resíduos de Construção e Demolição
<i>SC_{15%}</i>	Mistura de solo-cimento com 15% de dregs
<i>SC_{30%}</i>	Mistura de solo-cimento com 30% de dregs
<i>S1 a S5</i>	Classes de consistência expressas pelo valor do abaixamento
<i>VN</i>	Valor de Neutralização
<i>VBS</i>	Valor do Azul de Metileno
<i>A/C</i>	Razão água/cimento
<i>A_{0%}</i>	Percentagem de Absorção de Água
<i>Ca</i>	Cálcio
<i>Na</i>	Sódio
<i>Mg</i>	Magnésio
<i>S</i>	Enxofre
<i>n</i>	Número
<i>ρ_d</i>	Massa volúmica das partículas secas
<i>ρ_w</i>	Massa volúmica da água à temperatura do ensaio

$f_{ck,cube}$	Resistência característica à compressão do betão determinada em cubos
$f_{c,cube}$	Resistência à compressão do betão determinada em cubos
f_{cm}	Resistência média à compressão do betão
f_{ci}	Resultado individual do ensaio de resistência à compressão do betão
ω_{opt}	Teor ótimo em água
μm	Micrómetro ($1 \mu m = 10^{-6} m$)

1. Introdução

1.1. Enquadramento da dissertação

O consumo crescente de produtos naturais e a consequente geração de grandes volumes de resíduos, conduzem à necessidade de encontrar soluções para a redução do impacto ambiental gerado, levando a indústria da construção civil, a trabalhar de maneira constante no desenvolvimento de novos materiais alternativos.

Durante os processos industriais são gerados muitos resíduos, podendo ser de origem sólida, líquida ou gasosa. Todos são de grande importância ambiental, porém os de origem sólida, que apresentam reatividade e ocupam grande espaço físico, devem receber um cuidado especial.

De entre os principais resíduos sólidos que são gerados na fábrica de celulose salienta-se o resíduo que resulta da clarificação do licor verde e que tem como designação habitual de “dregs”. Na indústria de celulose, os dregs são um dos resíduos que se geram em maior quantidade, sendo importante encontrar uma solução viável para a sua valorização [1]. Os dregs são maioritariamente formados por carbonato e sulfureto de sódio e óxido de cálcio, contendo também outros componentes em quantidades menores. Este resíduo é classificado como não perigoso de acordo com a legislação aplicável, tendo como maior problema o seu pH alcalino, ao qual se deverá dar especial atenção quando se procura encontrar a melhor solução de valorização.

Assim, com uma preocupação que já vem de algum tempo atrás, altura em que o autor conheceu os dregs, a primeira interação foi a sua caracterização, que se dividiu em duas análises, a análise das propriedades geométricas e a análise das propriedades físicas (Capítulo 3 do presente trabalho), seguindo-se a tentativa de demonstrar que um material que tem como destino final o aterro se pode transformar num material útil e contribuindo deste modo para um mundo mais sustentável.

1.2. Objetivos

A indústria da construção procura, cada vez mais, soluções construtivas, com emprego de novas ferramentas, reciclagem de resíduos, desenvolvimento sustentável e a diminuição do desperdício com a racionalização de materiais. Com base nesta premissa, a presente dissertação tem como objetivo, procurar uma solução inteligente com a análise e utilização de dregs na fabricação de tijolos de solo-cimento.

Para uma melhor compreensão e estudo dos tijolos de solo-cimento com adição de dregs procurou-se, através de uma análise bibliográfica, caracterizar o resíduo que se designa por dregs e, analisar o material como um solo de modo a compreender as suas propriedades geométricas e físicas.

Após as primeiras metodologias experimentais passou-se ao estudo e respetiva fabricação de várias composições de solo cimento e dregs, chegando finalmente à escolha da mistura ideal para o tijolo de solo-cimento e assim perceber os resultados dessa escolha.

Mas, não descurando que para um mundo mais sustentável é preciso entender a sustentabilidade do próprio produto e, tendo por base essa premissa, definir o que fazer no final do ciclo de vida do tijolo de solo-cimento com adição de dregs em comparação com o tijolo de cerâmica e analisar o ciclo de vida dos dois materiais.

1.3. Organização da dissertação

A presente dissertação foi organizada em seis capítulos para além do presente capítulo, Introdução, onde se faz um enquadramento e organização da dissertação, assim como os objetivos principais que se pretendem atingir.

O capítulo 2 corresponde à caracterização do resíduo da indústria de pasta de papel - Dregs, no qual se resume a informação descrita na literatura, onde se tenta perceber a caracterização e origem do resíduo.

O capítulo 3 corresponde à descrição das metodologias experimentais para a caracterização dos dregs, dividindo-se em duas análises, a análise referente às propriedades geométricas e a análise referente às propriedades físicas. Para a análise física usou-se o ensaio para a determinação da massa volúmica e da absorção de água e o ensaio de compactação com o propósito de determinar a relação entre o teor em água e a baridade seca dos solos. Já a análise geométrica envolveu o ensaio da análise granulométrica através do método de peneiração e a determinação do teor de finos através do ensaio para a determinação do azul de metileno

O capítulo 4 engloba o trabalho experimental e os métodos de ensaio, onde são descritas todas as composições das misturas desenvolvidas ao longo do projeto e por fim é feita a descrição de todos os ensaios a realizar, bem como as técnicas utilizadas durante a execução dos mesmos. O capítulo 4 contém ainda a caracterização dos diversos materiais usados nas misturas e, seguidamente, subdivide-se em três partes. A primeira parte descreve o fabrico da mistura, a segunda parte referencia os ensaios de provetes e a terceira parte descreve o tijolo de solo-cimento. Por fim apresenta-se a análise e discussão dos resultados.

No capítulo 5 faz-se uma apresentação aos ciclos de vida do tijolo cerâmico e do tijolo de solo-cimento, assim como uma comparação entre os dois.

Uma síntese do trabalho realizado é apresentada no Capítulo 6, que corresponde a uma súmula de todo o trabalho desenvolvido e onde se apresentam propostas para desenvolvimentos futuros.

Todas as referências bibliográficas constam num Capítulo próprio e no último Capítulo serão colocados alguns anexos importantes, para uma melhor compreensão do projeto.

2. Resíduo da Indústria de Pasta de Papel - Dregs

2.1. Introdução

A incansável procura por novos materiais que demostrem ser fontes alternativas aos materiais naturais e que atendam às necessidades do mercado, tem aberto um leque de diferentes opções de estudo. Assim, tem vindo a ser pertinente o estudo do reaproveitamento de resíduos provenientes da indústria de celulose, para a sua reutilização na indústria da construção, onde se enquadra os dregs, material proveniente das indústrias de pasta de papel. A Indústria utiliza diversos processos mecânicos e químicos complexos para separar as fibras de celulose da lenhina que constituem a madeira e, após essa separação, é fundamental recuperar os reagentes químicos usados para o cozimento da madeira sendo essa recuperação, que apesar de muito otimizada, gera resíduos sólidos, como os dregs, que atualmente têm como destino principal final, o aterro, o qual tem custos consideráveis e prejudica o meio ambiente.

2.2. Indústria da pasta de papel

A indústria de pasta e papel é um sector de importância estratégica para Portugal sendo o quarto ramo exportador líquido na economia nacional, ou seja, as exportações do sector são mais elevadas do que as importações. O grupo Altri é líder na indústria da pasta de papel.

O grupo Altri segundo o seu site [2] é um produtor europeu de referência no sector de pasta de papel, sendo um dos mais eficientes produtores da Europa de pasta de eucalipto branqueada. Atualmente tem três fábricas de pasta de papel espalhadas pelo centro do país – a Celbi, a Caima e a Biotek (figura 1) – com uma capacidade anual de produção nominal superior a 1 milhão de toneladas.

Segundo o grupo Altri, a Biotek, localizada em Vila Velha de Ródão (figura 2), foi objeto de um projeto de transformação, que permitiu que, a partir de 2008, esta fábrica passasse a produzir pasta de eucalipto branqueado do tipo Bleached Eucalyptus Kraft Pulp (BEKP). Assim, durante o ano de 2008 foi implementada uma transformação do processo produtivo na Biotek, com vista à produção de pasta branqueada, que permitiu aumentar a capacidade produtiva desta fábrica. Como resultado deste projeto, atualmente esta unidade produz pastas branqueadas de eucalipto (fibra curta).



Figura 1 - Empresas do grupo Altri [2]

A capacidade de produção da Biotek supera atualmente as 260 mil toneladas/ano de BEKP.



Figura 2 - Empresa CELTEJO (atual Biotek), em Vila Velha de Ródão [2]

2.3. Produção da Pasta de Papel

Na produção da pasta de papel, a madeira é desintegrada em celulose e o processo da produção de celulose é relativamente simples, porém, em certas etapas são gerados resíduos que atrapalhariam a qualidade final do produto se continuassem presentes nos próximos processos, como o caso do resíduo denominado dregs.

De acordo com o Pinto [3], o ciclo de produção de celulose (figura 3) inicia-se com o cozimento dos cavacos da madeira onde são separadas as fibras da madeira e é gerado um líquido espesso e negro, chamado licor negro. Seguidamente, o processo continua com dois sistemas: o de recuperação e o de branqueamento. No primeiro processo, o licor negro é queimado numa caldeira para recuperação dos reagentes químicos do cozimento (dando origem aos dregs); no segundo processo, as fibras da madeira que saíram do cozimento são branqueadas.

A celulose branqueada segue para secagem e embalagem de modo a ser enviada ao seu destino final.



Figura 3 - Ciclo de produção de celulose [4]

Para os materiais indesejáveis da indústria de celulose, a maior parte das indústrias possui aterros controlados para a deposição destes resíduos, bem como mecanismos para a sua separação por tipos, o que permite o tratamento, reciclagem, reutilização ou valorização energética de parte dos resíduos produzidos.

2.3.1. Recuperação Química

Na produção de pasta e papel são utilizados vários produtos químicos, principalmente no digestor de madeira, nos processos de branqueamento e na máquina de papel.

A recuperação química do licor negro descarregado do digestor, resultante do cozimento das aparas de madeira e sob a forma diluída, é concentrado até se obter um espesso biocombustível, o licor negro concentrado, queimado na caldeira de recuperação. Os produtos químicos inorgânicos do licor negro formam uma substância que depois de dissolvida em água dá origem ao licor verde, constituído por uma grande fração de carbonato de sódio e por sulfureto de sódio [4].

Para a recuperação química do licor verde é adicionada cal viva, no chamado processo de caustificação, dando origem ao licor branco (hidróxido de sódio e sulfureto de sódio) e a carbonato de cálcio. Este, em suspensão, é retirado e seco, sendo depois novamente transformado em cal viva no forno da cal. Fechando um ciclo, o licor branco regenerado na caustificação vai ser de novo utilizado no processo de cozimento [4] (figura 4).

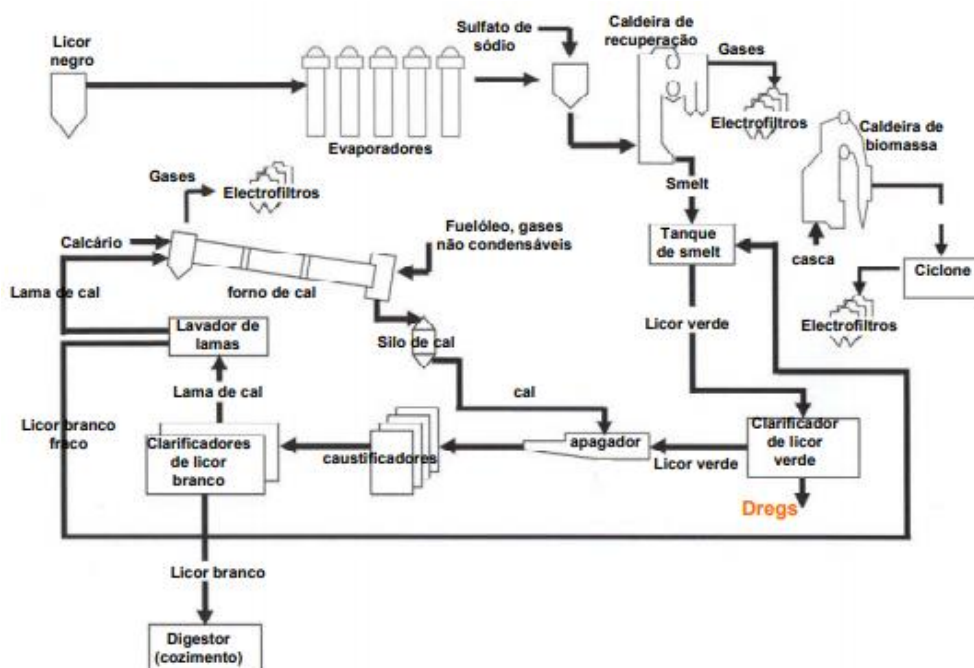


Figura 4 - Diagrama do processo de recuperação de químicos e energia [3]

2.3.2. Os dregs

Os dregs, objeto do estudo do presente trabalho, são resíduos gerados na recuperação química do licor negro, apresentando na sua constituição impurezas tais como partículas de combustão incompleta e sais sólidos cujos iões são óxidos, carbonatos e sulfuretos de elementos (como ferro, sílica, cálcio, alumínio e magnésio) que entram no processo de fabrico com a matéria-prima (madeira), água e produtos químicos.

Os dregs são prejudiciais para a eficiência do processo de recuperação química sendo necessário a sua separação do licor negro por sedimentação num clarificador de licor verde. Este resíduo, depois de retirado do tanque de clarificação do licor verde, é adensado e filtrado e, em seguida descarregado para o exterior, sendo finalmente depositado em aterro (figura 5).



Figura 5 - Dregs à saída do tanque de clarificação

2.3.3. Resíduos Sólidos

A produção de resíduos sólidos resultantes do processo industrial está diretamente relacionada com o padrão de produção de pasta e papel. Adicionalmente, são produzidos outros tipos de resíduos, como sejam os resultantes de ações de demolição e construção de edifícios e que apresentam, pelo seu carácter ocasional, variações anuais significativas [5] (figura 6).

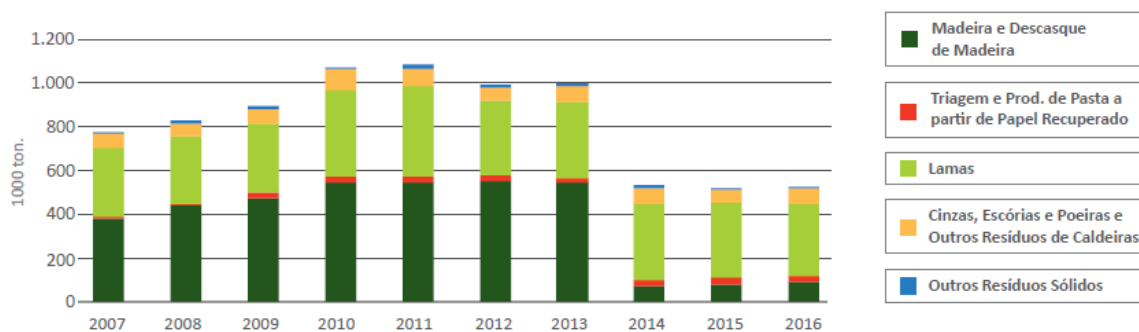


Figura 6 - Produção de Resíduos Sólidos [5]

Como destino dos resíduos sólidos destaca-se, em 2016, a aplicação de lamas e cinzas resultantes da queima de biomassa na agricultura e compostagem, correspondente a 18% do total de resíduos e a valorização por outras indústrias que representou 10% do total dos resíduos. A deposição em aterro absorveu 22% dos resíduos produzidos [5] (figura 7).

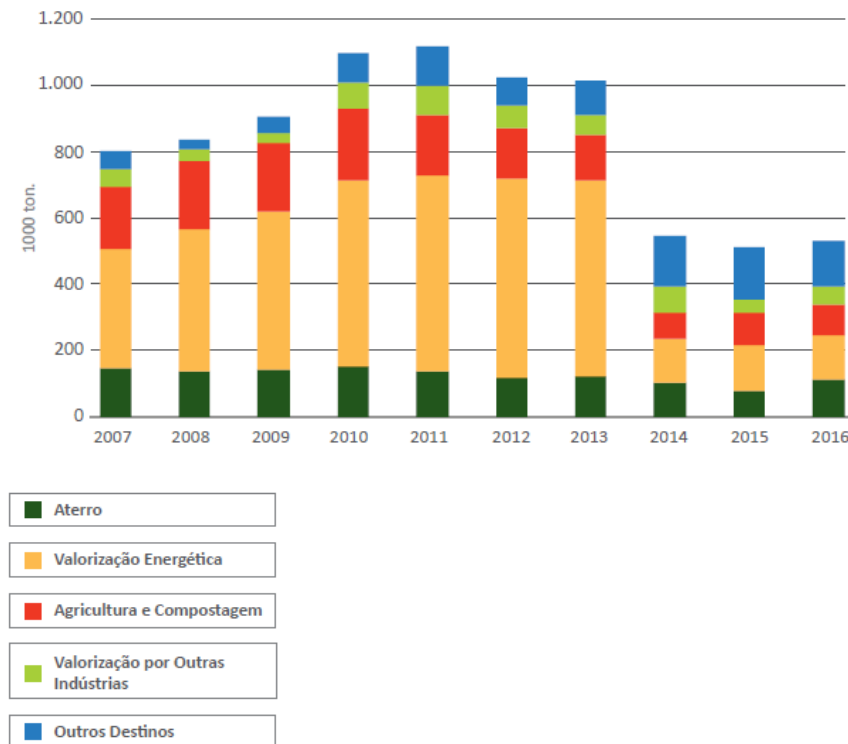


Figura 7 - Destino dos Resíduos Sólidos Produzidos [5]

2.4. Caracterização dos dregs

Os dregs são resíduos de origem industrial e, como tal, pode ser uma fonte de metais pesados, trazendo grande preocupação quanto à sua utilização. Por isso para se conseguir métodos eficazes para valorizar o resíduo, é fundamental conhecer previamente as suas características físicas e químicas. Neste âmbito foi realizada uma pesquisa bibliográfica com o intuito de compreender a caracterização química dos dregs e compreender se existe perigos na sua utilização para a saúde pública.

2.4.1. Dregs e a Lista Europeia de Resíduos (LER)

Segundo a legislação atual, os dregs correspondem a um subproduto sólido que contém reduzida quantidade de metais pesados tóxicos e a sua classificação na Lista Europeia de Resíduos (LER) corresponde ao código 03 03 02 - Lamas da lixívia verde

(provenientes da valorização da lixívia de cozimento), sendo retirado da recuperação de produtos químicos, da clarificação do licor verde, no processamento de separação da celulose.

Os resíduos presentes na LER que correspondem a resíduos perigosos, quer por eles próprios serem constituídos por substâncias perigosas, quer por estarem contaminados por outras substâncias que estejam classificadas como perigosas, encontram-se assinalados com um asterisco «*» e a maneira de saber se um resíduo é considerado perigoso é se o mesmo apresentar, pelo menos uma das características de perigosidade apresentadas no Regulamento (UE) n.º 1357/2014 [6], o que não é o caso do código 03 03 02.

2.4.2. Caraterização Química

Os dregs são resíduos sólidos resultantes da recuperação química do processo Kraft da indústria de celulose, fortemente alcalinos, formados por partículas muito pequenas, com cor acinzentada em que os seus principais constituintes são carbonatos, hidróxidos e sulfuretos. Os elementos maioritários presentes são cálcio (Ca), sódio (Na) e magnésio (Mg) e os metais pesados relativamente aos quais se lhes associa elevada toxicidade são o cádmio (Cd), o crómio (Cr), o mercúrio (Hg), o cobre (Cu), o chumbo (Pb), estão presentes em quantidades/traço valores consultados na tabela 1 [3].

Tabela 1- Composição química do resíduo dregs [3]

Parâmetros	Dregs
Humidade (% peso bruto)	46,8
Carbono Total (C)	13,5
Sólidos totais (105 ± 3°C) (% peso bruto)	53,2
Sólidos totais fixos (550 ± 25°C) (% dos sólidos totais)	93,4
Sólidos totais voláteis (550 ± 25°C) (% dos sólidos totais)	6,6
Valor neutralizante (CO ₃ ²⁻) (% resíduo seco)	56,8
Metais (% resíduo seco)	
Cálcio (Ca)	29,9
Magnésio (Mg)	1,44
Sódio (Na)	1,7
Potássio (K)	0,08
Ferro (Fe)	0,14
Alumínio (Al)	0,2
Manganês (Mn)	0,22
Metais pesados (mg/Kg resíduo seco)	
Níquel (Ni)	27,2
Cobre (Cu)	40,8
Chumbo (Pb)	< 10,0 LQ
Zinco (Zn)	43,1
Cádmio (Cd)	1,6
Mercúrio (Hg)	0,11
Crómio (Cr)	10,2
Cobalto (Co)	2,2

LQ = Limite de Quantificação

Como os dregs são provenientes do clarificador de licor verde, são constituídos por carbonatos de cálcio e sódio, daí apresentarem um teor mais elevado destes metais, nomeadamente de cálcio como verificado na tabela 1.

2.4.3. Valorização dos dregs

Neste ponto consideramos alguma bibliografia sobre a valorização dos dregs.

Assim numa primeira análise, temos a composição química inorgânica de um lote de dregs analisado, onde indica que é um produto que pode ser utilizado como corretivo da acidez dos solos agrícolas e também como fonte de cálcio e de alguns micronutrientes para as plantas, sem risco de contaminação a curto e médio prazo [7]

Apresentou um pH de $10,70 \pm 0,02$ e um valor de neutralização (VN) de $80,3 \pm 2,3$ (%). O VN é muito semelhante ao dos calcários de boa qualidade utilizados na agricultura. Sob esse aspeto, o dregs é um produto que pode ser utilizado para elevar o pH dos solos agrícolas [7].

Num outro estudo sobre a incorporação de dregs em materiais cerâmicos tradicionais [8], foi concluído que a quantidade de resíduo incorporada tem de ser baixa para se obterem resultados satisfatórios. De facto, pequenas quantidades de dregs melhoram algumas propriedades tecnológicas dado que conduzem a uma diminuição de porosidade e de absorção de água, e a um aumento de resistência à compressão.

Também o estudo baseado na análise do potencial de valorização dos resíduos de Licor Verde da Indústria da Pasta de Papel [1], a análise da tabela 2, confirmam os elementos *Ca*, *Na* e *Mg* como maioritários, existindo também uma quantidade significativa de enxofre (*S*). A elevada quantidade de *Ca* facilmente solúvel resulta dos dregs serem formados, principalmente, por carbonato de cálcio, e também por este ser um dos constituintes inorgânicos mais abundante na madeira. As elevadas concentrações de *Na* e *Mg*, resultam sobretudo dos químicos usados no cozimento (Na_2S , $NaOH$ e Na_2SO_4), sendo o $MgSO_4$ utilizado na deslenhificação com oxigénio. Estes resultados dão a indicação de que os dregs poderão constituir um bom material para fornecer nutrientes aos solos.

A realização de uma pesquisa bibliográfica no mesmo estudo [1] permitiu identificar diversas possibilidades para valorizar os dregs. A figura 8 resume as vias identificadas, as quais foram ordenadas de cima para baixo de acordo com o seu potencial.

O estudo [1]concluiu que os dregs não são classificados como sendo um resíduo perigoso e revelaram um valor de neutralização entre 34 e 40 % e de reatividade entre 33 e 39 %, mostrando que o resíduo tem um bom potencial de neutralização e

com uma ação rápida. Considerando a distribuição granulométrica, o resíduo é constituído por partículas de diâmetros muito pequenas, sendo considerado um material bastante fino [1].

Tabela 2- Nutrientes facilmente solúveis com base na literatura [1]

	[1] (mg/kg)	[2] (mg/kg)	[3] (g/kg)	Intervalo de referência
P (NH ₄ Ac)	20,7±0,6	100	0,01±0,003	10-100 mg/kg
Ca (NH ₄ Ac)	900±70		84,5±1,4	0,9-84,5 g/kg
Na (NH ₄ Ac)	134,3±0,6 g/kg		26,1±1,2	26,1-134,3 g/kg
K (NH ₄ Ac)	1200±10	800	1,7±0,1	800-1700 mg/kg
Mg (NH ₄ Ac)	5900±200		29,2±0,9	5,9-29,2 g/kg
S (NH ₄ Ac)	5790±40		10,6±0,5	5,79-10,6 g/kg
Mn (NH ₄ Ac+Na ₂ EDTA)	1358±35			1,358 g/kg
Cu (NH ₄ Ac+Na ₂ EDTA)	26,2±0,8		113±3,5 mg/kg	26,2-113 mg/kg
Zn (NH ₄ Ac+Na ₂ EDTA)	740±14		1218±21 mg/kg	740-1218 mg/kg

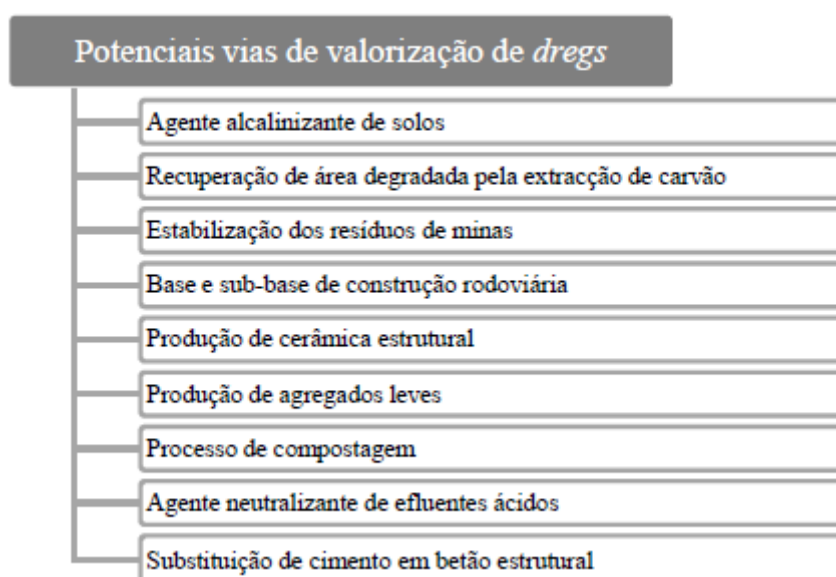


Figura 8 - Valorização de *dregs* [1]

A análise da composição elementar total, mostrou que o resíduo é constituído na sua maioria por *Ca*, *Na* e *Mg*, e tem um potencial de biodisponibilidade e mobilidade de nutrientes capaz de melhorar solos agrícolas. O comportamento de lixiviação de metais pesados e de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, revelou que os teores libertados são muito baixos, confirmando que o resíduo é não perigoso [1].

3. Metodologias experimentais para caracterização dos dregs

3.1. Amostragem

A fase de amostragem do resíduo pode ser absolutamente fundamental na caracterização do material, tendo em conta que os dregs são produzidos de modo contínuo ao longo do tempo, a amostra necessária para a sua caracterização foi recolhida num só dia e de um só aterro. Contudo, a amostragem foi retirada de vários pontos do aterro, sendo depois misturada e homogeneizada de modo a obter uma amostra única (figura 9).



Figura 9 - Aterro de dregs na fábrica Biotek

O material chegou ao laboratório sem nenhum tratamento, ou seja, chegou nas mesmas condições que foi recolhido em fábrica e, como o teor de água é muito elevado à saída do processo de fabrico, foi necessário passar pelo processo de secagem em estufa, estando assim em conformidade com o especificado nos ensaios. Na figura 10 podemos observar o material pronto para ser utilizado, como objeto de estudo, em ensaios laboratoriais.



Figura 10 - Dregs após secagem

3.2. Caracterização do material

Para a caracterização dos dregs procedeu-se a duas análises, a análise referente às propriedades geométricas e a análise referente às propriedades físicas.

A análise referente às propriedades físicas envolveu dois ensaios: o ensaio para a determinação da massa volúmica e da absorção de água e o ensaio de compactação com o propósito de determinar a relação entre o teor em água e a baridade seca dos solos.

Também a análise referente às propriedades geométricas envolveu dois ensaios: o ensaio da análise granulométrica através do método de peneiração e a determinação do teor de finos através do ensaio para a determinação do azul de metileno.

3.2.1. Análise das propriedades geométricas - determinação da Massa Volúmica e da Absorção de água

O ensaio para a determinação da capacidade de absorção e das massas volúmicas dos agregados é realizado conforme a norma NP EN 1097-6: Ensaio para a determinação das propriedades mecânicas e físicas dos agregados: Parte 6: “Método para determinação da Massa Volúmica e Absorção de Água” [9].

Seguindo o princípio de que a massa volúmica é calculada a partir da razão entre a massa e o volume. A massa é determinada pela pesagem do provete com as partículas saturadas, com superfície seca e a partir de outra pesagem do mesmo provete após secagem em estufa. O volume é determinado a partir da massa da água deslocada, utilizando a pesagem no método do picnómetro.

De notar que o provete é a subamostra utilizada integralmente num mesmo ensaio e a massa volúmica das partículas secas em estufa, é a relação entre a massa de uma amostra de agregado seca em estufa e o volume que esta amostra ocupa dentro de água incluindo os poros internos e os poros acessíveis à água.

Procedimento do ensaio:

Em conformidade com as determinações da norma, deve-se:

- ✓ Preparar um provete de 0,25 Kg, para uma dimensão máxima de 4 mm dos agregados.
- ✓ Manter durante o ensaio o banho-maria a uma temperatura de $(22 \pm 3)^\circ\text{C}$.
- ✓ Pesas o picnómetro e o funil correspondente (M_1). Colocar o provete elementar cuidadosamente dentro do picnómetro. Inserir o funil na abertura do picnómetro e pesar a massa do conjunto (M_2).
- ✓ Encher o picnómetro com água a $(22 \pm 3)^\circ\text{C}$ até cerca de 30 mm abaixo da secção esmerilhada do colo. Agitar cuidadosamente o agregado com uma vareta de vidro de modo a remover o ar ocluído e as bolhas de ar aderentes.
- ✓ Após o ar se ter libertado, completar o enchimento do picnómetro (com o funil devidamente colocado) até aproximadamente 20 mm abaixo do traço de referência do funil e colocar em banho-maria.
- ✓ Encher o picnómetro com água até ao traço de referência. Retirar o picnómetro do banho Maria, secar cuidadosamente as superfícies exteriores e pesar (M_3).
- ✓ Registrar todas as massas com exatidão pelo menos igual a 0,1 % da massa do provete de ensaio ($M_2 - M_1$).

Cálculo de resultados:

Para chegar ao cálculo da massa volúmica das partículas secas (ρ_d), em megagramas por metro cúbico, utilizou-se a expressão (1), para cada provete elementar:

$$\rho_d = \frac{(M_2 - M_1)}{V - (M_3 - M_2)/\rho_w} \quad (1)$$

onde:

- M_1 é a massa do picnómetro e funil, em gramas;
- M_2 é a massa do picnómetro e funil e provete elementar, em gramas;
- M_3 é a massa do picnómetro e funil, provete elementar e água, em gramas;
- V é o volume do picnómetro, mililitros;
- ρ_w é a massa volúmica da água à temperatura do ensaio, em megagramas por metro cúbico.

Realização do ensaio:

Em conformidade com a norma EN 1097-6, o ensaio foi elaborado segundo o descrito no seu Anexo A, método do picnómetro para partículas de agregado de dimensão entre 0,063 mm e 31,5 mm.

Para o volume do provete foi pesado o picnómetro com a tampa colocada, vazio e com água até ao traço de referência (figura 11). Também foi registada a temperatura da água.



a)

b)

Figura 11 - Pesagem do picnómetro. a) vazio; b) com água

Para chegar ao cálculo do volume do picnómetro, dividiu-se a massa da água que encheu o picnómetro pela massa volúmica da água à temperatura medida, introduzindo uma correção (tabela 3) tendo em conta a temperatura e a massa volúmica da água.

Para manter o ensaio a uma temperatura de $(22 \pm 3)^\circ\text{C}$ e o picnómetro em banho-maria, utilizou-se a água da torneira. Iniciou-se o ensaio pesando o picnómetro com a tampa colocada (M_1), depois colocou-se o provete cuidadosamente dentro do picnómetro e pesou-se a massa do conjunto (M_2). Encheu-se o picnómetro com água até cerca de 30 mm abaixo do traço de referência e verificou-se a temperatura, agitou-se cuidadosamente o agregado e utilizou-se vácuo de modo a remover o ar ocluído e as bolhas de ar. Após o ar se ter libertado completou-se o enchimento ao picnómetro com água até ao traço de referência, após deixar algum tempo o picnómetro em banho-maria, retirou-se o picnómetro e secou-se cuidadosamente as superfícies, verificou-se a temperatura e pesou-se (M_3). Repetiu-se o procedimento para os restantes provetes.

Tabela 3- Quadro D.1 - Massa volúmica da água [9]

Temperatura (°C)	Massa volúmica (Mg/m ³)
5	1,0000
6	0,9999
7	0,9999
8	0,9998
9	0,9998
10	0,9997
19	0,9984
20	0,9982
21	0,9980
22	0,9978
23	0,9975
24	0,9973
25	0,9970

Foram preparados dois provetes elementares de *dregs* com a massa 30g, que apresentaram os resultados da tabela 4.

Tabela 4- Cálculo da massa volúmica de partículas secas

	Amostras	
	Dregs Amostra 1	Dregs Amostra 2
Massa do picnómetro completo (g) m1	96,07	94,41
Massa do picnómetro completo + água (g) m2	344,98	343,29
Temperatura da água (°C)	22,1	22,3
Factor K de correção	0,999951994	0,999907597
Volume (Vpt)=(m2-m1)/rw*0,001 (m ³)	0,000249646	0,000249627
Massa da amostra (g)	30	30
Massa do picnómetro completo (g) m1	96,07	94,41
Massa do picnómetro completo com a amostra (g) m2	125,26	124,79
Massa do picnómetro completo + amostra + água (g) m3	364,47	363,23
Temperatura da água (°C)	22,1	22,3
Factor K de correção	997,78	997,71
Massa Vol. Partículas secas (Anexo A) (Mg/m ³)	2,7908	2,7094

3.2.2. Análise das propriedades geométricas - ensaio de compactação

A compactação é um método de estabilização de solos através da aplicação de energia, conferindo ao solo um aumento de seu peso específico, resistência ao corte, diminuição do índice de vazios, permeabilidade e compressibilidade. O ensaio de

compactação relaciona o teor em água e a baridade seca máxima e é realizado através de sucessivos impactos com determinada energia no provete de ensaio, também conhecido como o ensaio de Proctor. [10].

O ensaio de compactação foi realizado de acordo com a especificação do LNEC E 197 [11] que se destina a fixar o modo de determinar a relação entre o teor em água e a baridade seca dos solos.

A especificação permitiu vários tipos de compactação. Assim, para o ensaio com dregs foi utilizada a compactação pesada em molde pequeno, sendo o molde pequeno, um molde cilíndrico de aço com 102 mm de diâmetro interior e 117 mm de altura, munido de alonga e base. Para compactação pesada, utilizou-se o pilão de compactação pesada, com 4,54 kg de massa, com 457 mm de altura de queda e base de compactação de 50 mm de diâmetro.

Descrição do ensaio:

Seca-se a amostra, passa-se o material através do peneiro de 4,76 mm ($n^{\circ}4$) e rejeita-se a fração retida.

Do material obtido retiram-se pelo menos seis frações, cada uma com o mínimo de 2 kg e mistura-se bem cada uma das frações de solo com a quantidade de água considerada suficiente para que os provetes fiquem com teores em água diferindo cerca de 2% entre si.

Na compactação dos diferentes provetes com teores em água crescentes, a estabilização ou a diminuição da massa dos provetes é indicação de se ter ultrapassado o teor ótimo em água.

Compacta-se cada uma das frações de solo em molde pequeno, efetuando as seguintes operações:

- Aperta-se à base o molde com a alonga;
- Dispõe-se o solo em cordão e divide-se em cinco partes sensivelmente iguais;
- Deita-se no molde uma das partes em que se dividiu o cordão do solo. Com o molde assente sobre uma base rígida, compacta-se o solo em 25 pancadas do pilão pesado, distribuídas uniformemente sobre a superfície;
- Deita-se no molde outra parte do cordão de solo e compacta-se;
- Repete-se a operação até que ao fim de cinco camadas, a superfície da última deve exceder o bordo do molde, dentro da alonga;
- Retira-se a alonga e rasa-se cuidadosamente o molde, preenchendo-se qualquer concavidade eventualmente formada;
- Retira-se o molde da base, escova-se e pesa-se imediatamente o molde contendo o provete.

Extrai-se o provete do molde, retirando-se duas porções de solo do interior do provete a cerca de 2 cm de cada topo, para determinação média, do teor em água.

Realização do ensaio:

O ensaio foi elaborado conforme a presente especificação LNEC E 197 [11], mas tendo em conta o volume dos dregs foi utilizado nos três primeiros ensaios provetes de 1,1 kg e nos restantes 1,2 kg (figura 12).



Figura 12 - Ensaio de compactação, LNEC E 197

A tabela 5 mostra os resultados obtidos.

Tabela 5- Ensaio de compactação - “Proctor”

Tipo de Compactação	Peso do Plião (kg)	Altura de Queda (mm)		N.º de Camadas		N.º panc. p/ camada	
Pesada	4,54	45,7		5		25	
Tipo de Molde	Massa do Molde - Pm (g)	Volume do molde - V (cm3)					
Pequeno	1861,7	903,21					

Proвете n.º	1		2		3		4		5		
w (%)	10%		12%		14%		16%		18%		
Água adicionada (cm3)	110		132		154		192		216		
Molde + Solo húmido (g)	P_t		2938,1		3003		3057,2		3037		
Solo húmido (g)	$P = P_t - P_m$		1076,4		1141,3		1195,5		1175,3		
Baridade húmida (0,001g/cm3)			1,192		1,264		1,324		1,301		
Cápsula nº	4B	1A	20	24	20	24	20	24	20	24	
Peso da Cápsula (0,1g)	m_1	13,67	13,63	11,03	9,79	11,03	9,79	11,05	9,78	11,02	9,80
Cápsula + Solo húmido (0,1g)	m_2	32,43	33,30	35,72	36,27	33,80	28,11	30,38	33,09	35,03	39,38
Cápsula + Solo seco (0,1g)	m_3	30,78	31,50	33,03	33,93	31,13	25,95	28,00	29,93	32,19	34,64
Peso da Água (0,1g)	$\omega\omega = m_2 - m_3$	1,65	1,80	2,69	2,34	2,67	2,16	2,38	3,16	2,84	4,74
Solo Seca (0,1g)	$\omega s = m_3 - m_1$	17,11	17,87	22,00	24,14	20,10	16,16	16,95	20,15	21,17	24,84
Teor de humidade (0,1%)		9,64	10,07	12,23	9,69	13,28	13,37	14,04	15,68	13,42	19,08
Teor médio (0,1%)	ω	9,9		11,0		13,3		14,9		16,2	
Baridade Seca (0,001g/cm3)		1,08		1,14		1,17		1,13		1,12	

O objetivo da realização do ensaio de compactação é a determinação da curva de compactação, que expressa a variação da baridade seca do solo compactado com o teor em água utilizado na compactação do solo, apresentada na figura 13.

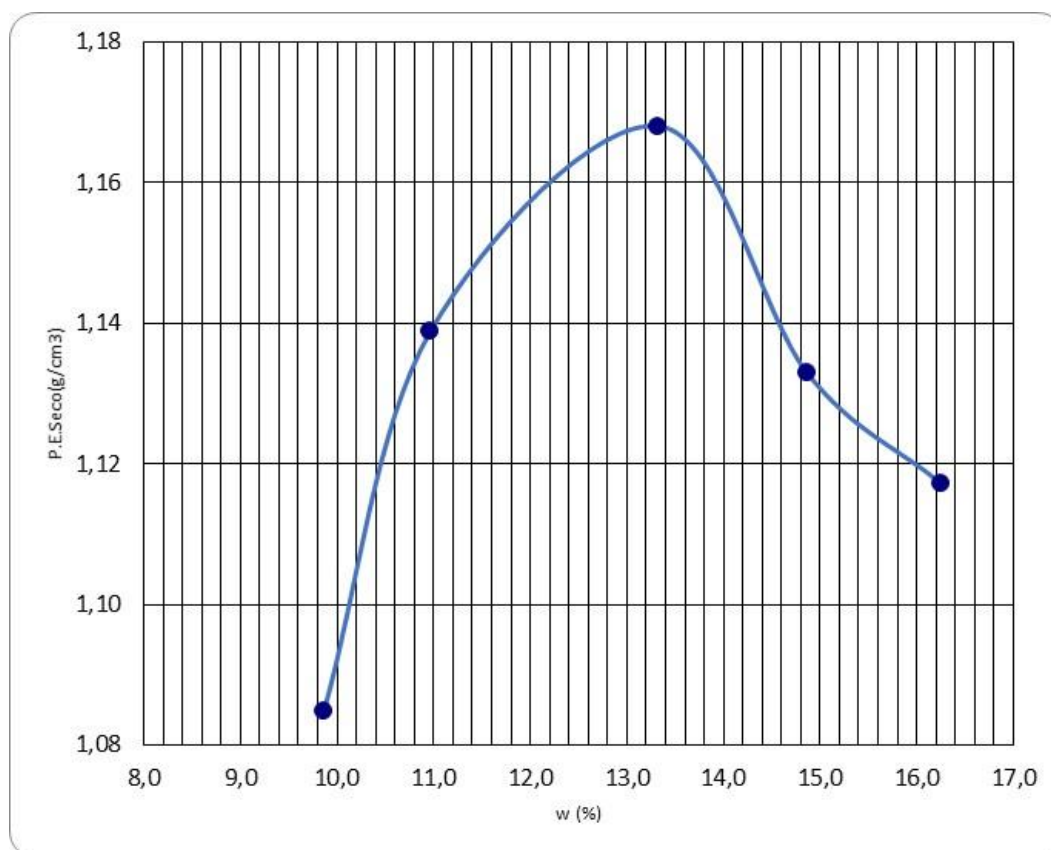


Figura 13 - Curva de compactação

Verificando-se através da curva de compactação que o teor ótimo em água (w_{opt}) é de 13,3 % e a baridade seca máxima ($\gamma_{s,max}$) de 1,17 g/cm³.

3.2.3. Análise das propriedades físicas - análise granulométrica

A granulometria é uma das propriedades mais importantes do material pois é a base para a realização de qualquer outro ensaio. Através da análise granulométrica pode-se determinar qual a dimensão máxima e mínima do agregado.

A análise granulométrica é efetuada em conformidade com a norma NP EN 933-1 “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados - Parte 1: Análise granulométrica, Método da peneiração” [12], que tem por objetivo definir um método, usando peneiros de ensaio, para a análise granulométrica dos agregados e é aplicável aos agregados de origem natural ou artificial, incluindo agregados leves, com dimensão nominal até 0,063 mm.

O ensaio consiste na peneiração, por meio de um conjunto de peneiros, de um material em diversas classes granulométricas de granulometria decrescente. O método adotado é a peneiração com lavagem seguida de peneiração a seco. A representação da análise granulométrica foi traduzida pela curva granulométrica que representa graficamente a distribuição da percentagem das partículas de certa dimensão que compõem os dregs.

Procedimento do ensaio:

Preparação do provete:

Secar o provete de ensaio a uma temperatura de $(100 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ até alcançar massa constante. Deixar arrefecer, pesar e registar o resultado como M_1 .

Lavagem:

Colocar o provete de ensaio num recipiente e adicionar água suficiente para o cobrir, agitar o provete de ensaio com o vigor necessário para se obter a separação completa e suspensão dos finos.

Molhar ambos os lados de um peneiro de $63\ \mu\text{m}$ e colocar por cima um peneiro de proteção. Colocar os peneiros de forma que a suspensão que os atravessa possa ser despejada, ou se necessário recolhida num recipiente adequado. Despejar o provete de ensaio no peneiro superior. Continuar a lavagem até que a água que atravessa o peneiro de $63\ \mu\text{m}$ seja límpida.

Secar o material com granulometria superior a $63\ \mu\text{m}$ a $(100 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ até alcançar massa constante. Deixar arrefecer, pesar e registar o resultado como M_2 .

Peneiração:

Despejar o material lavado e seco na coluna de peneiros. Esta coluna é constituída por um certo número de peneiros encaixados e dispostos de cima para baixo por ordem decrescente da dimensão das aberturas, com o fundo e a tampa.

Agitar a coluna de peneiros, manualmente ou mecanicamente, retirando depois os peneiros um a um, começando pelo de maior abertura e agitar cada peneiro manualmente garantido que não existe perda de material, utilizando, por exemplo, fundo e tampa.

Transferir todo o material que passa através de cada peneiro para o peneiro seguinte da coluna antes de continuar a peneiração com este peneiro.

De forma a evitar a sobrecarga dos peneiros, a fração retida sobre cada peneiro, no fim da peneiração (expressas em gramas), não deverá ultrapassar o valor obtido pela aplicação da equação (2).

$$\frac{A \times \sqrt{d}}{200} \quad (2)$$

onde:

A é a área do peneiro em milímetros quadrados;

d é a dimensão das aberturas do peneiro em milímetros.

Pesagem:

Pesar o material retido em cada peneiro e registrar a sua massa como R_1 no primeiro, no segundo com R_2 e assim sucessivamente.

Por fim pesar o material peneirado retido no fundo e registrar a sua massa como P .

Cálculo e expressão de resultados:

Registrar as várias massas num relatório de ensaio.

Calcular a massa retida em cada peneiro, como percentagem da massa original seca M_1 .

Calcular a percentagem cumulativa da massa original seca que passa através de cada peneiro até ao peneiro de 63 μm , mas excluindo este.

Calcular a percentagem de finos (f) que passa através do peneiro de 63 μm de acordo com a equação (3):

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 \quad (3)$$

onde:

M_1 é a massa seca do provete de ensaio, em quilogramas;

M_2 é a massa seca do material com granulometria superior a 63 μm , em quilogramas;

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

Realização do ensaio:

O ensaio foi elaborado conforme a norma EN 933-1 [12], utilizando um conjunto de peneiros (figura 14) com malhas de 0,063; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16; 32; e 63 mm.



Figura 14 - Conjunto de peneiros utilizados

Ensaio 1:

A amostra, com um peso inicial de 108,36g, constituída de material seco no forno á temperatura de 100°C, e após lavagem e novamente seco no forno á mesma temperatura, ficou com 33,65g, fazendo a peneiração resultou a seguinte análise granulométrica (tabela 6):

Tabela 6 - Resultados do ensaio 1

<i>m1</i>	Massa inicial	<i>g</i>	108,36
<i>m2</i>	Massa seca após lavagem	<i>g</i>	33,65
<i>m1-m2</i>	Perdas na lavagem	<i>g</i>	74,71

<i>Peneiros</i>		<i>Material Retido</i>		<i>Percentagem acumulada de material que passa</i>
<i>#</i>	<i>mm</i>	<i>g</i>	<i>%</i>	
				0,1%
125	125	0,00	0,00	100,00
63	63	0,00	0,00	100,00
31,5	31,5	0,00	0,00	100,00
16	16	0,00	0,00	100,00
8	8	0,00	0,00	100,00
4	4	0,00	0,00	100,00
2	2	0,00	0,00	100,00
1	1	3,50	3,23	96,77
0,5	0,5	6,14	5,67	91,10
0,25	0,25	5,06	4,67	86,43
0,125	0,125	7,22	6,66	79,77
0,063	0,063	8,22	7,59	72,19
<i>Perdas na lavagem</i>		74,71	68,95	
<i>Retido no fundo</i>		3,24	2,99	
<i>Total</i>		108,1	99,8	

Com os resultados representados na tabela 7:

Tabela 7 - Análise granulométrica do ensaio 1

Análise granulométrica	n.º	mm	% Passados	% Retidos
	0,063	0,063	72,19	7,59
	0,125	0,125	79,77	6,66
	0,25	0,25	86,43	4,67
	0,5	0,5	91,10	5,67
	1	1	96,77	3,23
	2	2	100,00	0,00
	4	4	100,00	0,00
	8	8	100,00	0,00
	16	16	100,00	0,00
	32	32	100,00	0,00
	63	63	100,00	0,00

Obtendo-se deste modo a curva granulométrica que se apresenta na figura 15.

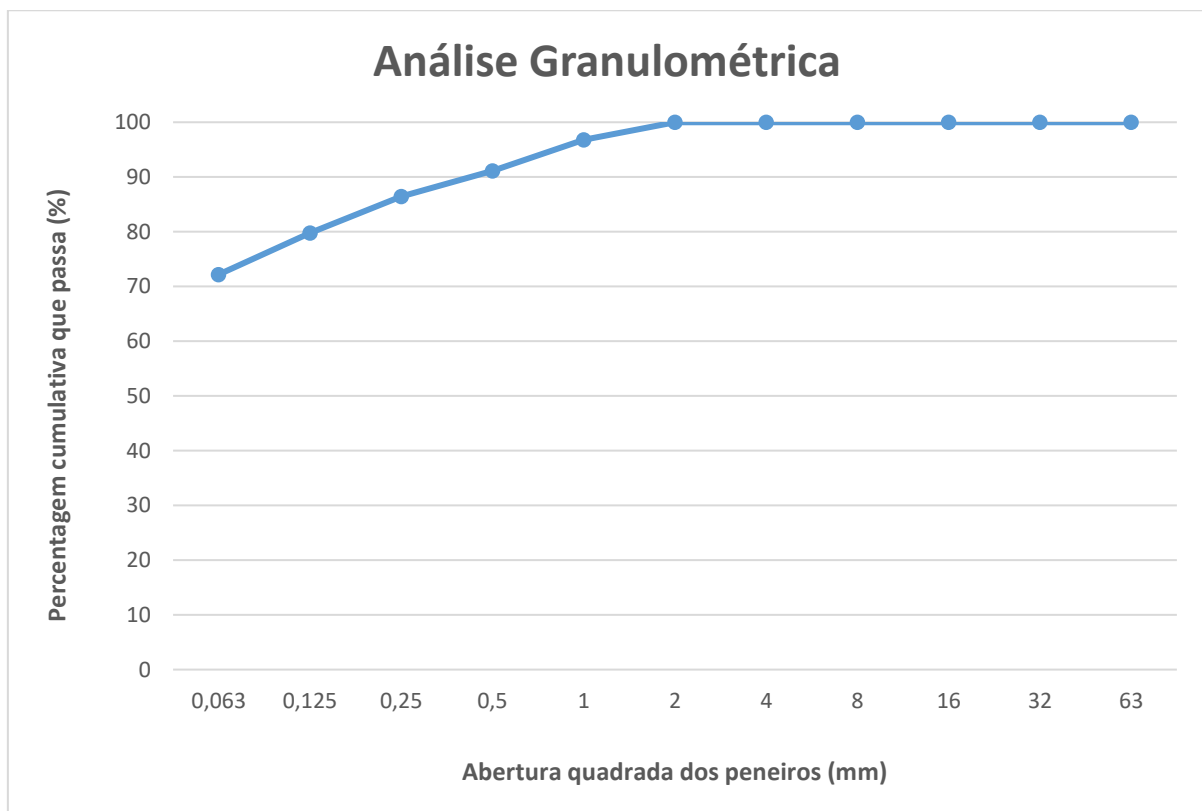


Figura 15 - Curva granulométrica do ensaio 1

Ensaio 2:

Com um peso inicial de 152,17g de material seco no forno à temperatura de 100°C, após lavagem e novamente seco no forno à mesma temperatura, ficou com 51,94g, fazendo a peneiração resultou a seguinte análise granulométrica (tabela 8):

Tabela 8 - Resultados do ensaio 2

<i>m1</i>	Massa inicial	<i>g</i>	152,17
<i>m2</i>	Massa seca após lavagem	<i>g</i>	51,94
<i>m1-m2</i>	Perdas na lavagem	<i>g</i>	100,23

<i>Peneiros</i>		<i>Material Retido</i>		<i>Percentagem acumulada de material que passa</i>
<i>#</i>	<i>mm</i>	<i>g</i>	<i>%</i>	<i>0,1%</i>
125	125	0,00	0,00	100,00
63	63	0,00	0,00	100,00
31,5	31,5	0,00	0,00	100,00
16	16	0,00	0,00	100,00
8	8	0,00	0,00	100,00
4	4	0,00	0,00	100,00
2	2	0,00	0,00	100,00
1	1	8,99	5,91	94,09
0,5	0,5	9,39	6,17	87,92
0,25	0,25	9,67	6,35	81,57
0,125	0,125	10,52	6,91	74,65
0,063	0,063	7,59	4,99	69,67
<i>Perdas na lavagem</i>		100,23	65,87	
<i>Retido no fundo</i>		5,12	3,36	
<i>Total</i>		151,5	99,6	

Com os resultados representados na tabela 9:

Tabela 9 - Análise granulométrica do ensaio 2

	n.º	mm	% Passados	% Retidos
Análise granulo métrica	0,063	0,063	69,67	4,99
	0,125	0,125	74,65	6,91
	0,25	0,25	81,57	6,35
	0,5	0,5	87,92	6,17
	1	1	94,09	5,91
	2	2	100,00	0,00
	4	4	100,00	0,00
	8	8	100,00	0,00
	16	16	100,00	0,00
	32	32	100,00	0,00
	63	63	100,00	0,00

Obtendo-se a curva granulométrica representada na figura 16.

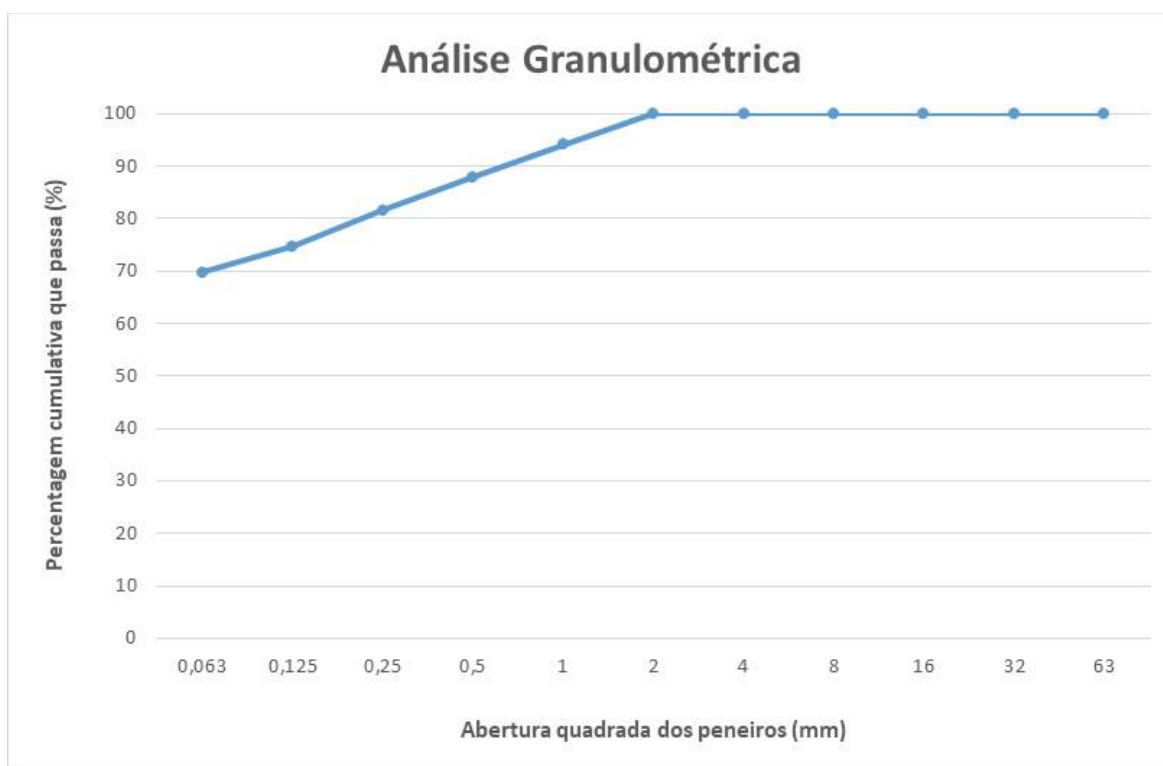


Figura 16 - Curva granulométrica do ensaio 2 (Dregs)

A figura 17 pretende mostrar o resultado final do material após a realização dos dois ensaios.



Figura 17 - Aspeto das partículas após separação por peneiração

3.2.4. Análise das propriedades físicas - ensaio de adsorção de azul de metileno

O ensaio de determinação do valor de azul-de-metileno permite avaliar a limpeza, qualidade e quantidade de partículas finas presentes num agregado. A adsorção do azul-de-metileno pelas partículas do agregado acontece devido á permuta iónica entre os catiões existentes na superfície das partículas e os catiões resultantes da dissociação da molécula de azul-de-metileno em solução aquosa. Devido a esta troca de iões forma-se à volta da partícula uma camada monomolecular de azul-de-metileno.

A execução do ensaio faz-se de acordo com a norma NP EN 933-9, Parte 9: “Análise dos finos: Ensaio do Azul-de-metileno” [13], e consiste em introduzir quantidades crescentes de solução de azul de metileno, por doses sucessivas, até que a superfície das partículas que têm capacidade de adsorção esteja coberta. Nesse momento passa a existir um excesso de azul de metileno na preparação, correspondendo ao ponto de viragem que marca o fim do ensaio, e que pode ser detetado pelo teste da mancha em papel de filtro.

Para os dregs foi utilizado o procedimento para a determinação do valor do azul de metileno da fração 0/0,125 mm (MBF), que se encontra no seu anexo A.

Procedimento do ensaio

Descrição do ensaio da mancha:

Após cada injeção de corante, o ensaio da mancha consiste em retirar uma gota de suspensão com a ajuda da vara e depositá-la sobre o papel de filtro. A mancha que se

forma é composta por uma zona central de material depositado, geralmente de cor azul-escura, rodeada por uma zona húmida sem cor.

O ensaio é considerado positivo se, na zona húmida, uma auréola persistente azul-clara de cerca de 1 mm de espessura se formar à volta do depósito central.

Preparação da suspensão:

Colocar 500 ml de água destilada no gobelé e adicionar o provete de ensaio seco, mexendo bem a espátula:

Misturar uniformemente a solução corante e encher a bureta, regular o agitador para uma velocidade de 600 rotações/minuto e posicionar a ventoinha cerca de 10 mm acima da base do copo.

Ligar o agitador e iniciar o cronómetro, agitando o conteúdo do copo durante 5 min a 600 rotações/minuto e, seguidamente agitar continuamente a 400 rotações/minuto durante o resto do ensaio.

Se a quantidade de finos do provete for insuficiente para se formar uma auréola, deverá ser adicionada, 30g de caulinite seca a 110 °C, juntamente com solução corante adicional.

Determinação da quantidade de corante absorvido:

Colocar papel de filtro em cima de um gobelé vazio, ou outro suporte adequado, de tal modo que a maior parte da sua superfície não esteja em contacto com nenhum sólido ou líquido.

Após agitação a 600 rotações/minuto durante 5 minutos, injetar uma dose de 5 ml de solução corante no gobelé; agitar a 400 rotações/minuto durante pelo menos 1 minuto e efetuar um ensaio da mancha sobre o papel de filtro. Se após a adição destes 5 ml iniciais de solução corante a auréola não aparecer, adicionar mais 5 ml, continuar a agitação durante 1 minuto e proceder a outro ensaio da mancha. Se auréola continuar sem aparecer, continuar a agitação alternando as adições de corante e os períodos de agitação e efetuando ensaios da mancha como descrito, até que apareça uma auréola. Quando esta etapa for atingida, continuar a agitação sem mais adições de solução corante, efetuando ensaios da mancha em intervalos de 1 minuto.

Se a auréola desaparecer durante os primeiros 4 minutos, adicionar ainda uma dose de 5 ml de solução corante.

Se desaparecer durante o quinto minuto, adicionar apenas 2 ml de solução corante. Em ambos os casos, continuar a agitação e os ensaios da mancha até que a auréola permaneça visível durante 5 minutos.

Registrar o volume total de solução corante V_1 adicionado para produzir a auréola que perdurou 5 minutos, arredondando-o aos ml.

Cálculo e resultados para a determinação do valor de azul metileno (MB_F) da fração granulométrica 0/0,125 mm

Preparar os provetes e seguir o procedimento de ensaio, mas desta vez sendo o provete de ensaio com massa de aproximadamente de 30,0 g da fração granulométrica de 0/0,125 mm.

Calcular o valor de azul de metileno (MB_F) em gramas de corante por quilograma da fração 0/0,125 mm, utilizando a equação (4).

$$MB_F = \frac{V_1}{M_1} \times 10 \quad (4)$$

onde:

M_1 é a massa do provete de ensaio, em gramas;

V_1 é o volume total de solução corante adicionada, em mililitros.

Registrar o valor de MB_F arredondando às décimas de grama de corante por quilograma da fração granulométrica de 0/0,125 mm.

Realização do ensaio

O ensaio foi elaborado conforme a norma EN 933-9 [13], mas nos primeiros ensaios não foi possível chegar a um valor de azul metileno, o que foi necessário recorrer à adição de caulinite.

Ensaio MB_K :

Iniciou-se o procedimento para a determinação do valor de azul de metileno da caulinite (MB_K), conforme o descrito no anexo D da norma EN 933-9 [13].

Com 30,0g de caulinite seca no forno a 110°C, efetuou-se o ensaio onde se obteve o resultado que se apresenta na figura 18:

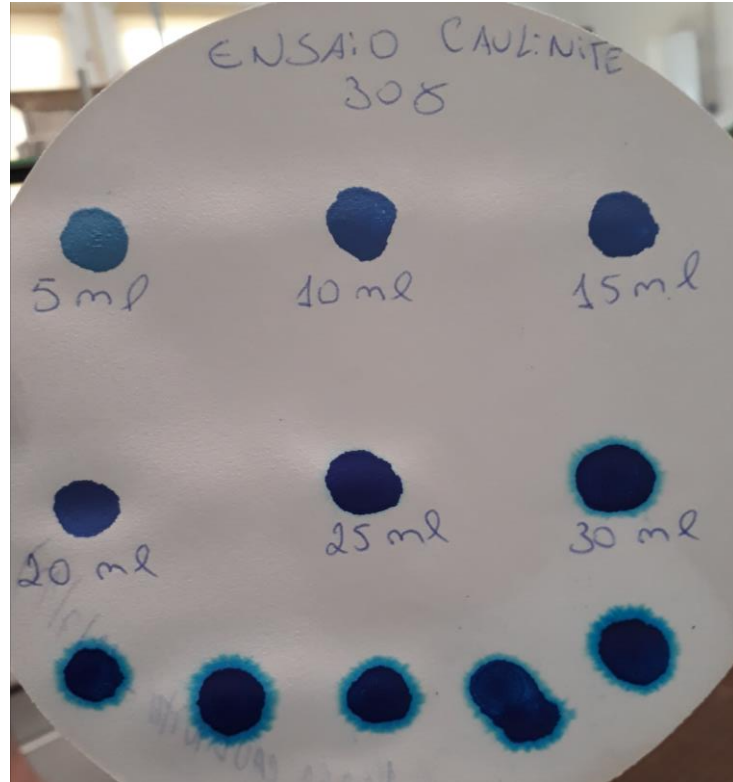


Figura 18 - Ensaio MB_K (Caulinite)

Permitindo assim determinar o valor de adsorção (tabela 10) de azul metileno da caulinite arredondado às décimas de grama de corante por 100g de caulinite, aplicando a equação (5).

$$MB_H = \frac{V'}{30} = \frac{30}{30} = 1 \quad (5)$$

Tabela 10 - Cálculo do valor de adsorção de azul de metileno da caulinite

Massa da amostra	(g)	30
Volume de azul de metileno absorvido por 30g de caulinite	V' (ml)	30
Valor de azul de metileno da caulinite	MB_K	1

Ensaio MB_F:

Por fim fez-se a determinação do valor do azul de metileno da fração 0/0,125 mm em agregados finos, procedimento que se aplicou a uma amostra de 30 g dregs, conforme o descrito na norma EN 933-9 [13].

Foram realizados dois ensaios com 30 g de material mais 30 g de caulinite, ambas as amostras secas no forno a 110°C, onde se obteve o resultado apresentado na figura 19 e na figura 20.

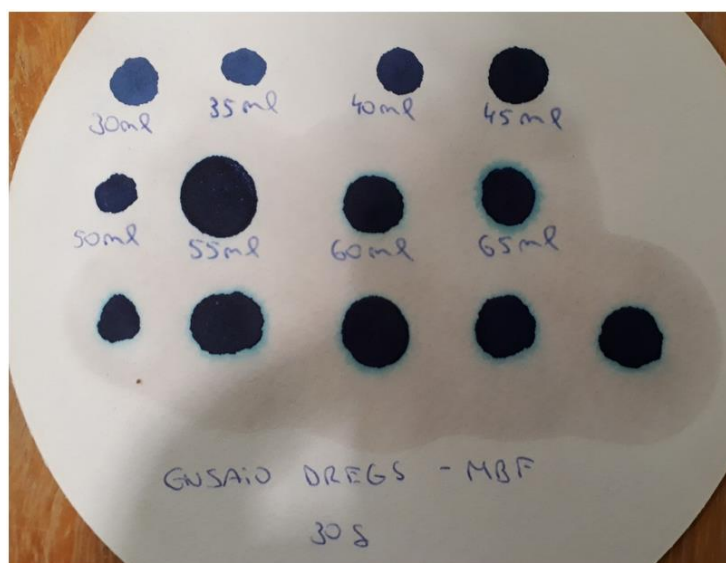
Ensaio 1 (figura 19):

Figura 19 - Ensaio 1 MB_F

A tabela 11 apresenta o cálculo de azul metileno, arredondado às décimas de grama.

Tabela 11 - Cálculo do valor de adsorção de azul de metileno (MB_F) - ensaio 1

Massa da amostra (0/0,125 mm)	M1 (g)	30
Volume de azul de metileno absorvido por 30g de caulinite	V' (ml)	30
Volume de azul de metileno adsorvido pela amostra+caulinite	V1 (ml)	65
Valor de azul de metileno adsorvido pela fracção 0/0,125 mm	MB _F	11,7

Obtendo:

$$MB_F = 11,7$$

Ensaio 2 (figura 20):

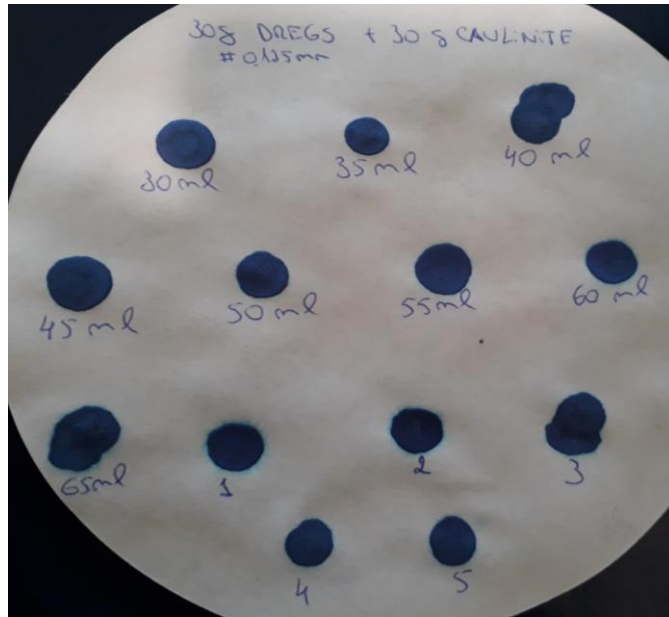


Figura 20 - Ensaio 2 MB_F

A tabela 12 mostra o cálculo de azul metileno, arredondado às décimas de grama.

Tabela 12 - Cálculo do valor de adsorção de azul de metileno (MB_F) - ensaio 2

Massa da amostra (0/0,125 mm)	M1 (g)	30
Volume de azul de metileno absorvido por 30g de caulinite	V' (ml)	30
Volume de azul de metileno adsorvido pela amostra+caulinite	V1 (ml)	65
Valor de azul de metileno adsorvido pela fracção 0/0,125 mm	MB_F	11,7

Obtendo:

$$MB_F = 11,7$$

3.3. Discussão dos resultados

Massa volúmica:

Seguindo o princípio de que a massa volúmica é calculada a partir da razão entre a massa e o volume, os resultados apresentados mostram que os *dregs* têm uma massa volúmica média de 2,75 Mg/m³. Através da figura 21, onde são comparados alguns materiais e solos, os *dregs* são, sem dúvida, um material denso tendo uma densidade equivalente a um mineral de quartzo.

Compactação:

O teor em água ótimo e a baridade seca máxima são as características do solo cujo conhecimento é fundamental para a realização e controle de obras de aterro. O teor em água ótimo define o teor em água com o qual se deve realizar a compactação a fim de conseguir, para uma dada energia de compactação, o melhor arranjo entre partículas. A baridade seca máxima estabelece a máxima baridade que se pode obter permitindo avaliar a qualidade de execução do aterro.

O ensaio de compactação determinou as condições ideais de realização da compactação do solo, para uma dada energia, onde demonstrou um teor ótimo de água de 13,3% e uma baridade seca máxima de 1,17 g/cm³.

Para uma eventual possibilidade de compactação em aterro determinou-se a baridade seca solta (tabela 13).

Tabela 13- Cálculo da baridade seca solta

Tipo de Molde	Massa do Molde - P _m (g)	Volume do molde - V (cm ³)
Pequeno	3882	903,21

Provete		DREGS
w (%)		
Água adicionada (cm ³)		0
Molde +Solo (g)	P _t	4283
Solo(g)	P = P _t - P _m	401
Baridade solta 0,001g/cm ³	γ _{d, solta}	0,444

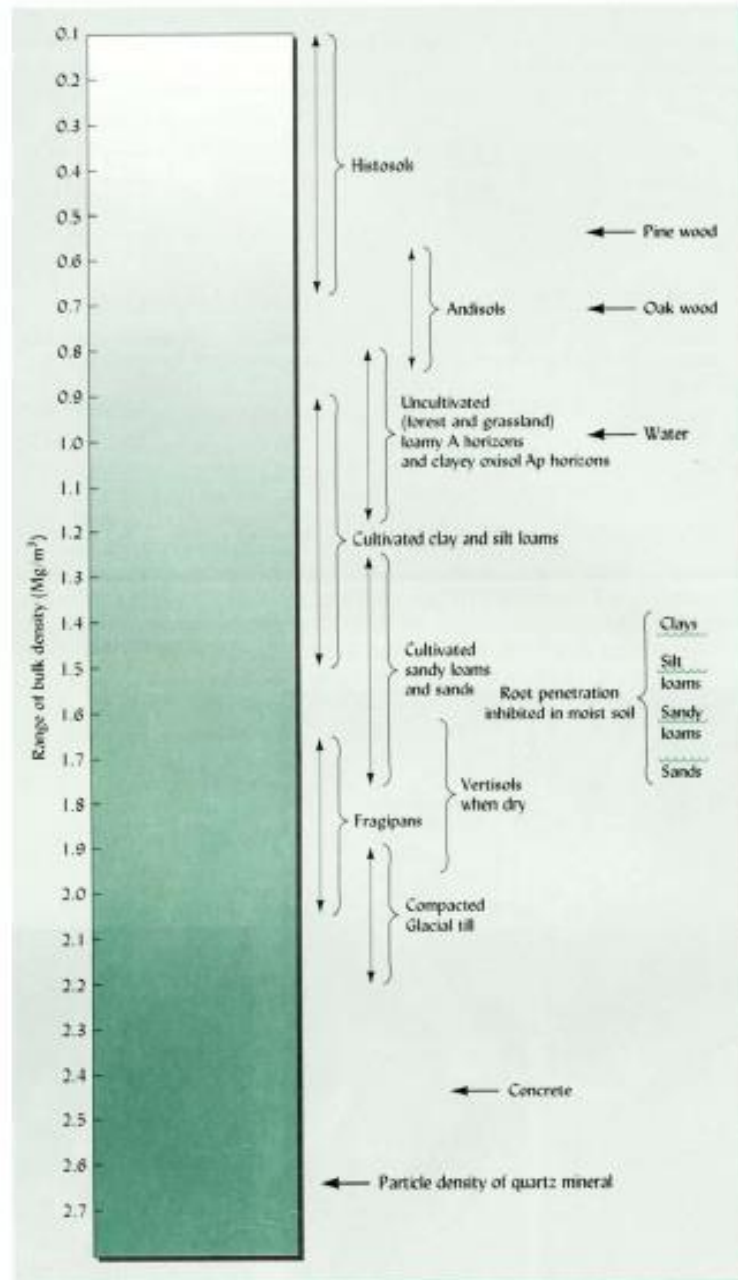


Figura 21 - Densidade de vários tipos de solos e outros materiais [14]

Sabendo a baridade seca solta e a baridade seca resultante do ensaio de compactação conseguiu-se perceber a capacidade de compactação da amostra em volume (tabela 14).

Tabela 14- Relação entre a baridade seca solta e resultante

ω (%)	$\gamma_{d, solta} / \gamma_d$	(%)
0	0,44	100
9,9	0,41	92,18
11,0	0,39	87,81
13,3	0,38	85,62
14,9	0,39	88,27
16,2	0,40	89,51

Obtendo-se a curva da capacidade de compactação apresentada na figura 22.

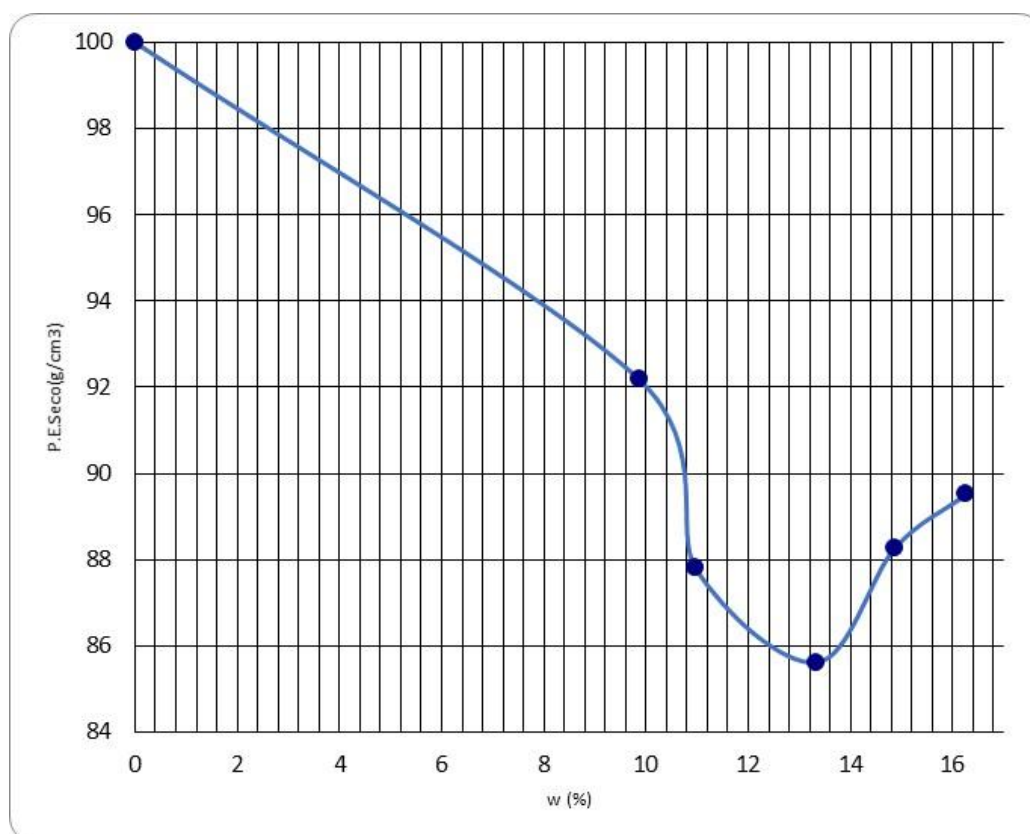


Figura 22 - Curva da capacidade de compactação

A análise da figura 22 permite concluir que a compactação não compensa, pois, a máxima redução do volume era cerca de 14%. A tabela 15 permite ainda verificar o teor de água que as amostras apresentavam ao fim de cerca de 6 meses guardadas em ambiente de laboratório.

Tabela 15- Teor de água das amostras guardadas em ambiente de laboratório

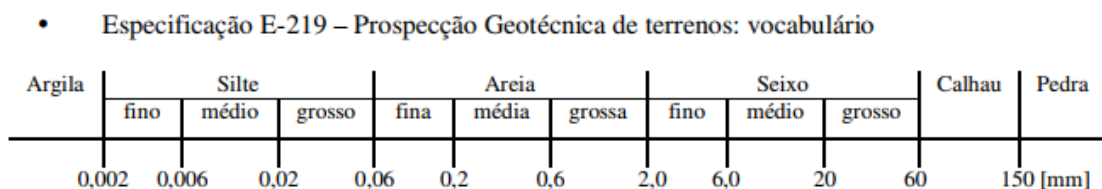
Provete		DREGS	
Cápsula nº		2	20
Peso da Cápsula (0,1g)	m_1	13,50	10,80
Cápsula + Solo (0,1g)	m_2	44,74	31,33
Cápsula + Solo seco (0,1g)	m_3	33,47	23,74
Peso da Água (0,1g)	$\omega_w = m_2 - m_3$	11,27	7,59
Solo Seca (0,1g)	$\omega_s = m_3 - m_1$	19,97	12,94
Teor de humidade (0,1%)	$\frac{\omega_w}{\omega_s} \times 100$	56,43	58,66
Teor médio (0,1%)	ω	57,54	

Os Dregs ainda continuam um teor de humidade a rondar os 60 %. Assim, verifica-se a impossibilidade de reduzir significativamente o volume dos dregs em aterro.

Granulometria:

A propriedade mais importante das partículas que constituem um solo é a determinação da distribuição destas por dimensão, ou seja, a sua composição granulométrica.

De acordo com a especificação portuguesa as dimensões das partículas que estabelecem as divisões das diversas frações granulométricas (seixo, areia, silte e argila), são as indicadas na figura 23:



- Classificação Unificada

Cascalho – Material com dimensões entre 75 mm (#3”) e 4,75 mm (#4)

Areia – Material com dimensões entre 4,75mm (#4) e 0,075mm (#200)

Silte e Argila (Finos) –Material com dimensões inferiores a 0,075 mm (#200)

Figura 23 - Principais frações granulométricas de um solo

A distribuição granulométrica dos *Dregs* é um material constituído maioritariamente por partículas de dimensão inferior a 0,063 mm, o que se considera um Filler e enquadra-se nos Silte e Argila (finos).

Azul de metileno:

O ensaio de azul de metileno representa a quantidade de azul de metileno que se pode adsorver sobre as superfícies internas e externas das partículas do solo.

Existem muitas aplicações dadas à absorção de azul de metileno, entre as quais, como critério de classificação de solos para fins rodoviários como descrito no guia técnico para construção de aterros e leito de pavimento [15].

O guia classifica os solos segundo alguns parâmetros, um desses parâmetros é a Natureza que se refere às características intrínsecas do solo, características essas que são a granulometria e argilosidade. Sendo o valor do azul de metileno (VBS) utilizado para caracterizar a argilosidade do solo (figura 24).

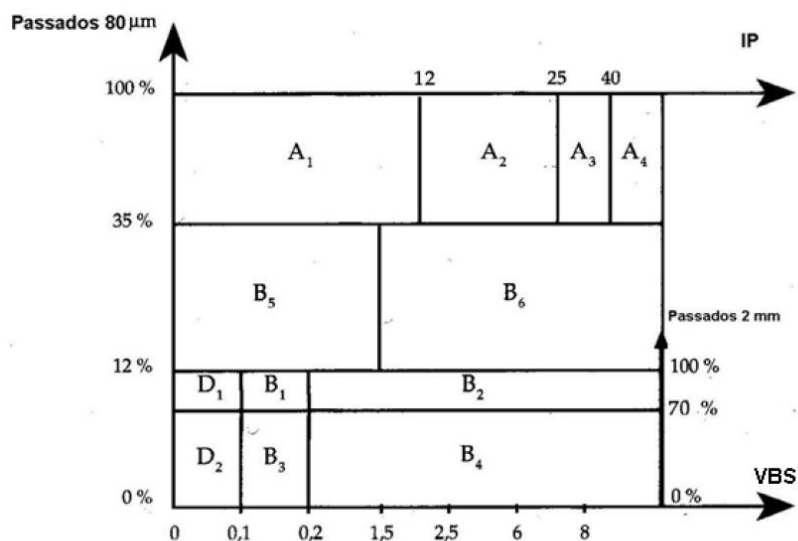


Figura 24 - Classificação de Solos LCPC/SETRA para Dimensão ≤ 50 mm

Através da figura 24 pode-se verificar que pelos resultados apresentados no ensaio de absorção do azul de metileno e pela granulometria, os *dregs* classificam-se como solo A4, onde tem uma percentagem passada no peneiro 200 de 35% e um VBS maior de 8.

A figura 25 mostra uma tabela de solos [15] utilizada em solos finos, classificados como solos de "CLASSE A":

Parâmetros de Natureza 1º NIVEL	Classe	Classificação segundo a Natureza			Classificação segundo o Estado Hídrico	
		Parâmetro de Natureza 2º NIVEL	Subclasse	Características Principais	Parâmetros e Valores Limite	Subclasse
D _{máx} (50mm # 80µm > 35 %	A Solos Finos	VBS ≤ 2,5 ou IP ≤ 12	A ₁ Siltos pouco Plásticos Siltos Aluvionar Saibros finos Areias pouco plásticas	<ul style="list-style-type: none"> Consistência facilmente variável, com fracas variações de Teor em água, quando Wn está próximo de Wopn; Tempo de reacção curto face às variações das condições hídricas e climáticas; Permeabilidade pode variar grandes limites conforme Plasticidade, Compacidade e tempo de reacção; Para Solos Finos pouco Plásticos é preferível identificá-lo pelo valor de VA, já que o valor IP é mais impreciso. 	$IPI \leq 3$ $Wn \geq 1,25 Wopn$ A₁th	
			$3 < IPI \leq 8$ $1,1Wopn \leq Wn < 1,25 Wopn$ A₁h			
			$8 < IPI \leq 25$ $0,9 Wopn (Wn < 1,1 Wopn$ A1m			
			$0,7 Wopn (Wn < 0,9 Wopn$ A1s			
		12 < IP ≤ 25 ou 2,5 < VBS ≤ 6	A ₂ Areias finas argilosas Siltos Argilas Margas pouco plásticas	<ul style="list-style-type: none"> Utilizável praticamente por toda a gama de Equipamentos, quando o Teor de Água não é demasiado elevado; Ip ≥ 12, constitui o melhor critério de identificação. 	$IPI \leq 2$ $IC \leq 0,9$ $Wn \geq 1,3 Wopn$ A₂th	
			$2 < IPI \leq 5$ $0,9 < IC \leq 1,05$ $1,1 Wopn \leq Wn < 1,3 Wopn$ A₂h			
			$5 < IPI \leq 15$ $1,05 < IC \leq 1,2$ ou $0,9 Wopn \leq Wn < 1,1 Wopn$ A₂m			
			$1,2 < IC \leq 1,4$ $0,7 Wopn \leq Wn < 0,9 Wopn$ A₂s			
		15 < IP ≤ 40 ou 6 < VBS ≤ 8	A ₃ Argilas Argilas margosas Siltos (muito plásticos)	<ul style="list-style-type: none"> Solos são muito coerentes com teor em água médio e fraco; Apresentam ligações muito fortes no estado húmido, o que dificulta colocação em obra; Permeabilidade muito reduzida torna as suas variações de teor em água muito lentas, no local; Grande variação da consistência para um pequeno aumento do Teor de água. 	$IPI \leq 1$ $IC \leq 0,8$ $Wn \geq 1,4 Wopn$ A₃th	
			$1 < IPI (3$ $0,8 < IC (1$ $1,2Wopn(Wn < 1,4 Wopn$ A3h			
			$3 < IPI (10$ $1 < IC (1,15$ $0,9 Wopn (Wn < 1,2 Wopn$ A₃m			
			$1,15 < IC (1,3$ ou $0,7 Wopn (Wn < 0,9 Wopn$ $IC > 1,3$ $Wn < 0,7 Wopn$ A3s			
IP > 40 ou VBS > 8	A ₄ Argilas Argilas margosas (muito plásticos)	<ul style="list-style-type: none"> Solos muito coerentes, quase impermeáveis; Mudam o teor em água lentamente e com importantes retrações e deformações; Normalmente não é aplicado em Aterro nem Leito de Pavimento. 	ESTUDO ESPECÍFICO A₄th			
	ESTUDO ESPECÍFICO A₄h					
	ESTUDO ESPECÍFICO A₄m					
	ESTUDO ESPECÍFICO A₄s					

Figura 25 - Classificação dos Solos Finos pelo LCPC/SETRA [15]

Onde os solos A4, são:

- Solos muito coerentes, quase impermeáveis;
- Mudam o teor em água lentamente e com importantes retrações e deformações;
- Normalmente não é aplicado em Aterro

Com o valor de adsorção de azul de metileno pode-se também observar que é um solo de elevada plasticidade (IP>40), em geral com elevadas percentagens de argilas muito ativas, indicando que é um material muito fino com uma elevada superfície específica, podendo ser comparado, em termos de finura a argilas com elevada superfície específica.

4. Trabalho experimental

O trabalho experimental passa por contribuir para o aprofundamento do conhecimento das propriedades mecânicas de uma argamassa com adição de resíduo dregs. Se, por um lado, já são suficientemente conhecidas as propriedades mecânicas das argamassas, por outro lado, falta um trabalho experimental para conhecer a degradação das propriedades mecânicas das argamassas com adição de dregs. Para determinar a resistência à compressão foram realizados ensaios em provetes de argamassa convencional e misturas com diferente percentagem de adição de dregs.

Pretende-se neste capítulo descrever as diferentes fases do trabalho experimental a apresentar os diferentes ensaios realizados, descrevendo de uma forma exaustiva os procedimentos experimentais.

4.1. Caraterização dos materiais

Os principais materiais utilizados neste estudo são os agregados, os quais se apresentam como sendo materiais granulares, não interferindo na reação de endurecimento da argamassa funcionando apenas como o esqueleto. Ao mesmo tempo que contribuem para a resistência e compacidade da argamassa, contribuem igualmente para reduzir a retração da mistura [16].

Os agregados podem ser naturais, artificiais ou reciclados de materiais previamente usados na construção. No presente trabalho aplica-se dois agregados - o natural e o artificial.

O cimento utilizado foi o cimento Portland de Calcário (Tipo II) tendo-se recorrido a cimento da classe 32,5N.

4.1.1. Ligante

No presente estudo utilizou-se como ligante o cimento Portland (CEM) tipo II/B-L 32,5N (figura 26), tabela técnica no anexo 1.



Figura 26 - Cimento Portland (CEM) tipo II/B-L 32,5N

O Cimento Portland de Calcário é constituído por clínquer e filer calcário. Recorreu-se a este cimento da classe 32,5N por ser especialmente indicado para todo o tipo de argamassas e trabalhos de construção civil de carácter geral. Indicado para betões de resistência moderada e adequado para betonagens de grandes massas [16].

4.1.2. Agregado natural

Para executar o plano de ensaios foi selecionado um agregado natural rolado (AG) disponibilizado pelo Laboratório de Estruturas e Construções da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

Para analisar a granulometria do referido agregado, foram efetuados diversos ensaios em laboratório de acordo com as Normas Portuguesas em vigor.

Massa volúmica

A análise física do agregado envolveu o ensaio para a determinação da massa volúmica tendo por base a norma portuguesa EN 1097-6 [9].

Seguindo o princípio de que a massa volúmica é calculada a partir da razão entre a massa e o volume, a massa volúmica foi calculada recorrendo ao método do picnómetro (figura 27), (agregados com partículas de dimensão entre 0,063mm e 4mm), do anexo 2.

O valor obtido, em laboratório, para a massa volúmica do agregado utilizado neste estudo foi:

$$\rho_{AG} = 2,65 \text{ Kg/dm}^3$$



Figura 27 - Picnómetro utilizado nos ensaios

Análise granulométrica

A realização da análise granulométrica seguiu a metodologia e princípios descritos na norma NP EN 933-1 [12]. Associada a esta norma encontra-se a NP EN 933-2 (NP EN 933-2, 1999), na qual são especificadas as dimensões nominais das aberturas, formato da rede de arame e chapas perfuradas dos peneiros de ensaio a utilizar na análise granulométrica.

Assim, para efetuar a análise granulométrica foi utilizado o seguinte conjunto de peneiros com malhas de 0,063; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16; 32; e 63 mm (figura 28).



Figura 28 - Conjunto de peneiros utilizados

A distribuição granulométrica do agregado é apresentada na tabela 16 e a figura 29 ilustra a curva granulométrica do agregado (do anexo 3).

Tabela 16- Análise granulométrica do agregado

Abertura do peneiro (mm)	Material passado %	Material retido %	Retido acumulado %
0,063	0	0	100
0,125	0	0,09	100
0,25	0,09	1,67	99,91
0,5	1,77	11,80	98,23
1	13,57	41,36	86,43
2	54,93	42,10	45,07
4	97,03	2,97	2,97
8	100	0	0
16	100	0	0
31,5	100	0	0
63	100	0	0

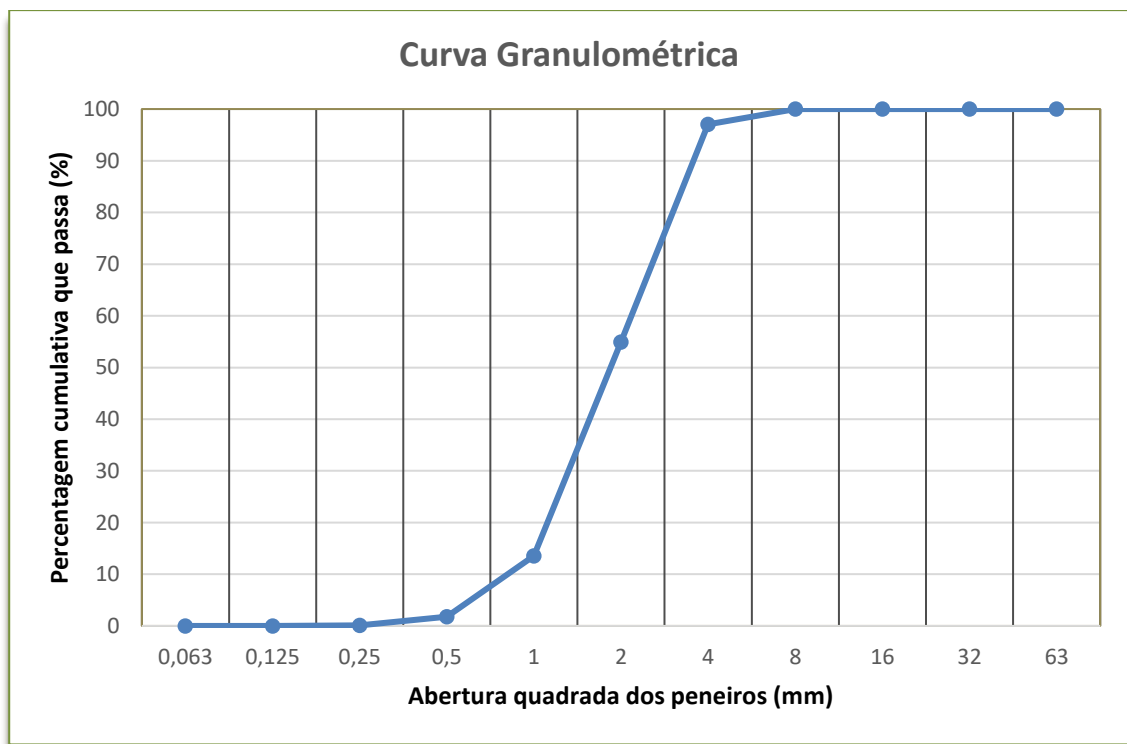


Figura 29 - Curva granulométrica do agregado

4.1.3. Agregado reciclado - Dregs

Sendo o objetivo principal do presente trabalho a introdução do resíduo Dregs na constituição da argamassa, torna-se necessário proceder ao estudo deste resíduo.

Os dregs foram disponibilizados pela empresa de pasta de papel, Biotek S. A., sediada em Vila Velha de Ródão, Portugal.

Tabela 17- Análise granulométrica do dregs

	n.º	mm	% Passados	% Retidos
Análise granulométrica	0,063	0,063	69,67	4,99
	0,125	0,125	74,65	6,91
	0,25	0,25	81,57	6,35
	0,5	0,5	87,92	6,17
	1	1	94,09	5,91
	2	2	100,00	0,00
	4	4	100,00	0,00
	8	8	100,00	0,00
	16	16	100,00	0,00
	32	32	100,00	0,00
	63	63	100,00	0,00

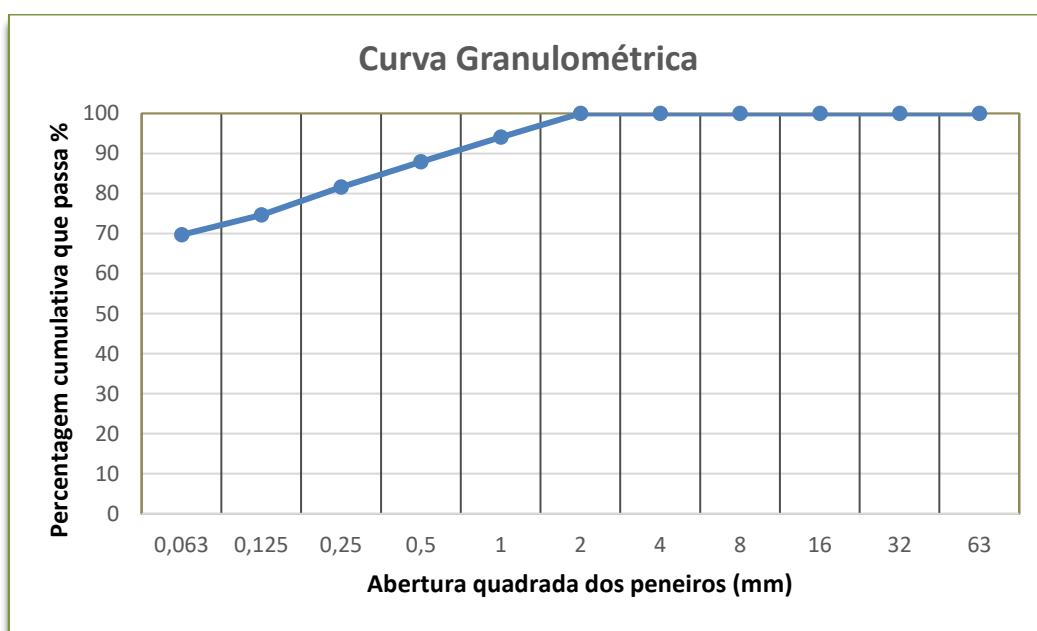


Figura 30 - Curva granulométrica do dregs

Para analisar a granulometria do referido agregado, foram efetuados diversos ensaios em laboratório de acordo com a Norma Portuguesa NP EM 933-1 [11]. A análise granulométrica reflete-se na tabela 17 e a figura 30 ilustra a curva granulométrica.

O valor obtido para a massa volúmica foi:

$$Dregs = 2,71 \text{ Kg/dm}^3$$

4.1.4. Estudo da mistura - 30% dregs e 70% areia

A granulometria da mistura de 30% de dregs e 70% de areia, apresentou os resultados da tabela 18 com a curva granulométrica apresentada na figura 31.

Tabela 18- Análise granulométrica da mistura de 30% de dregs e 70% de areia

	n.º	mm	% Passados		
			Dregs	Areia G	Areia e Dregs
Análise granulo métrica	0,063	0,063	69,67	0,00	20,90
	0,125	0,125	74,65	0,00	22,40
	0,25	0,25	81,57	0,09	24,53
	0,5	0,5	87,92	1,77	27,62
	1	1	94,09	13,57	37,73
	2	2	100,00	54,93	68,45
	4	4	100,00	97,03	97,92
	8	8	100,00	100,00	100,00
	16	16	100,00	100,00	100,00
	32	32	100,00	100,00	100,00
	63	63	100,00	100,00	100,00

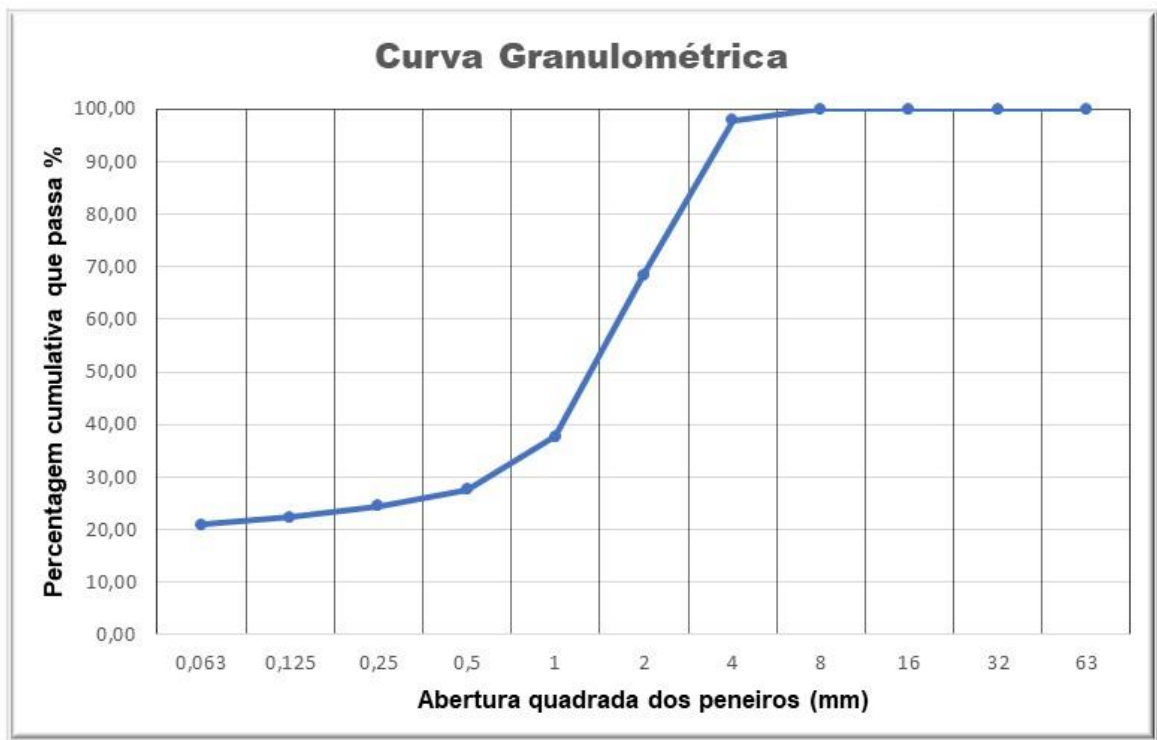


Figura 31 - Curva granulométrica da mistura de 30% de dregs e 70% de areia

4.1.5. Estudo da mistura - 15% dregs e 85% areia

A granulometria da mistura de 15% de dregs e 85% de areia, apresentou os resultados da tabela 19 com a curva granulométrica apresentada na figura 32.

Tabela 19- Análise granulométrica da mistura de 15% de dregs e 85% de areia

	n.º	mm	% Passados		
			Dregs	Areia G	Areia e Dregs
Análise granulo métrica	0,063	0,063	69,67	0,00	10,45
	0,125	0,125	74,65	0,00	11,20
	0,25	0,25	81,57	0,09	12,31
	0,5	0,5	87,92	1,77	14,69
	1	1	94,09	13,57	25,65
	2	2	100,00	54,93	61,69
	4	4	100,00	97,03	97,48
	8	8	100,00	100,00	100,00
	16	16	100,00	100,00	100,00
	32	32	100,00	100,00	100,00
	63	63	100,00	100,00	100,00

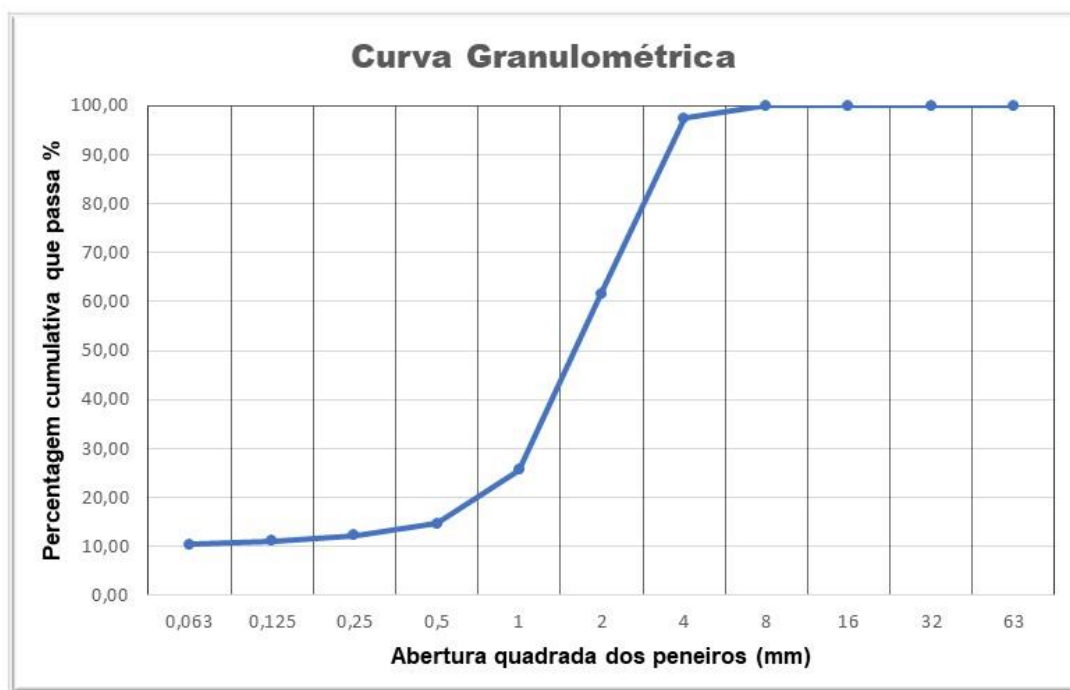


Figura 32 - Curva granulométrica da mistura da mistura de 15% de dregs e 85% de areia

4.2. Procedimentos e ensaios - 1ª fase

O trabalho experimental realizou-se em duas fases que se descrevem em seguida.

Na primeira fase procedeu-se à avaliação de várias misturas de areia, dregs e cimento de modo a avaliar diferentes tipos de composições fabricadas sob o ponto de vista do desempenho mecânico.

A segunda fase experimental teve por objetivo avaliar o desempenho de tijolos solo-cimento com a mistura que se obteve com melhor desempenho.

4.2.1. Fabrico de misturas

As diferentes misturas objeto de estudo foram fabricadas com o auxílio de uma betoneira de eixo horizontal, a qual pode ser visualizada na figura 33. O processo seguiu o demonstrado na figura 34.



Figura 33 - Betoneira de eixo horizontal

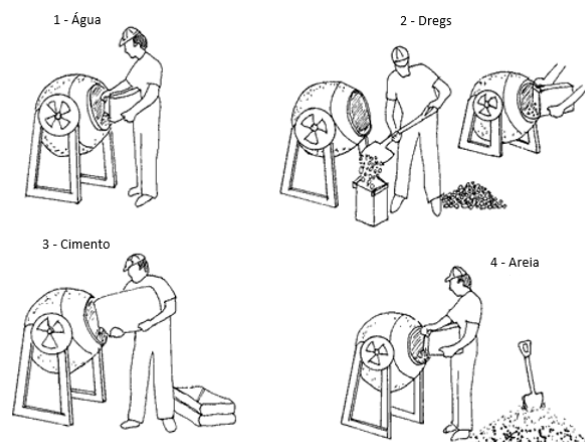


Figura 34 - Sequência da mistura em betoneira [17]

4.2.2. Ensaio de abaixamento

Após a betonagem, foi efetuado o ensaio de abaixamento, também denominado 'slump test', o qual segue a Norma Portuguesa 12350-2 [18], que especifica um método para determinar a consistência do betão fresco.

Consiste em encher com argamassa, um molde metálico (figura 35) com a forma troncocónica e depois de retirar o molde. O abaixamento do betão estabelece a medida da sua consistência.



Figura 35 - Slump teste

O equipamento utilizado para a verificação do abatimento nas obras é o Cone de Abrams, que é constituído de um tronco de cone de chapa metálica, semelhante a um funil, com 30 cm de altura, base maior de 20 cm e base menor de 10 cm. O ensaio deverá ser feito sobre uma base rígida (chapa metálica) nivelada (figura 35).

Assim o ensaio consiste no enchimento do molde que é feito em três camadas, cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde quando compactado. Compactar cada camada com 25 pancadas através do varão de compactação e regularização superficial da terceira camada, depois é levantado o molde e feita a medição da diferença h , que se arredonda aos 10mm, conforme as figuras 36, 37 e 38.

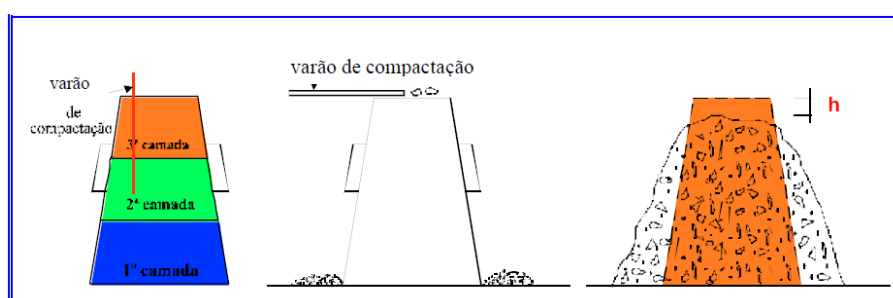


Figura 36 - Imagens do ensaio de abaixamento [18]



Figura 37 - Ensaio de abaixamento

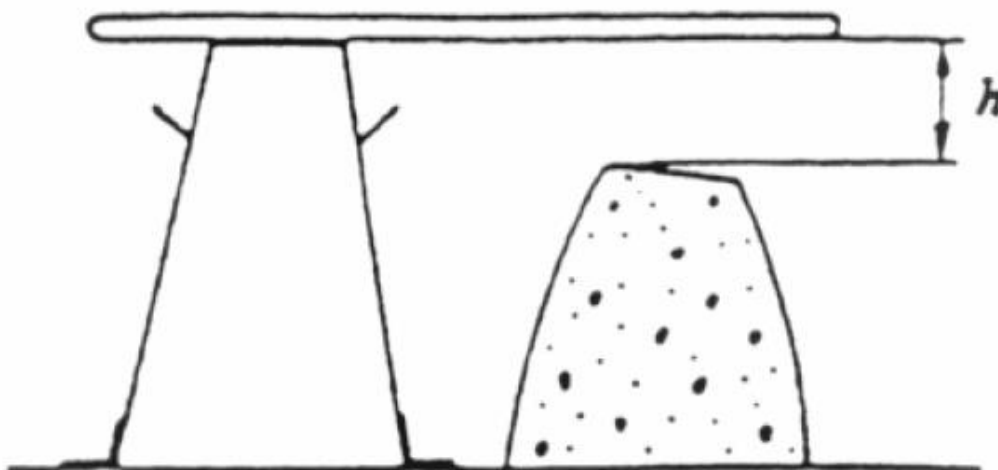


Figura 38 - Medição do abaixamento [18]

O ensaio de abaixamento pode ser considerado como um índice qualitativo da estabilidade e da fluidez da mistura de betão: se existir um aumento progressivo do abaixamento ao percutir continuamente o varão de compactação na base metálica, pode-se considerar que o betão é estável [19].

Segundo a NP EN 206-1 [20] o resultado do abaixamento pode ser dividido em classes (figura 39).

Classe	Abaixamento em mm
S1	10 a 40
S2	50 a 90
S3	100 a 150
S4	160 a 210
S5	≥ 220

Figura 39 - Classes de abaixamento [20]

E ainda segundo A. de Sousa Coutinho [21], também se pode, através do resultado do abaixamento, classificar a consistência do material (figura 40):

0 a 4 cm	plástica
4 a 15 cm	mole
> 15 cm	fluída

Figura 40 - Classificação da consistência [21]

4.2.3. Enchimento e descofragem dos provetes

Para a execução dos provetes foi seguida a norma portuguesa EN 12390-1 [22] que especifica a forma, dimensões de provetes moldados em betão, neste caso em forma de cubos, bem como os moldes requeridos para os produzir.

Os provetes usados foram cubos com a dimensão nominal de 150 mm (figura 41).

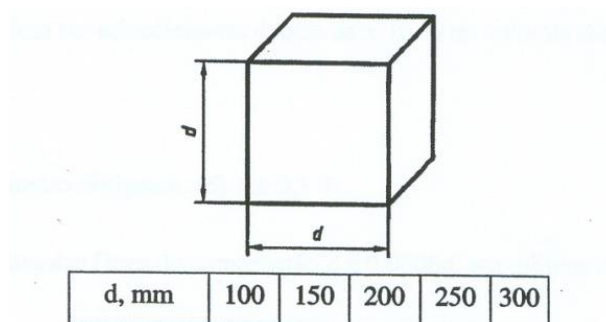


Figura 41 - Cubo dimensões nominais [22]

Os provetes devem ser estanques e não absorventes, devendo ser fabricados em aço ou ferro fundido, conforme a figura 42.

O enchimento dos provetes (figura 43) foi efetuado logo após o fabrico da mistura.



Figura 42 - Provetes utilizados



Figura 43 - Enchimento dos provetes

Antes de se encher os moldes, estes foram barrados com óleo descofrante, o que permitiu uma melhor descofragem dos provetes (figura 44).

Os provetes foram mantidos durante 24 horas na zona de betonagem (figura 45), ou seja, em ambiente de laboratório, de modo a adquirirem endurecimento suficiente (presa) para poderem ser descofrados e transportados até à zona de cura. O período de cura foi de 28 dias, onde foram mantidos durante esse tempo em condições de laboratório.



Figura 44 - Aplicação do óleo descofrante



Figura 45 - Provetes descofrados

4.2.4. Resistência à Compressão

Com o objetivo de determinar a capacidade resistente da argamassa sob tensão uniforme de compressão, as argamassas em estudo foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial. Este objetivo foi conseguido levando os provetes até à rotura, registando a carga última a que resistem.

O valor da resistência à compressão foi calculado através do quociente entre a força máxima atingida no ensaio e a área da secção transversal do provete em contacto com os pratos da prensa (figura 46) que aplica a força de compressão. A metodologia de ensaio seguiu as indicações da norma NP EN 12390-3 [23].



Figura 46 - Prensa MATEST com capacidade de 3000kN

Na preparação e posicionamento de provetes deve-se limpar cuidadosamente todas as superfícies da máquina de ensaio e remover qualquer resíduo ou material estranho das superfícies do provete que vão estar em contacto com os pratos.

Posicionar os provetes cúbicos de forma que a carga seja aplicada perpendicularmente à direção de moldagem e centrar o provete relativamente ao prato inferior.

Na aplicação de carga, seleccionar uma velocidade constante de aplicação de carga dentro do intervalo $(0,6 \pm 0,2) \text{MPa/s}$ ($\text{N/mm}^2\text{s}$) e após a aplicação duma carga inicial, que não deve exceder cerca de 30% da carga de rotura, aplicar a carga ao provete sem choques aumentando-a de forma contínua, à velocidade constante seleccionada $\pm 10\%$, até que não possa ser possível aplicar uma carga maior. Por fim registar a carga máxima indicada em KN.

Na figura 47, são exemplificadas roturas de provetes que demonstra ensaios realizados satisfatoriamente, a figura 48 é um exemplo de um dos ensaios efetuados com a mistura de 15% de dregs.



Figura 47 - Roturas satisfatórias de provetes cúbicos [23]



Figura 48 - Provete cúbico após ensaio

O resultado da resistência à compressão é dado pela aplicação da equação 6.

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (6)$$

onde:

f_c é a resistência à compressão, em MPa (N/mm^2);

F é a carga máxima à rotura, em N ;

A_c é a área da secção transversal do provete na qual a força de compressão foi aplicada, em mm^2 ;

Através de ensaios iniciais de resistência, foi feita a estimativa da resistência à compressão, para idades diferentes dos 28 dias, utilizando-se para um cálculo aproximado da resistência final, as equações (7) e (8) retiradas do Eurocódigo 2 (NP EN 1992-1-1, 2010) [24].

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \times f_{cm} \quad (7)$$

Com

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\} \quad (8)$$

onde:

$f_{cm}(t)$ Tensão média de rotura do betão à compressão à idade de t dias;

f_{cm} Tensão média de rotura aos 28 d de idade;

$\beta_{cc}(t)$ Coeficiente que depende da idade do betão;

t Idade do betão, em dias;

s Coeficiente que depende do tipo de cimento, CEM 32,5N é 0,38.

4.3. Procedimentos e ensaios - 2ª fase

4.3.1. Fabrico dos Tijolos

O tijolo de solo-cimento ou tijolo ecológico, é assim chamado por ser considerado um material de fabricação ecológica, eliminando o processo de queima para se

adquirir a resistência desejada. A figura 49 mostra a composição dos materiais utilizados para fabricar o tijolo de solo-cimento.



Figura 49 - Composição do tijolo solo-cimento

A fabricação dos tijolos de solo-cimento é normalmente feita recorrendo a prensas manuais ou hidráulicas, mas no presente caso não foi possível recorrer a esses equipamentos. Assim recorreu-se à construção do molde apresentado na figura 50, que após se efetuar a mistura como descrito no ponto 4.2.1, permitiu o fabrico de 10 peças de cada vez, como blocos maciços (figura 51).

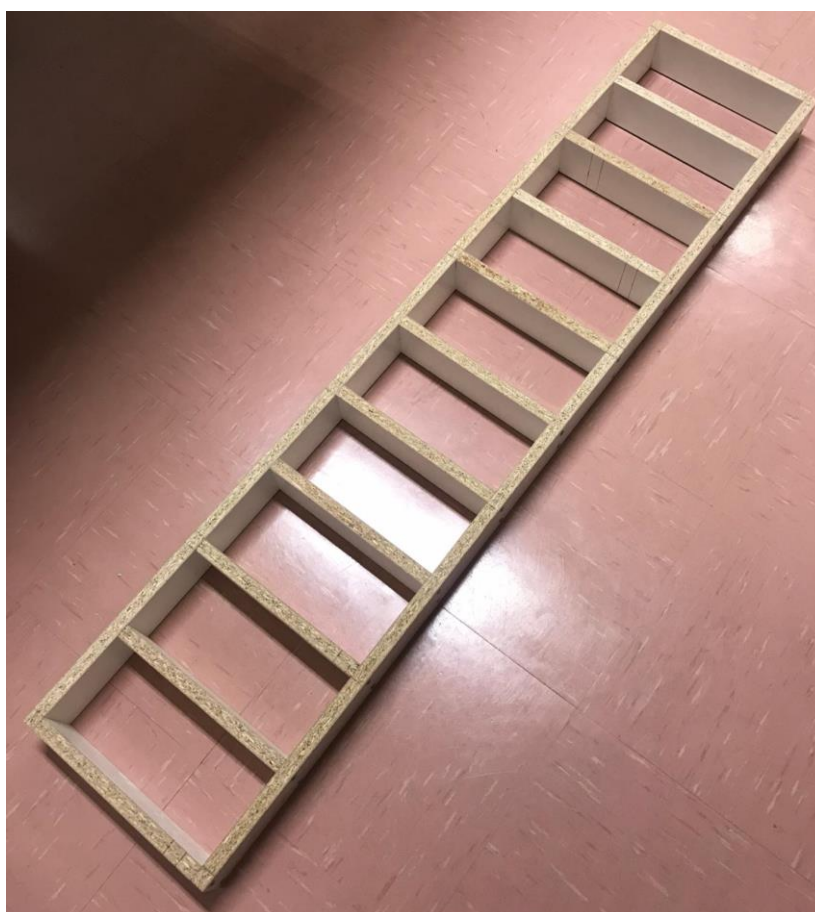


Figura 50 - Molde para o fabrico dos tijolos de solo-cimento



Figura 51 -Fabrico dos tijolos de solo-cimento

Para a escolha das medidas, tendo em consideração que os tijolos de solo-cimento possam constituir uma alternativa à construção em alvenaria, teve-se como base as medidas previstas para um tijolo maciço usado na construção em Portugal conforme a figura 52 e o anexo 4.

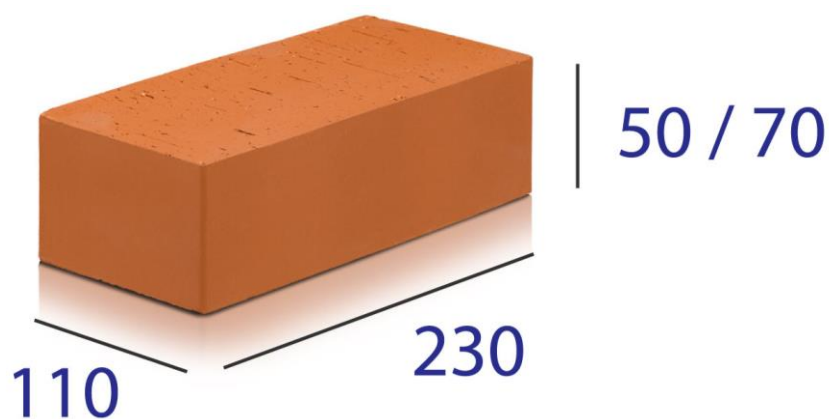


Figura 52 - Tijolo maciço - medidas (mm) [25]

Das duas diferentes medidas em altura, a medida escolhida para o tijolo de solo-cimento foi considerada a maior, assim as medidas são apresentadas na figura 53.

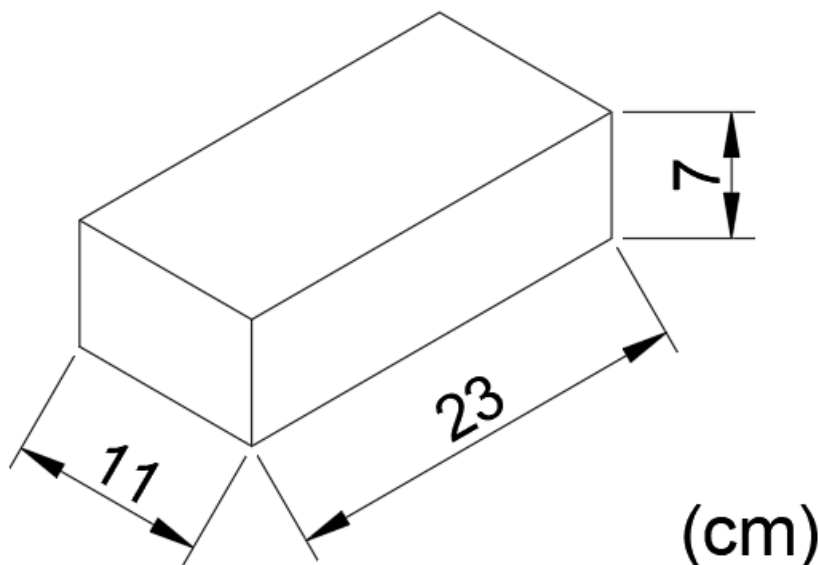


Figura 53 - Medidas do tijolo de solo-cimento

4.3.2. Absorção de água

Para a absorção de água foram utilizados dois métodos, um método português, mais virado para o betão e um método brasileiro, esse sim específico para blocos vazados de solo-cimento sem função estrutural.

O ensaio português para a determinação da absorção de água, tem como objectivo determinar a massa de água que um provete endurecido é capaz de absorver durante 48 horas, quando imerso em água.

O procedimentos para a realização deste ensaio teve por base a especificação do LNEC, E 394 [26] e um trabalho experimental consultado [27].

Então segundo a especificação do LNEC, E 394 deve-se colocar o provete numa sala condicionada à temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Introduzir o provete num recipiente com água de consumo público, à temperatura de $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$, até massa constante. Efectuar esta operação por etapas, de tal modo que o provete seja imerso sucessivamente em intervalos de 1 hora, a 1/3 da sua altura, 2/3 da sua altura e na totalidade da sua altura. O nível final da água não deve ultrapassar 20 mm da face superior do provete imerso.

Considera-se alcançada a massa constante quando a diferença entre as massas obtidas em duas pesagens consecutivas, intervaladas de pelo menos 24 horas, for inferior a 0,1% da média das duas leituras.

Antes de cada pesagem, secar a superfície do provete com um pano absorvente ou uma esponja natural, húmidos mas espremidos, de modo a remover toda a água superficial.

Após alcançada a massa constante, pesar o provete (m_2). Retirar o provete de dentro de água e proceder à sua secagem até massa constante, numa estufa ventilada à temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$.

Considera-se alcançada a massa constante do provete seco quando a diferença entre as massas obtidas em duas pesagens consecutivas, intervaladas de pelo menos 24 horas, for inferior a 0,1% da média das duas leituras (m_1).

Por fim a absorção de água foi calculada, em percentagem, através da equação (9).

$$A_i = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (9)$$

onde:

m_1 massa do provete seco, expressa em gramas;

m_2 massa do provete saturado no ar, expressa em gramas;

O ensaio brasileiro tem por base a Norma brasileira NBR 10836 [28], que prescreve o método da absorção de água em blocos vazados de solo-cimento comuns, utilizados em alvenaria sem função estrutural.

Segundo a Norma [28], os provetes são colocados em estufa a uma temperatura entre 105°C e 110°C até obter massa constante, obtendo-se assim a massa seca M_1 , em gramas. Imergir os provetes num tanque com água à temperatura ambiente durante 24 h. Após retirar da imersão, enxugar com um pano húmido e determinar a massa, antes de decorridos 3 min, obtendo-se assim a massa saturada M_2 , em gramas.

O valor da absorção, expresso em percentagem, para cada provete deve ser calculado pela equação 10.

$$A_{\%} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100 \quad (10)$$

A absorção média dos corpos-de-prova é obtida pela média dos valores individuais.

4.3.3. Eflorescência

Eflorescência é um tipo de patologia que pode ocorrer em diversos materiais de construção civil e é provocada pela deposição de sais, sobretudo os sais de metais

alcalinos (potássio e sódio) e alcalinos terrosos (cálcio e magnésio), em superfícies e componentes de alvenarias, bem como componentes de revestimento.

Esses sais, em contato com o ar, solidificam em função da evaporação da água e formam depósitos. Os mesmos são caracterizados por apresentarem cor esbranquiçada e, dependendo do tipo de eflorescência, podem apresentar alta ou baixa solubilidade em água.

O ensaio de Eflorescência foi realizado seguindo o trabalho “Ensaio de eflorescência baseado na norma da ASTM C 67-92^a” [29], é um ensaio que é avaliado visualmente e de forma qualitativa.

Depois de retirada as sujeiras com escovação, os tijolos foram imersos em água destilada num recipiente impermeável e resistente à corrosão até a altura de 2,50cm, como mostra a figura 54. Durante o tempo que ocorreu o ensaio procedeu-se à reposição diária da água do recipiente que era absorvida pelos tijolos, o que ocorreu durante um período de sete dias.

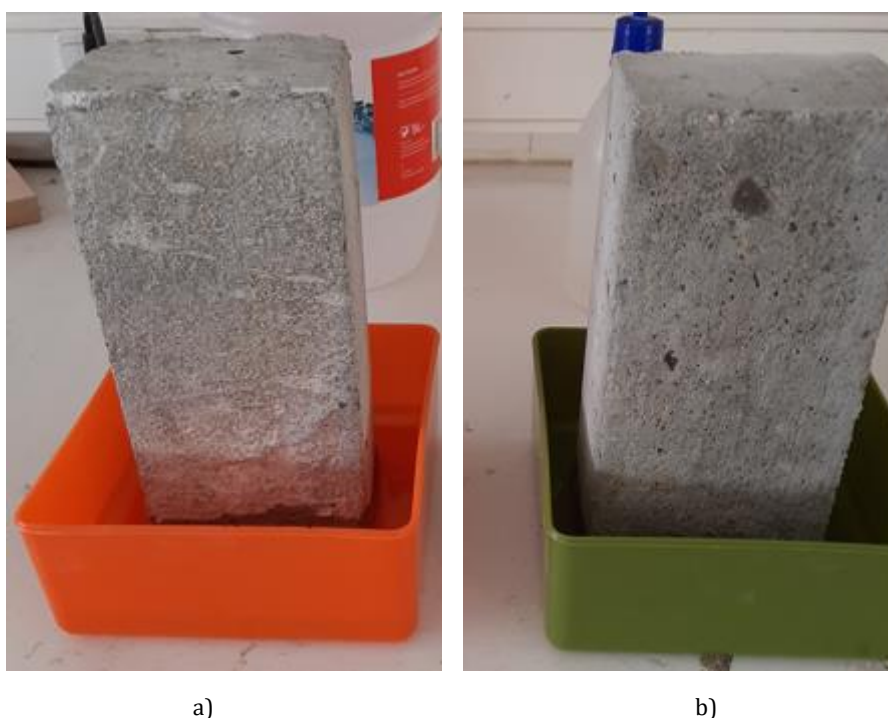


Figura 54 - Tijolos de solo-cimento imersos em água destilada para realização do ensaio de eflorescência - a) Amostra 1; b) Amostra 2.

4.3.4. Construção do muro em tijolo

A construção do muro foi feita pelo método de tijolo de face-à-vista. Assim segundo a empresa “Cerâmica do Vale da Gândara” [25], quando se pretenda uma solução de tijolo face-à-vista aparente, mas de elevado isolamento sonoro, o tijolo maciço é a solução indicada devido ao seu acabamento.

Sendo adequado para utilização exterior, permite criar um efeito visual agradável, faltando apenas escolher o tipo de assentamento.

Segundo a mesma empresa que tem o seu próprio manual de aplicação de tijolos de face à vista [30] e define como tipo de assentamento, a disposição em que devem colocar-se os tijolos para garantir um aspeto final homogêneo e obter uma resistência adequada.

Existem inúmeros tipos de assentamento, com variações sensíveis de país para país e até entre diferentes regiões do mesmo país. Um dos tipos de assentamento mais comum é o “muro de meia peça” (figura 55) em que a parede é formada por tijolos colocados ao baixo, de modo que a sua largura corresponda à espessura da parede. Normalmente o arranque é feito com um tijolo inteiro nas fiadas ímpares e com meio tijolo nas fiadas pares [30].

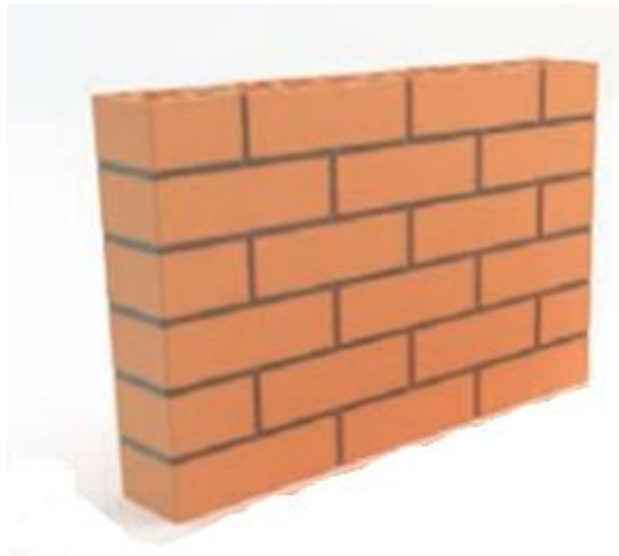


Figura 55 - Muro de $\frac{1}{2}$ peça, assentamento em contra-fiada [30]

Não esquecer que existem regras que devem ser seguidas em qualquer tipo de assentamento [30]:

- ✓ nunca executar um tipo de assentamento em que o tijolo não fique sobreposto mais de $\frac{1}{4}$ da sua dimensão sobre o tijolo da fiada imediatamente inferior;
- ✓ sempre que possível, assentar um tijolo inteiro e meio tijolo;
- ✓ garantir que os tijolos fiquem travados, para proporcionar uma maior segurança ao pano construído;
- ✓ posicionar as juntas verticais sempre na perpendicular ao alinhamento da parede;

- ✓ a colocação dos tijolos deve ser feita de modo a interromper as juntas (em contra-fiada) ou seja, a junção dos tijolos de uma camada não deve coincidir com os tijolos da camada seguinte.

Com base no assentamento definido foi construído um protótipo de muro (figura 56) em espaço exterior (figura 57) para perceber os efeitos das condições atmosféricas sobre o mesmo, tendo o referido protótipo como medidas cerca de 100 cm de comprimento por 50 cm de altura.



Figura 56 - Construção do protótipo de muro



Figura 57 - Muro construído

4.3.5. Resistência do muro em tijolo

De uma forma grosseira e de acordo com a Segunda Lei de Newton: “A força resultante que atua sobre um corpo é proporcional ao produto da massa pela aceleração por ele adquirida” (equação 11).

$$F = m \times g \quad (11)$$

Admitindo a aceleração da gravidade (g) igual a 10 m.s^{-2} , utilizaram-se dois martelos com massas diferentes, uma de massa de $1,05\text{kg}$ (figura 58 a) e outro de massa de $5,25\text{kg}$ (figura 58 b). Assim a força aplicada pela primeira massa é de $10,5\text{N}$ e a segunda massa de $52,5\text{N}$ e temos a massa volúmica dos tijolos de aproximadamente de $1,90 \text{ g/cm}^3$.

Com esse pressuposto foi idealizado um ensaio onde a massa é segura acima da cabeça, a uma altura de cerca de 2 metros, depois deixada descair de forma pendular e assim fazer com que a massa chocasse na face frontal do muro, de forma a verificar visualmente a sua resistência.



Figura 58 - Martelos utilizados. a) massa 1,05 kg; b) massa 5,25 kg.

4.4. Resultados dos Ensaios

Em Portugal ainda não existe regulamentação específica, referente a tijolos de solo-cimento, mas a norma brasileira NBR 10834/1993 [31] fixa as condições exigíveis para blocos vazados de solo-cimento comuns, destinados à execução de alvenaria sem função estrutural.

A norma refere que a espessura mínima de qualquer parede de bloco comum deve ser de 25 mm e que o bloco deve ter arestas vivas ou chanfradas e não deve apresentar fissuras, fraturas ou outros defeitos que possam prejudicar o assentamento, a resistência e a durabilidade da alvenaria.

Para a resistência à compressão, a norma refere que para a amostra ensaiada o valor de resistência à compressão deve ter valores individuais iguais ou superiores a 1,7 MPa e a média da amostra deve ser igual ou superior a 2,0 MPa, valores referentes aos 28 dias de idade. Refere ainda que a idade mínima das amostras deve ser de 7 dias (figura 59).

Assim, como absorção de água e segundo a norma a amostra ensaiada deve apresentar a média dos valores de absorção de água igual ou menor que 20% e valores individuais iguais ou menores que 22%, aos 28 dias de idade (figura 59).

Valores-limite (aos 28 dias)	Média	Individual
Resistência à compressão (MPa)	$\geq 2,0$	$\geq 1,7$
Absorção de água (%)	≤ 20	≤ 22

Figura 59 - Quadro de resumo [31]

4.4.1. Ensaio de referência (ER)

Para o fabrico do ensaio de referência foram usados os valores referidos na tabela 20. O fabrico foi elaborado conforme o descrito no ponto 4.2.1 e 4.4.1.

Para o ensaio de referência utilizou-se uma relação de 1 m³ de cimento por 3 m³ de areia.

Tabela 20- Medidas dos componentes utilizados no ensaio de referência (ER)

Componentes	CIM (m ³)	Areia (m ³)
Referência (ER)	1,0	3,0

Ensaio de abaixamento

O resultado do ensaio de abaixamento foi de 40 mm, obtendo-se uma classe S1 correspondendo a uma consistência plástica/mole.

Resistência à Compressão

Ensaio aos 7 dias (tabela 21).

Tabela 21- Resistência à compressão, aos 7 dias (ER)

Tipo	fc [MPa]	fcm [MPa]
Referência (ER)	X	16,3
	16,3	

O primeiro ensaio não foi possível obter o resultado em virtude de ter havido uma falha no ensaio, assim o ensaio aos 7 dias deu uma estimativa da resistência aos 28 dias de 23,84 MPa.

$$f_{cm} = \frac{16,3}{e^{0,38 \times \left(1 - \left(\frac{28}{7}\right)^{\frac{1}{2}}\right)}} = 23,84 \text{ MPa}$$

Ensaio aos 28 dias (tabela 22).

Aos 28 dias obteve-se um valor da resistência à compressão, para o ensaio de referência, o valor de 22,5 MPa.

Tabela 22- Resistência à compressão, aos 28 dias (ER)

Tipo	fc [MPa]	fcm [MPa]
Referência (ER)	22,9	22,5
	23,0	
	21,6	

4.4.2. Solo-Cimento - 30% de dregs (SC_{30%})

Para o fabrico do solo-cimento com uma percentagem de 30% de dregs foram usados os valores referidos na tabela 23. O fabrico foi elaborado conforme o descrito no ponto 4.2.1 e 4.4.1.

Tabela 23- Medidas dos componentes utilizados no solo-cimento (SC_{30%})

Componentes	CIM (m ³)	Areia (m ³)	Dregs (m ³)
Solo-cimento (SC _{30%})	1,00	2,10	0,90

Ensaio de abaixamento

O resultado do ensaio de abaixamento foi de 20 mm, dando uma classe S1 e uma consistência plástica.

Resistência à Compressão Simples

Ensaio aos 7 dias (tabela 24).

O ensaio aos 7 dias permitiu obter uma estimativa da resistência à compressão aos 28 dias de 3,2 MPa.

Tabela 24- Resistência à compressão, aos 7 dias (SC_{30%})

Tipo	fc [MPa]	fcm [MPa]
30% de dregs (SC _{30%})	2,2	2,2
	2,3	
	2,2	

$$f_{cm} = \frac{2,2}{e^{0,38 \times \left(1 - \left(\frac{28}{7}\right)^{\frac{1}{2}}\right)}} = 3,2 \text{ MPa}$$

Ensaio aos 28 dias (tabela 25).

Aos 28 dias, a resistência à compressão apresentou um valor de 2,6 MPa.

Tabela 25- Resistência à compressão, aos 28 dias (SC_{30%})

Tipo	fc [MPa]	fcm [MPa]
30% de dregs (SC _{30%})	2,6	2,6
	2,6	
	2,6	

4.4.3. Solo-Cimento - 15% de dregs (SC_{15%})

Para o fabrico do solo-cimento com uma percentagem de 15% de dregs foram usados os valores referidos na tabela 26. O fabrico foi elaborado conforme o descrito no ponto 4.2.1 e 4.4.1.

Tabela 26- Medidas dos componentes utilizados no solo-cimento (SC_{15%})

Componentes	CIM (m ³)	Areia (m ³)	Dregs (m ³)
Solo-cimento (SC _{15%})	1,00	2,55	0,45

Ensaio de abaixamento

O resultado do ensaio de abaixamento foi de 50 mm, dando uma classe S1 e uma consistência plástica/mole.

Resistência à Compressão

Ensaio aos 7 dias (tabela 27).

O ensaio aos 7 dias deu uma estimativa da resistência aos 28 dias de 7,8 MPa.

Tabela 27- Resistência à compressão, aos 7 dias (SC_{15%})

Tipo	f _c [MPa]	f _{cm} [MPa]
15% de dregs (SC _{15%})	4,5	5,3
	6,1	

$$f_{cm} = \frac{5,3}{e^{0,38 \times \left(1 - \left(\frac{28}{7}\right)^{\frac{1}{2}}\right)}} = 7,8 \text{ MPa}$$

Ensaio aos 28 dias (tabela 28).

Aos 28 dias, obtém-se um valor de 7,8 MPa para a resistência à compressão, valor já obtido com o ensaio aos 7 dias.

Tabela 28- Resistência à compressão, aos 28 dias (SC_{15%})

Tipo	fc [MPa]	fc _m [MPa]
15% de dregs (SC _{15%})	7,8	7,8
	6,6	
	8,9	

4.4.4. Tijolos de solo-cimento

Ensaio de absorção de água

Ensaio baseado na especificação do LNEC, E 394 [26]:

$$A_1 = \frac{3750 - 3350}{3350} \times 100 = 11,94\%$$

Ensaio segundo a Norma brasileira NBR 10836 [28]:

$$A_{\%} = \frac{3700 - 3300}{3300} \times 100 = 12,12\%$$

Ambos os ensaios foram realizados utilizando o tijolo de solo-cimento, com a substituição de 15% de dregs e apresentaram resultados muito próximos.

Eflorescência

Em ambas as amostras houve um aparecimento de manchas de sais, que não eram visíveis antes do ensaio, pois todos foram cuidadosamente inspecionados e escovados, as manchas de sais apresentam uma cor branca.

Apesar de se observar no ensaio que a absorção da água apenas se elevou até um terço das amostras, mesmo assim, após os sete dias, com o ensaio de eflorescência verificou-se em ambas as amostras, através da análise visual, que ambas apresentaram uma eflorescência nítida, embora muito mais manifestada na primeira amostra, como mostra a figura 60.

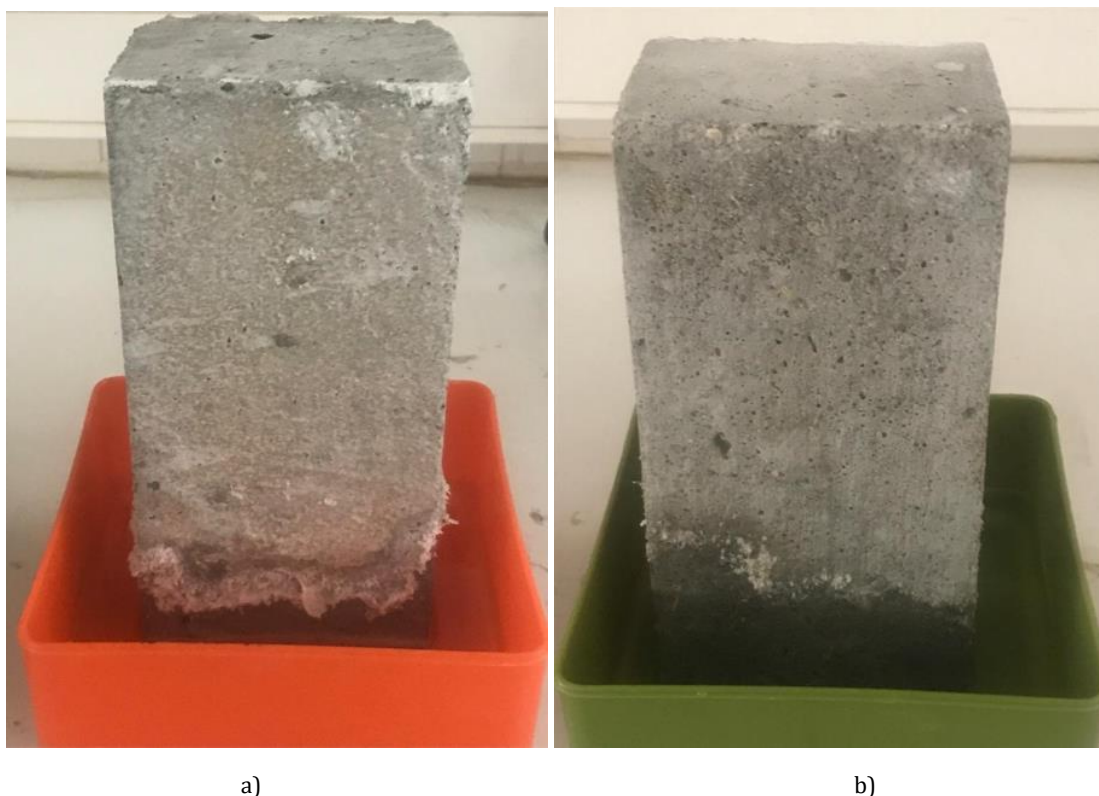


Figura 60 - Tijolos de solo-cimento - ensaio de efluorescência. a) Amostra 1; b) Amostra 2.

Análise Visual

A inspeção visual é uma das técnicas mais antigas no sector da construção para deteção de anomalias. Na inspeção visual devemos ter em atenção que os tijolos de solo-cimento devem apresentar uma aparência homogénea, compacta e arestas vivas, bem como devem ser isentos de fissuras ou outros defeitos que possam prejudicar o seu assentamento, resistência ou durabilidade da construção.

Através da análise visual das amostras (figura 61), a figura 61 a) apresenta a mistura com adição de 30 % de dregs e a figura 61 b) mostra a mistura com adição de 15% de dregs.

Ambas as amostras demonstram um material com aspeto homogéneo e com poucos vazios, logo compacto e isentos de fissuras.

A adição de 30% de dregs demonstra uma cor mais escura que esteticamente pode ser mais apelativa, mas menos resistente e com arestas menos vivas que a mistura com adição de 15% de dregs.



a)

b)

Figura 61 - Tijolos de Solo-cimento. a) 30 % de dregs; b) 15% de dregs.

Resistência do muro em tijolo

Para verificar a resistência do muro foram dados dois choques em ambas as extremidades da face frontal do muro, onde simplesmente se deixou cair a massa de forma pendular.

Para a massa de 1,05kg, com uma força de 10,5N, pode-se verificar que ao fim dos dois choques, apenas arrancou o tijolo pela ligação feita em argamassa (figura 62), com a massa de 5,25kg e a força de 52,5N o resultado não foi diferente, os tijolos resistiram muito bem, apenas cedeu nas ligações, como se pode ver na figura 63 a), acabando por cair ao levar o segundo choque (figura 63 b).



Figura 62 - Resultado final, dois choques, com a massa 1,5kg.



a)

b)

Figura 63 - Resultados das pancadas, com a massa 5,25kg. a) 1ª pancada; b) 2ª pancada.

4.5. Análise e discussão dos resultados

Os resultados obtidos relativamente ao comportamento mecânico das misturas solo-cimento são apresentados na figura 64, obtidos sob a ótica da resistência à compressão aos 7 dias e aos 28 dias de idade, para as misturas com distintas parcelas de dregs.

O objetivo do ensaio foi submeter os provetes até à rotura na máquina de ensaio à compressão, onde se registou a carga máxima suportada e assim calculou-se a resistência à compressão do solo-cimento.

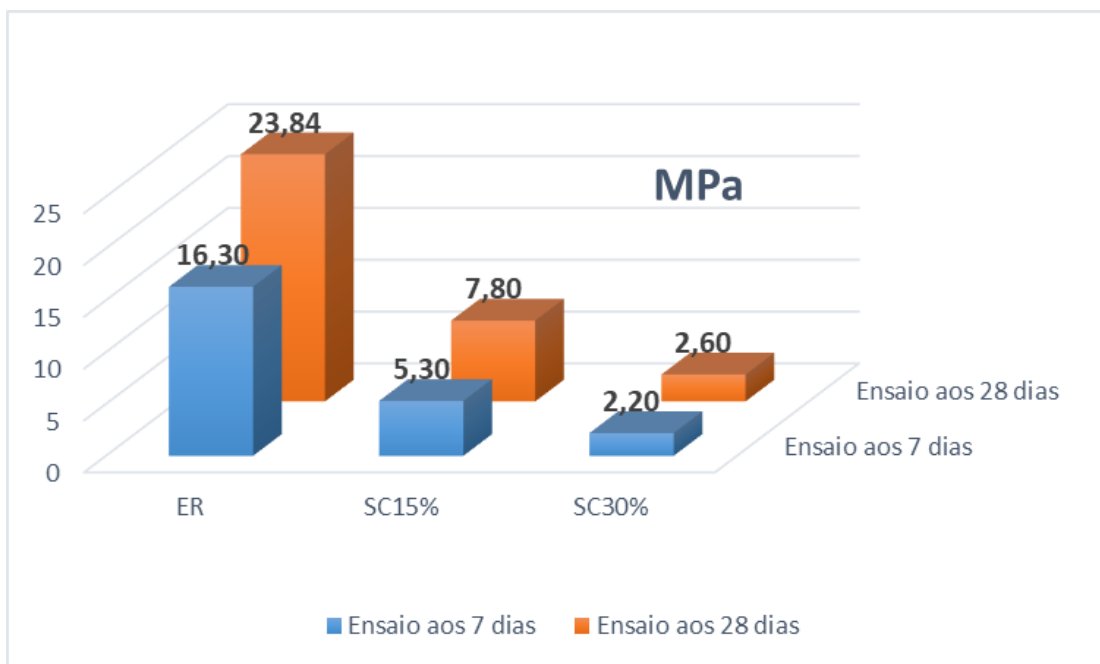


Figura 64 - Média dos resultados dos ensaios à compressão

A análise da figura 64 permite verificar que as misturas em que há uma substituição do agregado natural pelos dregs, tiveram uma perda de resistência à compressão muito significativa, em comparação com a mistura de referência.

A substituição de dregs, tem um grande impacto no resultado, onde na figura 65 se pode verificar a percentagem de valor equivalente no ensaio aos 28 dias, em relação ao ensaio de referência em que a substituição de 15% de dregs, valor utilizado para o fabrico dos tijolos de solo-cimento, em comparação com o de referência tem apenas um valor equivalente a cerca de 33% de resistência à compressão e a substituição de 30% de dregs apenas 11%.

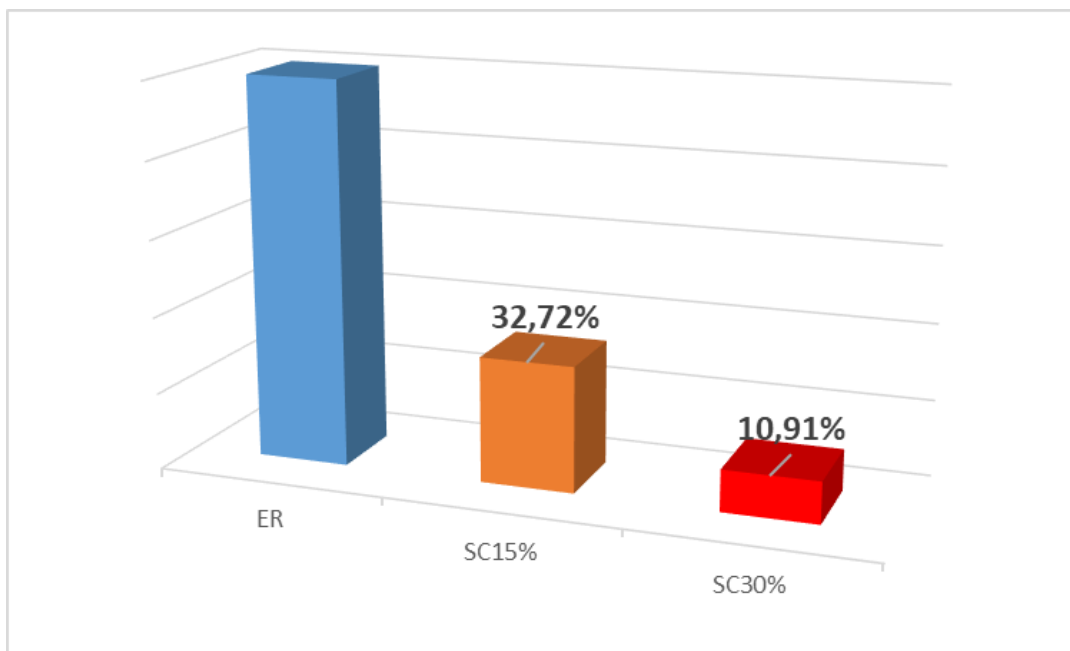


Figura 65 - Percentagem dos resultados em relação ao ensaio de referência

Mas não deixa de ser interessante verificar que ambas as percentagens ainda estão acima dos valores pretendidos para a resistência à compressão referente aos 28 dias de idade da norma brasileira NBR 10834/1993 [31], a qual refere que a média das amostras deve ser igual ou superior a 2,0 MPa.

A mesma norma em relação à absorção de água refere que as amostras ensaiadas devem apresentar uma média de valores igual ou menor que 20%, aos 28 dias de idade, mas como se pode verificar na figura 66, ambos os ensaios, o que seguiu a norma brasileira e o que se adaptou à norma portuguesa, estão distantes dos 20% de absorção de água.

Assim podemos concluir que o tijolo de solo-cimento com adição de 15% de dregs, cumpre a norma brasileira NBR 10834/1993 [31] sobre as condições exigíveis para blocos vazados de solo-cimento comuns, destinados à execução de alvenaria sem função estrutural.



Figura 66 - Gráfico dos resultados da absorção de água

4.5.1. Comparação com os resultados de outros autores

Foram escolhidos dois trabalhos sobre duas adições diferentes em tijolos de solo-cimento e foi comparado os ensaios de resistência à compressão.

Miranda (2020) [32] no seu estudo trabalhou uma dosagem em volume 1:10 (cimento:solo) com quatro traços diferentes: 0%,10%,20% e 30% de resíduo em substituição ao volume de solo (figura 67). Na fabricação do tijolo solo-cimento com substituição do solo por resíduos da construção civil, o solo utilizado foi retirado de escavações para a construção de um empreendimento.

TRAÇO	SOLO	RCC
TR0	100%	-
TR10	90%	10%
TR20	80%	20%
TR30	70%	30%

Figura 67 - Tabela dos traços e percentagens de materiais na mistura em volume [32]

Na figura 68, pode-se verificar os resultados apresentados aos 7 e 28 dias do ensaio de resistência à compressão simples.

Traço	Resistência a compressão (MPa)		Ganho de resistência
	7 dias	28 dias	
TR0	1,82	2,24	23,28%
TR10	2,02	2,54	25,66%
TR20	2,19	2,31	5,46%
TR30	1,82	2,29	26,07%

Figura 68 - Tabela do comparativo de resistência à compressão entre 7 e 28 dias [32]

O segundo trabalho, desenvolvido por Júnior (2017) [33], teve por base avaliar a incorporação do resíduo da fabricação de papel na mistura solo-cimento para confecção de tijolos modulares prensados com dimensões de 30cmx15cmx7cm. Foram testadas diferentes proporções de solo e resíduo, mantendo sempre a mesma massa de cimento [33].

O resíduo passou por um processo de secagem, exposto ao sol até que estivesse seco o suficiente para ser moído. Em seguida, passou por um moinho de bolas e foi moído até que todo o material passasse pelo peneiro nº 35. Os traços produzidos estão indicados na figura 69.

TRAÇOS	(CIMENTO : SOLO : AREIA : RESÍDUO)	
	MASSA	%
T0	1 : 9 : 0 : 0	10 : 90 : 0 : 0
T1	1 : 6,3 : 2,7 : 0	10 : 63 : 27 : 0
T2	1 : 5,95 : 2,55 : 0,5	10 : 59,5 : 25,5 : 5
T3	1 : 5,6 : 2,4 : 1	10 : 56 : 24 : 10
T4	1 : 5,25 : 2,25 : 1,5	10 : 52,5 : 22,5 : 15

Figura 69 - Traços produzidos [33]

Os resultados apresentados na figura 70, são referentes ao ensaio de resistência à compressão simples.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)			
	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
T0	1,78	2,29	2,42
T1	2,73	3,15	3,52
T2	2,31	3,18	3,42
T3	2,16	2,54	2,81
T4	0,43	0,62	0,75

Figura 70 - Valores médios da resistência à compressão dos tijolos [33]

A figura 71 compara os resultados obtidos pelos autores referidos com os valores obtidos pelo presente trabalho, para a resistência à compressão aos 7 dias e aos 28 dias.

Apenas o resultado obtido no presente trabalho, para a concepção do tijolo de solo-cimento com a adição dos 15% de dregs, se distingue dos restantes pelo acréscimo da resistência à compressão e o resultado T4 obtido pelo autor do trabalho [33] pela menor resistência à compressão.

Uma das diferenças que podemos ver dos trabalhos apresentados para o presente trabalho é a relação entre o cimento e o solo, em que no primeiro trabalho é de 1/10, no segundo 1/9 e o do presente trabalho de 1/4. Esta diferença permite aumentar a quantidade de dregs incorporado e manter a resistência à compressão acima dos 2 MPa.

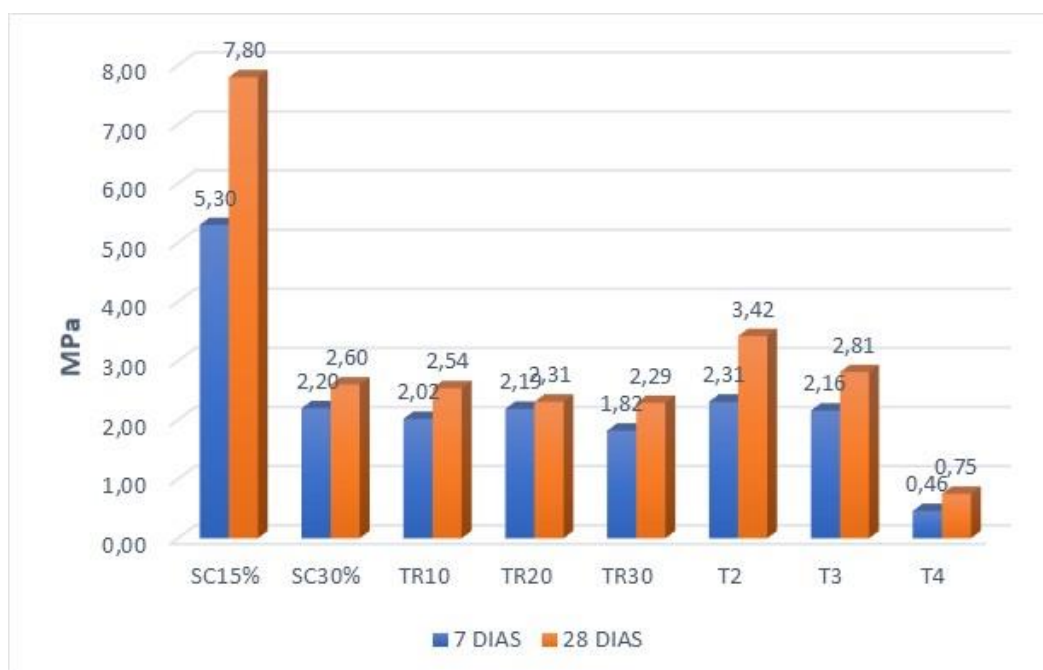


Figura 71 - Ensaio de resistência à compressão simples

A escolha para o fabrico do tijolo de solo-cimento foi a de 15% de adição de dregs, porque a resistência à compressão simples era ligeiramente superior à da adição de 30% e dava uma maior margem de segurança na construção, mas nota-se através da análise da figura 68, que a percentagem de 30% de dregs, também era admissível no que se refere ao parâmetro da resistência à compressão simples.

Comparação de materiais existentes

Pretende-se comparar o tijolo desenvolvido no presente estudo com algo que já existe no mercado português. Assim, pode-se observar que na cerâmica Vale da Gândara [25] foi desenvolvido um tijolo de furação vertical que permite um maior isolamento acústico com um custo reduzido chamado de “Acustiargila” (figura 72). Constitui uma solução acústica de alto desempenho e de fácil colocação, que não necessita de mão-de-obra especializada: é assente com argamassa normal sendo rebocado com gesso, é incombustível, permite realizar panos mais estreitos e resistentes mecanicamente do que outras soluções.

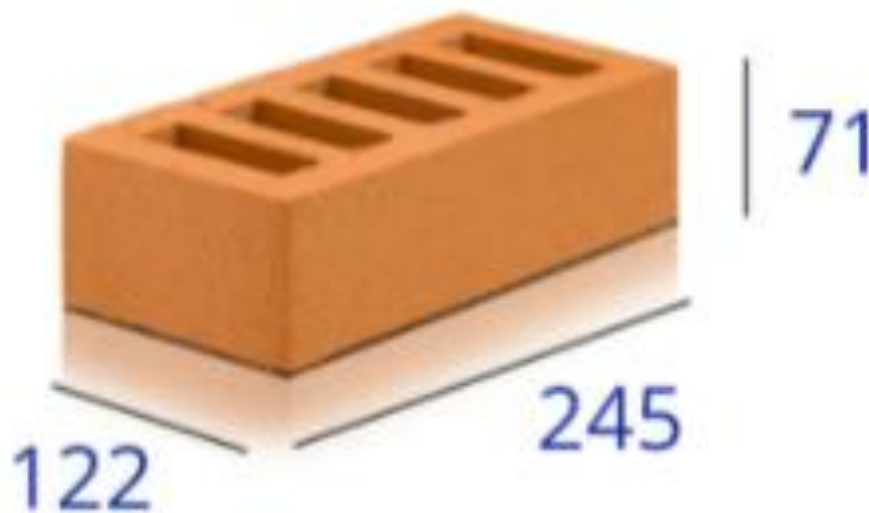


Figura 72 - Tijolo de furação vertical [25]

Na sua ficha técnica (anexo 5), apresenta valores de resistência à compressão e absorção de água próximos do tijolo de solo-cimento fabricado no presente estudo.

Tijolo “Acustiargila”:

Resistência à compressão	\geq	12	N/mm²
Absorção de água	\leq	12	%

Tijolo de solo-cimento:

Resistência à compressão	$=$	7,8	N/mm²
Absorção de água	$=$	11,94	%

4.5.2. Aplicações do tijolo desenvolvido

As peças de tijolo de solo-cimento podem ser empregues para vários fins e de inúmeras formas, embora não tenham funções estruturais, mas a construção passa (e muito) pela resistência da estrutura. Uma construção não tão resistente e não estrutural, pode ser usado em várias soluções.

Tijolos de solo-cimento aplicados na construção de uma churrasqueira (figura 73).



Figura 73 - Tijolo de solo-cimento numa churrasqueira

Uma aplicação muito interessante em que se pode aplicar é em Lancis para canteiros (figura 74).



Figura 74 - Lancis para canteiros [34]

As soluções aplicadas ao tijolo solo-cimento passa por não ter funções estruturais, mas existe uma panóplia de aplicações onde podem ser utilizados os tijolos de solo-cimento com adição de dregs, como lajetas, muros de jardim, floreiras, barreiras acústicas, etc.

5. Ciclo de Vida

Tradicionalmente a construção tem como objetivo principal a otimização da eficiência e a minimização de custos durante o desenvolvimento do projeto e da construção. Mas de forma a tornar estes processos mais sustentáveis é necessário expandir estas metodologias de forma a abranger a vida útil completa das estruturas.

É preciso compreender que qualquer produto, seja este de madeira, vidro, plástico, metal ou qualquer outro elemento, gera um impacto no meio ambiente, devido ao seu processo produtivo, das matérias-primas que consome, a sua utilização ou o seu destino final. Assim é de extrema importância a compreensão do ciclo de vida (figura 75) e criar uma avaliação desse mesmo ciclo que verifique a análise de possíveis impactos ambientais, tendo em consideração todos os aspetos da construção, desde a extração dos materiais, conceção inicial, construção, gestão e manutenção ao longo da vida útil, até à demolição, reciclagem ou fim de vida dos materiais

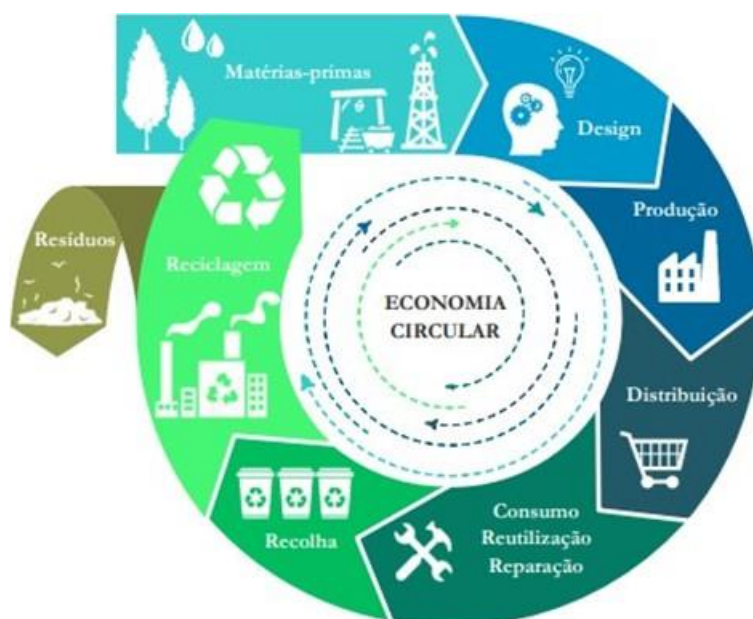


Figura 75 - Economia circular [35]

Para perceber a vantagem da utilização de um tijolo de solo-cimento em detrimento de um tijolo cerâmico, analisou-se e comparou-se o ciclo de vida dos dois materiais.

5.1. Ciclo de vida do tijolo cerâmico

O setor cerâmico é um dos grandes contribuintes de materiais para a construção civil, onde se incluem os tijolos cerâmicos, tornando-se relevante proceder à análise do seu ciclo de vida de modo a contribuir para uma construção mais sustentável.

No ciclo de vida considera-se todas as interações ocorridas desde a extração da matéria prima até ao tratamento e/ou disposição final do produto, após sua utilização. A figura 76 mostra as principais fases do ciclo de vida dos produtos cerâmicos.

Existem várias empresas que promovem a reciclagem de produtos cerâmicos, fazendo o tratamento adequado dos produtos inutilizados e reutilizando a sua matéria-prima para a fabricação de telhas e tijolos novos, com a trituração do produto cerâmico (tijolos, telhas, entre outros), sendo esse material fundido e misturado com a matéria-prima virgem, voltando assim a um estado que permite remodelar a peça para a fabricação de outros componentes cerâmicos.

O processo permite contribuir para a preservação ambiental, pois reduz a necessidade de extração de matéria-prima, diminuindo o impacto causado pela produção de produtos cerâmicos, além de reduzir os custos de produção.



Figura 76 - Ciclo de vida de produtos cerâmicos [36]

Embora a reciclagem seja desejável do ponto de vista ecológico, quando comparada à extração de novas matérias-primas, a cadeia do produto deve ser avaliada também em termos absolutos, como um todo e por isso é importante entendermos se o produto é viável ambientalmente ou se deve ser substituído por outro, elaborado por meios de processos mais eficientes, como o caso de tijolos de solo-cimento.

5.2. Ciclo de vida do tijolo de solo-cimento

O tijolo de solo-cimento é fabricado com terra, cimento e água, onde a principal diferença em relação a outros tipos de tijolos é a cura hidráulica, não é cozido em forno, um processo que consome madeira e ainda resulta na emissão de gases poluentes. Embora seja considerado um tijolo, mas de solo-cimento, o seu ciclo de vida identifica-se com o ciclo de vida de um Resíduo de Construção e Demolição (RCD), e não com o ciclo de vida de um produto cerâmico. Note-se que para os RCD é preciso compreender as suas operações de recolha, transporte, armazenagem, tratamento, valorização e eliminação.



Figura 77 - Muro de tijolos de solo-cimento após demolição

A figura 78 mostra a representação do setor da construção civil na quantidade de RCD produzidos [37].



Figura 78 - Percentagem de RCD produzidos pelo sector da construção e restantes atividades [37]

O principal objetivo do Decreto-Lei n.º 46/2008, de 12 de março, que estabelece o regime das operações de gestão de RCD, assentou na criação de condições legais para a correta gestão destes resíduos privilegiando a prevenção da produção e da perigosidade, o recurso à triagem na origem, à reciclagem e a outras formas de valorização. Tal facto conduz à diminuição da utilização de recursos naturais e minimiza o recurso à deposição em aterros [37].

O referido decreto-Lei estipulou a criação de condições legais para a correta gestão dos RCD como a reutilização de solos e rochas não contendo substâncias perigosas, preferencialmente na obra de origem. Caso tal não seja possível, é prevista a reutilização noutras obras para além da de origem, bem como na recuperação ambiental e paisagística de pedreiras, na cobertura de aterros destinados a resíduos ou ainda em local licenciado pelas câmaras municipais.

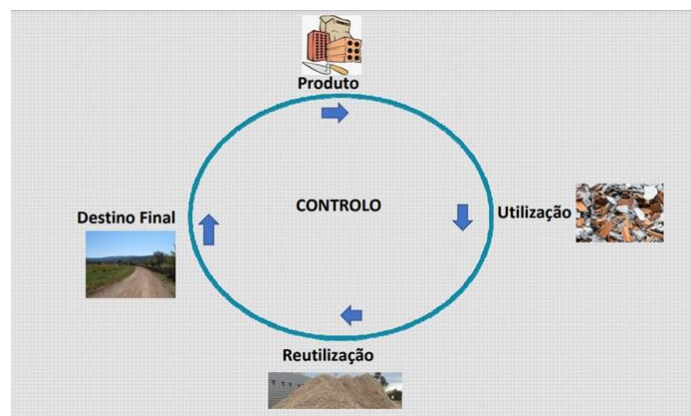


Figura 79 - Ciclo de vida do RCD

Como se pode verificar na figura 79 o ciclo de vida dos produtos como os tijolos de solo-cimento passam por várias fases até à sua utilização. Na fase final após a demolição de um muro como é o caso dos tijolos de solo-cimento, pode-se passar pelo destino final ou então pela sua reutilização, os tijolos de solo-cimento onde está incluído os dregs no seu fabrico, enquadram-se em algumas das soluções descritas para a reutilização, assim como algumas das orientações das várias especificações do LNEC, as quais são enumeradas seguidamente.

Especificações do LNEC, referentes a RCD's:

- **Especificação LNEC E 485** – *Guia para a utilização de materiais provenientes de resíduos de construção e demolição em preenchimento de valas;*
- **Especificação LNEC E 484** – *Guia para a utilização de materiais provenientes de resíduos de construção e demolição em caminhos rurais e florestais;*
- **Especificação LNEC E 483** – *Guia para a utilização de agregados reciclados provenientes de misturas betuminosas recuperadas para camadas não ligadas de pavimentos rodoviários;*
- **Especificação LNEC E 474 – 2009** - *Guia para a utilização de materiais reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição em aterro e camada de leito de infraestruturas de transporte;*
- **Especificação LNEC E 473 – 2009** - *Guia para a utilização de agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos;*
- **Especificação LNEC E 472 – 2009** - *Guia para reciclagem de misturas betuminosas a quente em central;*
- **Especificação LNEC E 471 – 2009** - *Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos;*

5.3. Comparação entre tijolos cerâmicos e tijolos de solo-cimento

Os tijolos cerâmicos são utilizados como material de construção nas mais diversas tipologias de construção. A alvenaria feita com tijolo cerâmico (figura 80) constitui o método de produção mais antigo e mais utilizado. Os tijolos cerâmicos constituem peças produzidas com a matéria-prima argila e apresentam coloração avermelhada.



Figura 80 - Parede de tijolo cerâmico [30]

Já o tijolo de solo-cimento consiste na mistura de solo, cimento e água, compactados em forma de tijolos, um sistema de construção que pode minimizar danos ambientais e, também pode levar a uma construção mais económica (figura 81).

Algumas das vantagens que o sistema construtivo em tijolo de solo-cimento apresenta em comparação com o método tradicional de construções (que utiliza o tijolo cerâmico) é o facto do tijolo solo-cimento não usar o barro vermelho (matéria-prima tradicional dos tijolos convencionais), evita a degradação do meio ambiente causada pela sua extração e o seu processo de produção não necessita de fornos (figura 82), o que gera uma grande economia energética e evita que muitas florestas sejam destruídas para a obtenção da lenha.



Figura 81 - Parede de tijolo de solo-cimento



Figura 82 - Fornos de tijolos na Índia [38]

6. Conclusões e desenvolvimentos futuros

6.1. Conclusões

A presente dissertação teve como principal objetivo estudar um material proveniente da indústria da celulose e incorporá-lo na concepção de tijolos de solo-cimento.

Numa parte inicial utilizou-se metodologias experimentais para a caracterização de uma amostragem de dregs. Procedeu-se a duas análises, a análise referente às propriedades geométricas e a análise referente às propriedades físicas.

O presente estudo permitiu concluir que o resíduo dregs é sem dúvida um material denso, pois tem uma densidade equivalente a um mineral de quartzo, demonstrando a impossibilidade de reduzir significativamente o volume em aterro, pois ao fim de 6 meses em laboratório ainda continham um teor de humidade a rondar os 60 %. A sua distribuição granulométrica mostra um material constituído maioritariamente por partículas de dimensão inferior a 0,063mm, o que se considera um Filler e enquadra-se nos Silte e Argila (finos), logo um material muito fino.

Assim partiu-se para a ideia inicial da utilização de um tijolo de solo-cimento com adição de dregs, ideia que pode contribuir de forma significativa para a construção civil, apresentando um sistema ecologicamente correto no seu processo de fabricação, uma vez que o material não passa pelo processo de queima, possibilitando a redução de diversos impactos ambientais e eliminando assim o corte de árvores e emissão de monóxido de carbono na atmosfera.

Dentro desse esforço, a presente dissertação teve como objetivo analisar os resultados de uma possível integração dos dregs na construção civil, através da incorporação deste material em tijolos fabricados por uma mistura de solo-cimento, onde uma parte do trabalho experimental e métodos de ensaio consistiu na caracterização da resistência à compressão de uma amostra de referência sem adição de dregs e duas amostras com adição de 15% e 30% de dregs.

A análise dos resultados obtidos mostrou que as misturas em que há uma substituição do agregado natural pelos dregs, teve uma perda de resistência à compressão muito significativa, quando comparado com a mistura de referência.

Todavia, uma vez que em Portugal ainda não existe regulamentação específica referente a tijolos de solo-cimento, seguiu-se a norma brasileira NBR 10834/1993 [31] que fixa as condições exigíveis para blocos vazados de solo-cimento comuns, destinados à execução de alvenaria sem função estrutural.

Os resultados que se chegou para a resistência à compressão e absorção de água estão dentro dos valores limites aos 28 dias de idade referidos na norma brasileira.

Assim, a incorporação dos resíduos da celulose como substituição do agregado natural em tijolos de solo-cimento pode tornar-se uma solução interessante quer do ponto de vista ambiental, pela não utilização de aterros e redução do uso de recursos naturais, quer do ponto de vista económico, pela redução dos custos globais com matérias-primas e custos de transporte e de deposição em aterro.

Considera-se ainda que o tijolo de solo-cimento mostra ser um tijolo ecológico, sendo um produto que se enquadra dentro do plano do desenvolvimento sustentável, que incentiva a utilização de novas técnicas e alternativas para substituir produtos e processos que agridem o meio ambiente.

Contribui ainda para o aumento da melhoria da imagem da Indústria do papel, que contribui para uma Construção Sustentável baseada no desenvolvimento de modelos que permitam à indústria da construção enfrentar e propor soluções para resolver os principais problemas ambientais da atual época e mostrar novos produtos que se baseiam em resíduos industriais tornando o mundo mais ecológico.

6.2. Desenvolvimentos futuros

A presente dissertação permitiu avaliar distintos parâmetros em tijolos de solo-cimento com a adição de dregs, contribuindo assim para o aumento do conhecimento nesta área de investigação, mas com o dever de pensar sempre um pouco mais à frente, considera-se importante o desenvolvimento futuro dos seguintes aspetos:

- ✓ Caraterizar os mesmos tijolos com geometrias diferentes;
- ✓ Fabricar tijolos com a adição de dregs, com o mesmo ligante, mas com agregados naturais diferentes.
- ✓ Fabricar tijolos com a adição de dregs, com o mesmo agregado natural, mas com quantidades menores de ligante (cimento).
- ✓ Fabricar tijolos com a adição de dregs, através do método de fabrico mais aproximado do tijolos solo-cimento utilizados tais, como prensas hidráulicas.
- ✓ Fabricar tijolos com a adição de dregs, utilizando ligantes alternativos ao cimento Portland.
- ✓ Continuar a melhorar o conhecimento do produto com, o estudo da eflorescência, a caraterização da reação ao fogo, a durabilidade, entre outros.

Futuros trabalhos poderiam conceber legislação comunitária própria para os tijolos de solo-cimento, o que pode ser baseada na legislação brasileira, mas adaptada a Portugal.

Referências Bibliográficas

- [1] D. V. S. Matias, “Análise do potencial de valorização dos resíduos de Licor Verde da Industria de Pasta de Papel,” Coimbra, 2012.
- [2] ALTRI, “<http://www.altri.pt/>,” ALTRI, [Online]. Available: <http://www.altri.pt/>. [Acedido em 06 julho 2021].
- [3] S. d. J. F. Pinto, “Valorização de resíduos da indústria da celulose na produção de agregados leves,” Universidade de Aveiro, Algarve, 2005.
- [4] Celbi, “[Celbi.pt](http://www.celbi.pt/),” Altri, [Online]. Available: <http://www.celbi.pt/pt/producao/32/>. [Acedido em 07 julho 2021].
- [5] CELPA, “Boletim Estatístico de 2016,” CELPA - Associação da Indústria Papeleira, 2016.
- [6] C. d. U. Europeia, “Regulamento (UE) n.º 1357/2014 da Comissão de 18 de dezembro de 2014,” *Jornal Oficial da União Europeia*, p. 8, 2014.
- [7] C. B. d. S. P. R. E. M. L. C. e. D. A. Henrique Cesar Almeida, “Composição Química de um Resíduo Alcalino da Indústria de Papel e Celulose (dregs),” Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages - Brasil, 2007.
- [8] A. P. Ribeiro, “Avaliação do Uso de Resíduos Sólidos Inorgânicos da Produção de Celulose em Materiais Cerâmicos,” Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- [9] IPQ, “Ensaio das Propriedades mecânicas e físicas dos agregados - Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água NP EN 1097-6,” Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2003.
- [10] M. I. E. Saraiva, “Controlo de Qualidade: Agregados e Obra Rodoviária,” Universidade de Aveiro, Aveiro, 2009.
- [11] LNEC, “Solos - Ensaio de Compactação, Especificação LNEC E-197,” Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1966.
- [12] IPQ, “Ensaio das Propriedades geométricas dos agregados - Parte 1: Análise granulométrica - Método de Peneiração NP EN 933-1,” Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2000.
- [13] IPQ, “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados - Parte 9: Determinação do teor de finos - Ensaio do azul de metileno. NP EN 933-9,” Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2002.

- [14] USP, “Disciplinas da USP,” Universidade de São Paulo, [Online]. Available: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2749790>. [Acedido em 03 julho 2021].
- [15] SETRA/LCPC, “Réalisation des remblais et des couches de forme - Fascicule 1 et 2,” LCPC, França, 1992.
- [16] CIMPOR, “cimpор-portugal.pt,” 2021. [Online]. Available: <https://www.cimpор.com/-/cem-ii-b-l-32-5-n>. [Acedido em 09 julho 2021].
- [17] B. d. E. Civil, “Construção Civil,” [Online]. Available: <http://construcaociviltips.blogspot.pt/2012/04/concreto-preparado-em-betoneira.html>. [Acedido em 25 fevereiro 2022].
- [18] J. S. Coutinho, “NP EN 12350 - Ensaio do betão fresco,” Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia, Porto, 2003.
- [19] J. P. F. C. Lavado, “Comportamento no Estado Fresco de Betões Produzidos com Agregados Reciclados Grossos de Betão,” Técnico, Lisboa, 2017.
- [20] IPQ, “Betão - Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade. - NP EN 206-1,” Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2007.
- [21] A. d. S. Coutinho, “Fabrico e propriedades do betão,” Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1988.
- [22] IPQ, “Ensaio de Betão Endurecido - Parte 1: Forma, dimensões e outros requisitos para o ensaio de provetes e para os moldes,” Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2000.
- [23] IPQ, “Ensaio do betão endurecido - Parte 3: Resistência À compressão de provetes. NP EN 12390-3,” Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2009.
- [24] E. 2. EC2, “Eurocódigo 2 - Projecto de estruturas de betão - Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios,” Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2010.
- [25] C. V. d. G. S.A., “Cerâmica - Vale da Gândara,” [Online]. Available: <https://www.valegandara.com/detalheproduto?idproduto=38&idcategoria=7>. [Acedido em 31 outubro 2021].
- [26] LNEC, “E 394-1993 - Determinação da Absorção de Água por Imersão,” LNEC, Lisboa, 1993.
- [27] C. A. d. C. Mendes, “Análise Comparativa de argamassas de cal,” Instituto Politécnico de Tomar, Tomar, 2017.

- [28] ABNT, “Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural - Determinação da resistência à compressão e da absorção de água NBR 10836,” Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1993.
- [29] A. P. L. Bezerra, “Ensaio de eflorescência baseado na norma da ASTM C 67-92a,” Paraíba, 2012.
- [30] C. V. d. G. S.A., “Manual de Aplicação de tijolos de face à vista,” Dalldesign, Ld, Viseu, 2012.
- [31] ABNT, “Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural - NBR 10834,” Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1994.
- [32] C. M. Miranda, “Estudo de Tijolos de Solo-Cimento com substituição do solo por resíduos da construção civil na sua composição,” Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019.
- [33] W. F. Junior, “Avaliação das propriedades tecnológicas de tijolo ecológico modular de solo-cimento com incorporação de resíduo da fabricação de papel,” Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2017.
- [34] Archiproducts, “Archiproducts.com,” Archiproducts, 2022. [Online]. Available: https://www.archiproducts.com/pt/produtos/tegolaia/borda-para-canteiros-c8_172775. [Acedido em 09 fevereiro 2022].
- [35] R. P. -. Ambiente, “eco.nomia,” Republica Portuguesa - Ambiente, 2022. [Online]. Available: <https://eco.nomia.pt/>. [Acedido em 06 02 2022].
- [36] A. -. A. N. d. I. Cerâmica, “anicerpro,” Anicer - Associação Nacional da Indústria Cerâmica, 2019. [Online]. Available: <https://anicerpro.com.br/acv-da-ceramica-vermelha/>. [Acedido em 06 fevereiro 2022].
- [37] A. P. d. A. APA, “COMO ATINGIR A META DE 70% DE VALORIZAÇÃO DE RCD EM 2020?”.
- [38] G. Images, “iStock,” Getty Images, 2022. [Online]. Available: <https://www.istockphoto.com/br/foto/fornos-de-tijolos-da-%C3%ADndia-gm478298287-26759129>. [Acedido em 06 fevereiro 2022].

Anexos

1. Ficha Técnica do Cimento CEM II B-L 32,5N
2. Massa volúmica - método picnómetro (Areia Grosseira)
3. Análise granulométrica (Areia Grosseira)
4. Ficha Técnica do Tijolo maciço cerâmico
5. Ficha Técnica do Tijolo Acustiargila Vermelho

ANEXO

1

Cimento Portland de Calcário

CEM II/B-L 32,5 N



EN 197-1 0856

▶ Constituintes

- 65% ≤ Clínter ≤ 79%
- 21% ≤ Calcário ≤ 35%
- Sulfato de cálcio regulador de presa



▶ Características

▶ Químicas

- Sulfatos (SO_3) ≤ 3,5%
- Cloretos (Cl) ≤ 0,10%

▶ Físicas

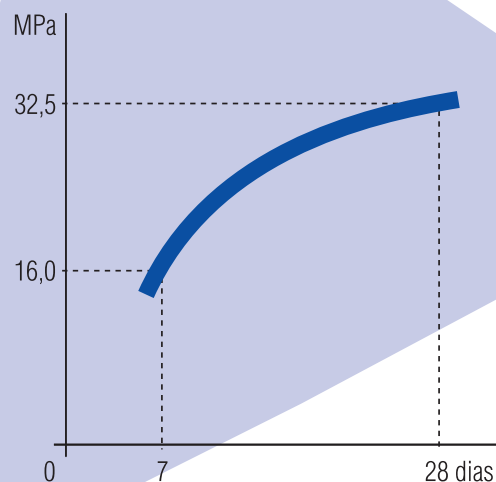
- Início de presa (min) ≥ 75
- Expansibilidade (mm) ≤ 10

▶ Mecânicas

- Resistência à compressão
- Valores mínimos
- 7 dias: 16,0 MPa
- 28 dias: 32,5 MPa

Resistência mecânica à compressão

Curva de crescimento mínimo



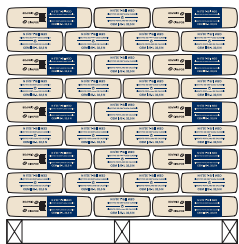
▶ Propriedades especiais do betão fabricado com este cimento

- ▶ Desenvolvimento lento das resistências iniciais
- ▶ Progressão gradual das resistências até 28 dias
- ▶ Elevada trabalhabilidade em argamassas e em betões mesmo com baixa relação água/cimento

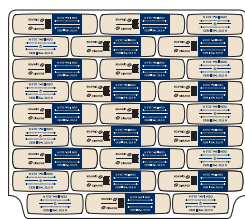
▶ Utilizações recomendadas

- ▶ **Betão armado**
Indicado principalmente para as classes de resistência C12/15 a C25/30
- ▶ **Pré-fabricação**
Elementos estruturais em betão armado sem exigências mecânicas significativas
Artefactos e outros elementos em betão simples
- ▶ **Betonagem de grandes massas**
- ▶ **Betão simples de uso geral em fundações e elevações**
- ▶ **Argamassas de todos os tipos**
- ▶ **Solo cimento**

▶ Acondicionamento



Paleta plástica – Tara perdida
72 Sacos de 25 kg – 1800 kg



Pacotão
71 Sacos de 25 kg – 1775 kg

Camião de 25 toneladas com meios de descarga próprios devidamente selado



Granel
25 toneladas

▶ Precauções na aplicação

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

▶ Contraindicações

- ▶ Betonagem sob temperaturas baixas

▶ Ambiente e Segurança

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



SERVIÇO COMERCIAL
Avenida José Malhoa, nº 22 (pisos 6 a 11) - 1099-020 Lisboa
Tel.: (+351) 21 311 81 00 - Fax: (+351) 21 311 82 21

SERVIÇO TÉCNICO-COMERCIAL
Avenida José Malhoa, nº 22 (pisos 6 a 11) - 1099-020 Lisboa
Tel.: (+351) 21 311 81 00 - Fax: (+351) 21 311 82 21

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

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

ANEXO

2



RELATÓRIO DE ENSAIO

MASSA VOLÚMICA E ABSORÇÃO DA ÁGUA MÉTODO DO PICNÓMETRO Partículas de dimensão entre 0,063mm e 4mm	NP EN 1097-6
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------

Identificação da Amostra: Areia grosseira (AG) D = 4mm	Data: 15 maio 2021
---------------------------------------------------------------	---------------------------

Temperatura da água M2	15,8 °C	Temperatura da água M3	15,7 °C	Diferença < 2°C
-------------------------------	---------	-------------------------------	---------	-----------------

		Ensaio nº	1	2	3
Massa do agregado saturado com superfície seca ao ar [g]	M1		1326		
Massa aparente do picnómetro contendo o provete de agregado saturado imerso em água [g]	M2		1911		
Massa aparente do picnómetro vazio imerso em água [g]	M3		1247		
Massa do provete seco em estufa [g]	M4		1066		
Massa volúmica da água à temperatura do ensaio [Mg/m³]=[ton/ m³]	pw		0,9989		
Massa volúmica do material impermeável das partículas [g/cm³]=[ton/ m³]	$\rho_a = \frac{(M4 - M2 - M3)}{M4 - M2 - M3} / \rho_w$		2,6488		
Massa volúmica das partículas secas em estufa [g/cm³]	$\rho_{rd} = \frac{(M1 - M2 - M3)}{M1 - M2 - M3} / \rho_w$		1,6085		
Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca [g/cm³]	$\rho_{ssd} = \frac{(M1 - M2 - M3)}{M1 - M2 - M3} / \rho_w$		2,0008		
Absorção da água [%]	$WA_{24} = \frac{100 * (M1 - M4)}{M4}$		24,390		

Massa volúmica do material impermeável das partículas =	2,65	g/cm³
Massa volúmica das partículas secas em estufa =	1,61	g/cm³
Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca =	2,00	g/cm³
Absorção da água =	24,39	%

Observações:

Executou: Data:	Verificou: Data:
--------------------	---------------------

ANEXO

3



RELATÓRIO DE ENSAIO

Análise Granulométrica - Método da Peneiração	NP EN 933-1
------------------------------------------------------	--------------------

Identificação da Amostra: areia grosseira	Data: 15 maio 2021
Procedimento usado: lavagem e peneiração / peneiração a seco (riscar o que não interessa)	

Massa Seca Total [g] M1 = 1076 g
 Massa Seca após lavagem [g] M2 =
 Massa seca dos finos removidos por lavagem: M1-M2 =

Abertura do peneiro [mm]	Material Retido			Material Passado
	Massa Ri [g]	% $\frac{Ri}{M1} * 100$	% Acumulada $\sum \frac{Ri}{M1} * 100$	% Acumulada $1 - \sum \frac{Ri}{M1} * 100$
125				
63				
31,5				
16				
8	0	0	0	100
4	32	2,97	2,97	97,03
2	453	42,10	45,07	54,93
1	445	41,36	86,43	13,57
0,5	127	11,80	98,23	1,77
0,25	18	1,67	99,91	0,09
0,125	1	0,09	100	0
0,063	0	0	100	0
Material restante no fundo P=	0	0	100	0



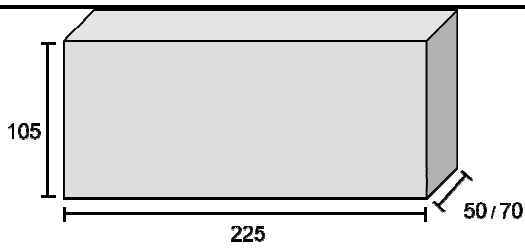
No caso do procedimento usado ser lavagem e peneiração

$\% \text{ de finos (f) que passa o peneiro de } 63\mu\text{m} = \frac{(M1 - M2) + P}{M1} * 100 =$	
$\sum Ri + P =$	Observação:
$\frac{M2 - (\sum Ri + P)}{M2} * 100 =$	
$< 1\%$	

Executou: Data:	Verificou: Data:
--------------------	---------------------

ANEXO

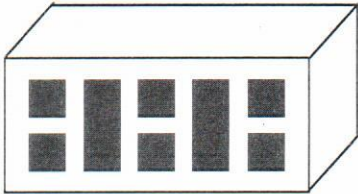
4

			
Tijolo cerâmico U para utilização em alvenaria não protegida, categoria I.		Fabricante: Cerâmica Vale da Gândara, S.A. Rua S. João, 106 3450-954 Mortágua Portugal	
Documento de declaração de desempenho Nº: 02CVG121119			
Designação Comercial: Tijolo Maciço Vermelho Vulcânico;			
NP EN 771-1:2011+A1:2016			
Configuração:			
Dimensões (comprimento x largura x altura)		225x105x50 mm 225x105x70 mm	
Tolerâncias dimensionais	Valor médio	T2	
	Amplitude	R2	
Espessura dos septos	Parede exterior	Não aplicável	
	Parede exterior não vista	Não aplicável	
	Parede interior	Não aplicável	
Paralelismo plano das faces dos leitos		Não aplicável	
Planeza das faces dos leitos	$l \geq 300\text{mm}$	Não aplicável	
	$300 \geq l \geq 250\text{mm}$	$\leq 3,0\text{ mm}$	
	$l \leq 250\text{mm}$	$\leq 2,0\text{ mm}$	
Volume de todos os vazios moldados		$\leq 25\%$	
Massa volúmica / Tolerância	Aparente seca	1900 Kg/m ³	D1
	Absoluta seca	2000 Kg/m ³	
Resistência a compressão		$\geq 40\text{ N/mm}^2$	
Absorção de água		$\leq 8\%$	
Taxa inicial de absorção de água		$\leq 0,9\text{ Kg/(m}^2\cdot\text{min)}$	
Durabilidade		F2	
Expansão com a humidade		$\leq 0,20\text{ mm/m}$	
Teor de sais solúveis ativos		S2	
Eflorescências		Sem eflorescências	
Reação ao fogo		A1	
Propriedades térmicas - condutividade λ		0,69 W/mK	
Permeabilidade ao vapor de água		50/100	
Aderência		$\geq 0,30\text{ N/mm}^2$	

ANEXO

5



Tijolo cerâmico P para utilização em alvenaria protegida, categoria I.		Fabricante: Cerâmica Vale da Gândara, S.A. Rua S. João, 106 3450-954 Mortágua Portugal	
Documento de declaração de desempenho Nº: 01CVG100420			
Designação Comercial: Acustiargila Vermelho			
NP EN 771-1:2011+A1:2016			
Configuração:			
Dimensões (comprimento x largura x altura)		245x122x71 mm	
Tolerâncias dimensionais	Valor médio	T1	
	Amplitude	R1	
Espessura dos septos	Parede exterior não vista	≥ 10,0 mm	
	Parede interior	≥ 10,0 mm	
Paralelismo plano das faces dos leitos		Não aplicável	
Planeza das faces dos leitos	l ≥ 300mm	Não aplicável	
	300 ≥ l ≥ 250mm	Não aplicável	
	l ≤ 250mm	Não aplicável	
Volume de todos os vazios moldados		≤ 40%	
Volume do maior de todos os vazios moldados		≤ 12,5 %	
Espessura combinada dos septos		≥ 20%	
Massa volúmica / Tolerância	Aparente seca	1200 Kg/m ³	D1
	Absoluta seca	2000 Kg/m ³	
Resistência a compressão		≥12,0 N/mm ²	
Absorção de água		≤ 12%	
Taxa inicial de absorção de água		≤ 1 Kg/(m ² .min)	
Durabilidade		F0	
Expansão com a humidade		Não aplicável	
Teor de sais solúveis ativos		S2	
Eflorescências		Não	
Reação ao fogo		A1	
Propriedades térmicas - condutividade λ		0,36 W/mK	
Permeabilidade ao vapor de água		50/100	
Aderência		≥ 0,30 N/mm ²	