



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Roberto Gonzaga Fernandes Machado

Incorporação de
Lamas de Pedreira em Argamassas



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Roberto Gonzaga Fernandes Machado

Incorporação de
Lamas de Pedreira em Argamassas

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Aires F. Camões de Azevedo

e co-orientação do
Professor Jorge Manuel Gonçalves Branco

Outubro de 2012

DECLARAÇÃO

Nome: _____

Correio electrónico: _____

Tel./Tlm.: _____ Número do Bilhete de Identidade: _____

Título da dissertação/tese _____

_____ Ano de conclusão: _____

Orientador(es): _____

Designação do Mestrado:

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em

Área de Especialização: _____

Escola/Instituto: _____

Departamento: _____

1. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE/TRABALHO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

2. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA TESE/TRABALHO (indicar, caso tal seja necessário, nº máximo de páginas, ilustrações, gráficos, etc.), APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, , MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

3. DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO

Guimarães, ___/___/_____

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação, representa, mais um ponto importante no meu percurso académico. De um modo ou outro, várias pessoas, intervieram na sua concretização e desde já manifesto o meu sincero agradecimento.

Ao Professor Aires Camões e ao Professor Jorge Branco, respetivamente orientador e coorientador desta dissertação, o meu profundo agradecimento pela paciência, orientação, transmissão de conhecimentos e auxílio na abordagem do tema proposto desde da sua proposta até a sua conclusão.

À empresa Flaviarte, que propôs este tema e possibilitou a sua realização, disponibilizando o material necessário.

Aos técnicos do LMC de Engenharia Civil da Universidade do Minho, que de uma forma sempre pronta ajudar, contribuíram para a realização dos ensaios necessários para a concretização da dissertação.

À minha família, que sempre me acompanhou e que se esforçaram para me proporcionar tudo o que tenho e careci para chegar ao fim desta etapa. O meu muito obrigado e espero um dia conseguir recompensa-los. Um carinho especial à minha Mãe, que sempre esteve ao meu lado e me apoiou nos momentos bons e nos menos bons.

Aos meus amigos, que me ajudaram, aconselharam e me deram apoio ao longo da realização deste trabalho. Agradeço também, pelos momentos em conjunto que me proporcionaram ao longo da minha vida académica, tornando-a assim numa experiência que nunca irei esquecer. Um abraço especial para: Priscila Henriques, Filipe Afonso, Ângelo Pereira, João Soares, Cristiana Azevedo, Catarina Martins e Susana Pinheiro.

RESUMO

A extração e transformação da pedra natural são duas atividades de uma indústria que está presente em todo mundo, devido, principalmente à sua importância para a construção civil. Estas atividades, estão relacionadas à geração de grandes quantidades de resíduo, que por sua vez ficam armazenados a céu aberto e sem uma aplicabilidade definida.

De modo a combater o seu amontoar, existe cada vez mais, um investimento no sentido de melhorar e encontrar soluções para dar vazão a este resíduo, visto a sua presença ser um incômodo para o ser humano e para o próprio planeta.

Assim, na eventualidade de encontrar uma solução, este projeto recai, sobre o estudo da possibilidade da incorporação desses mesmos resíduos, mais precisamente as Lamas, na composição de argamassas.

Para a realização deste estudo, foi criado um programa experimental, que permitiu avaliar as características inicialmente propostas. Realizaram-se três tipos diferentes de amassaduras, nas quais a percentagem e o estado de aplicação da Lama na argamassa foi mudando, desde conforme recebida (húmida), passando pelo estado seco e terminando no estado cozido.

No fim da concretização deste estudo, foi possível realizar uma comparação entre as várias amassaduras realizadas com incorporação de Lama, bem como a comparação com a argamassa Padrão, que serviu como referência para a realização da parte experimental.

Assim foi possível demonstrar, que num estado alterado, este tipo de Lama pode vir a ser adotado como um material de construção, podendo ser economicamente viável, para além de ter um impacto ambiental positivo e proporcionar a diminuição de utilização de recursos naturais. A sua incorporação nas argamassas, dependendo da percentagem e do estado em que foi aplicado, pode ser positiva e permitir a essa argamassa atingir valores muito próximos dos de referência, o que permite a sua aplicação.

Palavras-chave: Resíduos pedra natural; Pedreiras; Lamas; Argamassas.

ABSTRACT

The extraction and processing of natural stone are two activities of an industry that is present throughout the world, mainly due to its importance for the construction industry. These activities are related to the generation of large amounts of waste, which in turn are stored in the open and without a defined applicability.

In order to tackle there pile, there is increasingly an investment to improve and find solutions to give output to this residue, since their presence is a discomfort for humans and the planet itself.

So in the event of a solution, this project rests on the study of the possibility of incorporating such waste, slurry more precisely, in the composition of mortars.

For this study, an experimental program was created, which allowed evaluating the characteristics originally proposed. There were three types of dents in which the percentage and state of applying the mortar mud has changed since as received (wet) passing through the dry state and ending in the cooked state.

At the end of achieving this study it was possible to make a comparison between various dents made incorporating mud, as well as comparison with standard mortar, which served as reference for carrying out the experimental part.

Thereby it was possible to demonstrate that an altered state, this type of mud might be adopted as a material of construction and may be economically feasible, in addition to having a positive environmental impact and to the decrease of utilization of natural resources. Its incorporation into the mortar depending on the percentage and the state in which it is applied, can be positive and allow the mortar to reach values close to those of reference, which allows their application.

Keywords: Natural stone waste; stone quarries; slurry; mortar

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE QUADROS	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Estrutura da dissertação	2
2 PEDRA NATURAL	3
2.1 Introdução	3
2.2 Rochas Industriais	8
2.2.1 Introdução	8
2.2.2 Pedra Britada	9
3 PEDREIRAS	11
3.1 Introdução	11
3.2 Distribuição geográfica das pedreiras	12
3.3 Legislação das Pedreiras	12
3.4 Extração e transformação de rochas industriais	15
3.4.1 Extração	16
3.4.2 Transformação	17
4 LAMAS DE PEDREIRA	21
4.1 Introdução	21

4.2	Lamas resultantes dos processos de Extração e Transformação	22
4.2.1	Obtenção geral das Lamas	22
4.2.2	Análise geral das Lamas	25
4.2.3	Tratamento de Lamas.....	27
4.2.4	Destino e armazenamento de Lamas.....	29
4.2.5	Propostas de reutilização e reciclagem das Lamas	30
5	PROGRAMA EXPERIMENTAL	37
5.1	Introdução.....	37
5.2	Caracterização dos materiais constituintes.....	37
5.2.1	Areia (Areia fluvial).....	37
5.2.2	Cimento Portland	40
5.2.3	Super Plastificante (SP)	42
5.2.4	Lamas (Resíduo)	43
5.3	Equipamentos utilizados nas Amassaduras.....	46
5.4	Produção dos provetes.....	47
5.4.1	Introdução	47
5.4.2	Moldagem, Desmoldagem e a Cura dos Provetes	48
5.4.3	Procedimento das várias amassaduras.	49
5.5	Caracterização das argamassas.....	54
5.5.1	Estado Fresco	54
5.5.2	Estado Endurecido	55
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS	63
6.1	Análise das argamassas no estado fresco	63
6.1.1	Espalhamento.....	63
6.2	Análise das argamassas no estado endurecido	64
6.2.1	Resistência à flexão.....	64
6.2.2	Resistência à compressão.....	67

6.2.3	Determinação da absorção de água por capilaridade.....	70
6.2.4	Determinação da absorção de água por imersão.....	74
7	CONCLUSÕES	77
8	CONTRIBUIÇÃO PARA FUTUROS ESTUDOS	79
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
10	ANEXOS	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Rochas ornamentais	5
Figura 2 - Rochas industriais	5
Figura 3 - Jazidas de minerais, rochas industriais e ornamentais (Martins, 2012)	7
Figura 4 - Distribuição da produção de “Saibro, areia e pedra britada” (INETI, 2001)	10
Figura 5 - Principais centros de produção de “Saibro, areia e pedra britada”	10
Figura 6 - a) Pedreira rocha ornamental b) Pedreira rocha industrial	11
Figura 7 - Desmonte, carga e transporte da rocha extraída	16
Figura 8 - a) Pedreira Móvel; b) Pedreira Fixa	17
Figura 9 - a) Britadores cónicos - b) Britadores de maxilas	18
Figura 10 - Esquema de transformação de rocha industrial (INETI, 2001)	19
Figura 11 - Extração de blocos de rocha	22
Figura 12 – a) Tear de fios diamantados b) Tear de lâminas metálicas	23
Figura 13 - Processos de lavagem de areia	24
Figura 14 - Lamas por subsector (R.O.- Ornamentais; R.I.- Industriais)	24
Figura 15 - Imagens de Lamas depois do processo de transformação	25
Figura 16 - a) Lagoa pertencente a uma pedreira; b) Tanque industrial	27
Figura 17 - Estação tratamento (Fracarolli & Balzan)	28
Figura 18 - a) Cone decantação b) Flocculante	28
Figura 19 - Imagens de escombrelras nas imediações da pedreira da empresa Flaviarte	30
Figura 20 - a) Areia b) Peneiros c) Agitador de peneiros	38
Figura 21 - Gráfico da Análise Granulométrica da Areia	39
Figura 22 - a) Super Plastificante b) Aplicação do SP	42
Figura 23 - Lama conforme recebida (húmida) semi triturada	44
Figura 24 - a) Lama guardada no bidão aberto b) Trituração e esmagamento da Lama	44
Figura 25 - a) Estufa b) Trituração e esmagamento da Lama c) Peneiração d) Lama após passar no peneiro	45
Figura 26 - a) Estufa de cozadura b) e c) Aparência da Lama cozida	46

Figura 27 - a) Misturadora b) Balança c) Molde d) Mesa vibratória e) Utensílios f) Mesa de espalhamento.....	47
Figura 28 - a) Moldes na mesa vibratória b) Moldes a 50% c) Moldes concluídos	48
Figura 29 - a) Camara Húmida b) Desmoldagem c) Molde com provetes, sem provetes e os provetes já desmoldados d) Armazenamento dos provetes em água	49
Figura 30 - a) Areia b) e c) Amassadura	51
Figura 31 - Amassaduras da argamassa com Lama Cozida.....	54
Figura 32 - Fases do ensaio de espalhamento	55
Figura 33 - Ensaio à Flexão.....	56
Figura 34 - Figura da norma da Flexão EN 1015-11 (1999)	57
Figura 35 - Ensaio à Compressão	58
Figura 36 - a) Provetes b) Pintura c) Provetes pintados d) Provetes partidos.....	59
Figura 37 - Imagens do ensaio de Capilaridade	60
Figura 38 - Pesagens do ensaio Absorção por Imersão	61
Figura 39 - Gráfico da resistência à flexão (Padrão/Húmida)	65
Figura 40 - Gráfico da resistência à flexão (Padrão/Seca).....	66
Figura 41 - Gráfico da resistência à flexão (Padrão/Cozida)	67
Figura 42 - Gráfico da resistência à compressão (Padrão/Húmida)	68
Figura 43 - Gráfico da resistência à compressão (Padrão/Seca).....	69
Figura 44 - Gráfico da resistência à compressão (Padrão/Cozida)	70
Figura 45 - Absorção de água por capilaridade (Húmida).....	71
Figura 46 - Gráfico do Coeficiente de Capilaridade (Húmida)	71
Figura 47 - Absorção de água por capilaridade (Seca)	72
Figura 48 - Gráfico do Coeficiente de Capilaridade (Seca).....	72
Figura 49 – Absorção de água por capilaridade (Cozida).....	73
Figura 50 - Gráfico do Coeficiente de Capilaridade (Cozida)	73
Figura 51 - Gráfico da Absorção por Imersão (Húmida).....	74
Figura 52 - Gráfico da Absorção por Imersão (Seca)	75
Figura 53 - Gráfico da Absorção por Imersão (Cozida)	76

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Recursos e principais aplicações	4
Quadro 2 - Industria Extractiva-2009 (Instituto Nacional de Estatística, 2009)	6
Quadro 3 - Tipos de Rochas Industriais.	9
Quadro 4 - Quantidade de rocha industrial processado (1998) (INETI, 2001)	10
Quadro 5 - Distribuição geográfica das pedreiras por distrito (Instituto Geológico e Mineiro, 2002).....	12
Quadro 6 - Resíduos gerados no setor da Pedra Natural (INETI, 2001)	15
Quadro 7- Resíduos sólidos e pastosos gerados anualmente no setor da pedra natural	24
Quadro 8 - Caracterização geral das Lamas de transformação de rochas ornamentais	26
Quadro 9 - Destino de resíduos (Almeida, 2004)	29
Quadro 10 - Propriedades da Areia Natural do Rio	40
Quadro 11 - Caracterização Química do Cimento Portland	41
Quadro 12 - Caracterização Física do Cimento Portland (Almeida, 2004)	41
Quadro 13 - Caracterização Mecânica do Cimento Portland	41
Quadro 14 - Características Técnicas do Super Plastificante (Ficha Técnica-Anexo).....	42
Quadro 15 - Caracterização da argamassa com Lama Padrão.....	51
Quadro 16 - Caracterização da argamassa com Lama Húmida	52
Quadro 17 - Caracterização da argamassa com Lama Seca	53
Quadro 18 - Caracterização da argamassa com Lama Cozida	53
Quadro 19 - Espalhamentos das Argamassas – Super Plastificante	63
Quadro 20 - Resumo das tensões de flexão	64
Quadro 21 - Resumo das tensões de compressão	68
Quadro 22 - Coeficiente de Absorção Capilaridade (Húmida)	71
Quadro 23 - Coeficiente de Absorção Capilaridade (Seca).....	72
Quadro 24 - Coeficiente de Absorção Capilaridade (Cozida)	73

1 INTRODUÇÃO

A extração e transformação da pedra natural são duas atividades de uma indústria que está presente em todo mundo, devido à sua importância para a construção civil e desenvolvimento do mesmo. Acaba por ser uma atividade com muita influência devido ao seu volume de negócio, o que afeta econômica e ambientalmente o planeta. Este recurso geológico é um bem indispensável para o desenvolvimento do país, mas o seu rendimento está ligado à potencialidade e à disponibilidade do recurso (INETI, 2001).

Nas pedreiras, durante o processo de extração e de transformação da pedra natural, há a produção de resíduos, entre os quais as Lamas. Este tipo de resíduo, como todas as substâncias com as mesmas características, necessita de um tratamento próprio, quer para a sua reutilização, quer para o seu armazenamento.

Apesar destas Lamas não estarem classificadas como resíduos perigosos, (Roque, 2003) o seu depósito não deixa de ter impactos, principalmente ambientais. Para exemplo destes impactos podemos citar a contaminação de níveis freáticos, solos, atmosfera e não esquecendo o impacto paisagístico provocado quer pela extração inicial da rocha mãe, quer pela posterior deposição das Lamas nas escombrelas (Soares, 1997).

A principal causa, da realização deste trabalho, advém da necessidade de encontrar soluções para escoar este resíduo. Assim a reciclagem surge como resposta à necessidade da redução e armazenamento deste resíduo (Singh & Vijayalakshim, 2004), estudando-se a possibilidade do seu aproveitamento para a produção de novos produtos, ou a substituição de outros numa composição convencional.

Com a possibilidade de reutilização, pôs-se como objetivo encontrar o melhor estado e percentagem ótima de Lama a incorporar na realização de misturas de matriz cementícia, sendo assim um possível substituto total ou parcial de um agregado inicial. A areia surge como o maior potencial a substituir (Tenorio & Lima, 2004).

A parte laboratorial, permitiu avaliar e caracterizar fisicamente, os materiais e a Lama usados neste estudo. Para tal foram realizadas várias amassaduras, em que a Lama é aplicada em estados (húmida, seca e cozida) e percentagens (10%, 20%, 30% e 50%) diferentes.

Com os ensaios realizados, foi também possível, caracterizar as argamassas nas suas principais propriedades físicas no estado fresco (trabalhabilidade) e no estado endurecido as propriedades mecânicas (resistência a compressão e flexão). Foram também analisadas propriedades relacionadas com a durabilidade.

1.1 Estrutura da dissertação

A dissertação apresentada, está dividida em 9 capítulos e mais uma secção com anexos. De seguida faz-se uma breve descrição do que abordam.

O primeiro e presente capítulo, faz a introdução ao tema desta dissertação.

O segundo capítulo aborda a pedra natural, a qual vai ser extraída e transformada.

O terceiro capítulo por sua vez, refere-se às pedreiras. Estas servem para a extração e transformação da rocha, dando origem à Lama.

O quarto capítulo recai inteiramente sobre as Lamas. Este descreve desde da origem da Lama até a possíveis aplicações, passando pelo seu tratamento e armazenamento.

De seguida, no quinto capítulo, expõe-se o programa experimental. Neste capítulo encontramos toda a informação necessária para a realização deste estudo, como por exemplo a caracterização dos materiais, equipamentos e os procedimentos para a produção dos provetes.

Após o programa experimental efetua-se análise dos resultados obtidos nos ensaio. Esta informação é abordada e esmiuçada no sexto capítulo.

No sétimo capítulo apresentam-se as conclusões do trabalho realizado.

No oitavo capítulo, apresentam-se algumas informações para trabalhos futuros.

Por fim, no nono e último capítulo apresentam-se as referências bibliográficas.

2 PEDRA NATURAL

2.1 Introdução

O planeta Terra é constituído por vários recursos geológicos, entre os quais se pode encontrar a pedra natural. Assim, pode-se afirmar que acaba por ser um recurso de fácil acesso, em que pressupondo a sua existência, com as ferramentas e tecnologia ideais, facilidade de transporte e possibilidade financeira pode-se obter desta mesma pedra matéria-prima.

A mesma matéria-prima será aplicada no processamento de novos produtos para fins comerciais. Estes produtos, por sua vez, terão como principal função servir e assegurar sempre uma melhor comodidade para o Homem no seu dia-a-dia.

Contudo, também existem obstáculos à extração destas riquezas, pois esta atividade de carácter não renovável tem grande impacto ecológico, juntamente com o risco assimilado à concorrência de jazidas com maior quantidade de oferta e com melhor facilidade de operação (Martins, 2012).

Portugal, é um país com uma grande diversidade de explorações de pedra natural, o que se deve a uma grande variedade de formações geológicas existentes.

O recurso geológico de um país é um bem indispensável para o seu desenvolvimento, mas o seu rendimento está ligado à potencialidade e à disponibilidade desses recursos e de serem ou não economicamente fiáveis quanto à sua extracção (INETI, 2001).

Assim, encontram-se no nosso território, vários tipos de explorações de recursos, e variadíssimas aplicações dos mesmos, como se constata no Quadro 1.

Portugal já tem uma vasta experiência relativamente à exploração de recursos geológicos, mais propriamente rocha natural, mas a consciência da existência e a viabilidade económica da exploração de um ou vários recursos, não são necessariamente suficientes para retirar dela um bom aproveitamento e rentabilidade (Nunes, 2010).

Quadro 1- Recursos e principais aplicações (INETI, 2001)

Produtos (minerais)	Utilizações
Minérios (Fe, Cu, W, Au, etc)	Produção de metais
Rochas Ornamentais: Mármore, Calcários, Granitos	Construção, pavimentos e revestimentos, decoração, arte fúnebre
Rochas Industriais: Calcários, Granitos, Basaltos, Areias	Construção Civil, obras públicas, produção de cal, rações para animais
Argilas, Caulinos, Feldspatos	Indústria farmacêutica, indústria cerâmica, vidreira
Margas (calcário)	Indústria do cimento
Carvões, Petróleo, Minérios de urânio	Matérias-primas energéticas
Fluidos naturais quentes Produção comercial de energia.	Produção comercial de energia.
Quartzo (SiO₂)	Indústria vidreira, novas tecnologias

Para ajudar a um melhor aproveitamento, existem normas legislativas que controlam esta atividade para não levar a um descontrolo de produção e qualidade. Estas normas são cada vez mais exigentes e restritivas quanto ao ordenamento do território e ao ambiente, as quais nem sempre estão bem aplicadas no país. (Nunes, 2010)

O território português possui matéria-prima de alta qualidade e em quantidade, tendo ainda a vantagem de possuir rochas exclusivas do nosso território, como por exemplo o mármore cristalino rosa, e acima de tudo um “saber trabalhar” a pedra que nos distingue entre os restantes. (AEP, 2003)

O setor da pedra natural abrange a extração e transformação/processamento da pedra. Esta pedra tem como fins ornamentais Figura 1 e industriais Figura 2, dando assim origem aos subsectores das Rochas Ornamentais e das Rochas Industriais. (INETI, 2001)



Granito

Calcário

Mármore

Figura 1 - Rochas ornamentais



Britas grossas e finas

Rachão

Areões

Figura 2 - Rochas industriais

Relativamente a este dois géneros de rochas, tem-se registado um enorme crescimento de exploração e utilização, a um ritmo bastante acelerado, o que se deve a vários fatores: (Instituto Geológico e Mineiro, 2000)

- Crescimento de concorrência ao nível empresarial no sector;
- Valorização dos produtos obtidos e comercializados;
- Melhorias dos padrões de qualidade;
- Crescente competitividade dos mercados externos.

2009		Portugal			
Produtos Produzidos	Unid.	Quantidades		Valor das Vendas (Euros)	
		Produzidas	Vendidas		
		2008 (Rv)	2009		
Principais Produtos:					
Calcário (b)	kg	31 450 263 121	28 305 236 815	28 305 236 815	109 896 984
Granito	kg	19 245 378 284	17 320 840 460	17 320 840 460	99 887 885
Mármore e calcários (c)	kg	578 161 516	450 965 983	450 965 983	61 882 653
Areia comum	kg	8 864 012 072	7 977 610 866	7 977 610 866	40 491 768
Granito ornamental e rochas similares (c)	kg	876 503 238	753 354 533	753 354 533	35 236 767
Pedra para calcetamento (c)	kg	1 126 531 923	1 120 899 263	1 120 899 263	35 179 732
Areia especial	kg	2 096 099 100	1 886 489 190	1 886 489 190	21 844 135
Calcário e marça para cimento	kg	12 177 116 337	12 196 599 699	12 196 599 699	21 481 350
Pedra rústica (c)	kg	271 255 572	271 798 083	271 798 083	13 643 976
Sal-gema	kg	606 544 839	594 578 299	594 578 299	6 231 884
Ardósia (c)	kg	37 687 405	37 762 780	37 762 780	5 757 301
Calcário para a Indústria Transformadora (d)	kg	1 080 363 087	1 082 091 666	1 082 091 666	5 526 625
Caulino	kg	222 573 880	267 670 102	267 670 102	4 988 070
Calcite para a Indústria Transformadora	kg	353 564 801	354 130 504	354 130 504	4 822 014
Arçila comum	kg	2 452 140 260	2 483 406 752	2 483 406 752	4 546 389
Diorito	kg	875 134 767	787 621 290	787 621 290	4 298 655
Gneiss	kg	691 905 600	622 715 040	622 715 040	4 243 862
Calcário dolomítico	kg	931 750 812	838 575 731	838 575 731	4 101 913
Gesso pardo	kg	418 703 797	419 373 722	419 373 722	4 018 289
Arçila especial	kg	320 253 000	324 336 448	324 336 448	3 574 211
Outros produtos da actividade	x	x	x	x	24 561 220
Total de Produtos Produzidos	x	x	x	x	516 215 684

(a) Não inclui a CAE 08931

(b) Inclui mármore para a Construção Civil

(c) Dados estimados

(d) Inclui calcário para a Indústria Transformadora, Química e Outras Indústrias

Quadro 2 - Indústria Extractiva-2009 (Instituto Nacional de Estatística, 2009)

O sector das pedras naturais é constituído por três grupos de empresas:

- Empresas que se limitam apenas à extração de pedra, em que neste caso abundam as empresas dedicadas às pedras ornamentais;
- Empresas que se dedicam principalmente à transformação onde voltam a estar em destaque as empresas de rochas ornamentais;
- Empresas que englobam as duas fases, a de extração e a de transformação, aqui as empresas predominantes são as de rochas industriais, podendo também existir algumas empresas de rochas ornamentais que adotem esta tipologia de funcionamento. (INETI, 2001)

As empresas transformadoras estão equipadas com material de alta tecnologia no que diz respeito ao tratamento de pedra, produzindo assim material standardizado, o que permite uma grande capacidade de resposta às encomendas. (AEP, 2003)

Na Figura 3, apresenta-se a distribuição no território nacional das principais jazidas de extração de minerais, rochas industriais e ornamentais

Minerais Metálicos e Energéticos

- Estanho e tungstênio
- Carvão
- Cobre, chumbo e zinco
- Ferro e manganês
- Ouro
- Urânio

Minerais e rochas industriais e ornamentais

- ▲ Área comum
- Área especial
- ▲ Argila
- Cárneo
- ▲ Calkário industrial
- Calkário ornamental
- ▲ Diatomito
- Granito e rochas similares
- Mármore
- ▲ Quartzo e feldspato
- ▲ Sal-gema
- Xisto

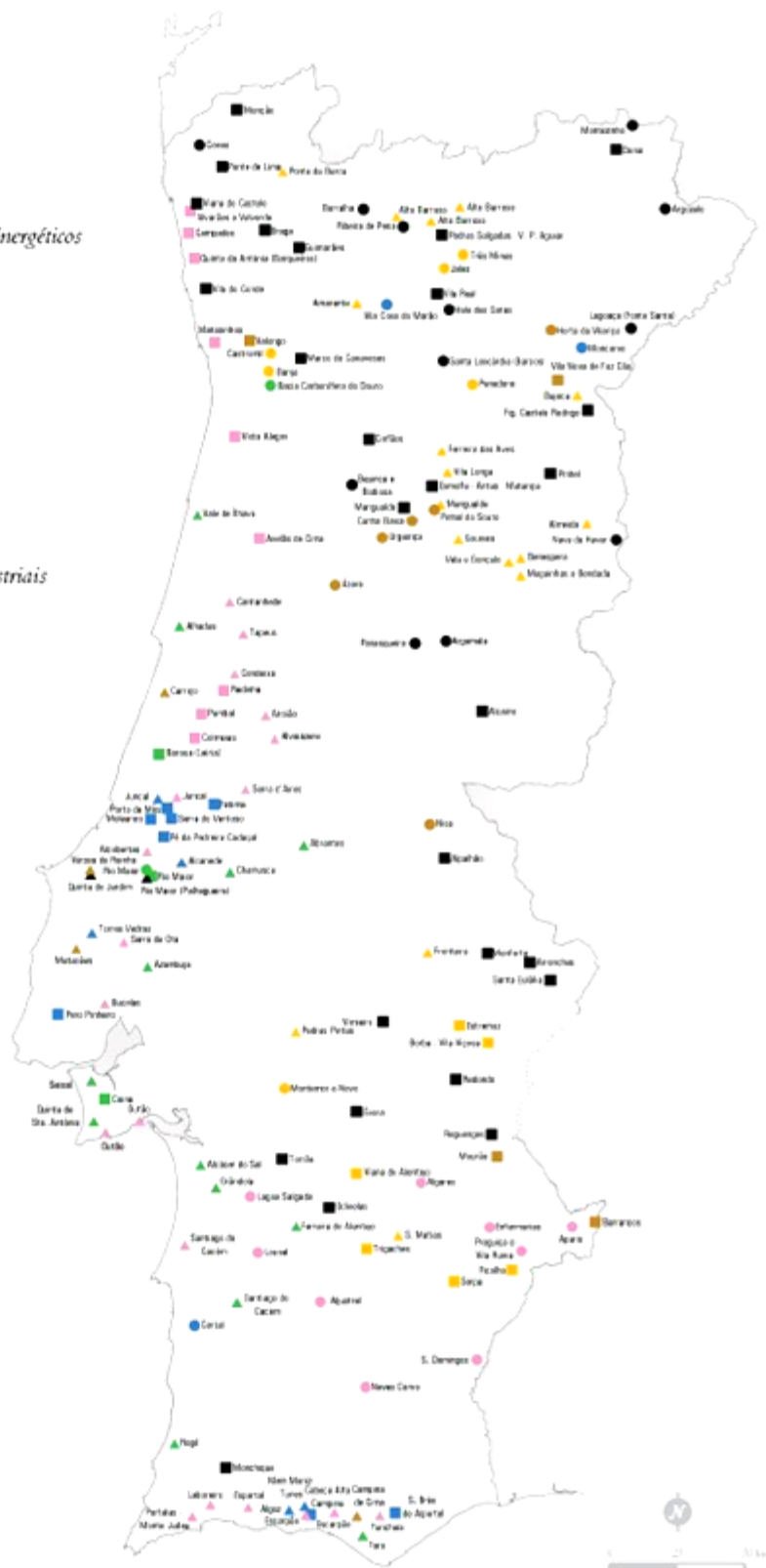


Figura 3 - Jazidas de minerais, rochas industriais e ornamentais (Martins, 2012)

2.2 Rochas Industriais

2.2.1 Introdução

As Rochas Industriais têm maior presença em termos de valor de produção na Região Norte, Lisboa e Vale do Tejo. Têm vindo a ter um crescimento acentuado nos últimos anos, devido ao elevado consumo no ramo da construção civil e obras públicas (Instituto Geológico e Mineiro, 2000).

Este setor pertence ao grupo dos recursos geológicos não metais e está relacionado com o desenvolvimento do país, o que faz com que seja necessário elaborar normas ou políticas para promover e assegurar a sua sustentabilidade futura (Nunes, 2010).

Como referido acima, o crescente uso das rochas industriais na construção e obras públicas fez com que estas fossem para o topo da lista em termos de produção, pois a maior parte das rochas industriais extraídas é consumida pela indústria da construção.

Existem ainda atividades associadas à construção, que funcionam paralelamente, como a indústria do cimento e da cal hidráulico, a indústria do barro vermelho, a indústria do betão e da siderúrgica que tem elevada relevância no consumo das rochas industriais (Almeida, 2004).

No entanto, apesar do grande volume de extração e de transação, pode-se afirmar que este setor não conseguia dar resposta à procura do mercado nacional, o que levou a um acréscimo de importações (ano 2000) no valor de 1.5 milhões de toneladas, o que corresponde a cerca de 56 milhões de euros.

Em Portugal existem três grandes subsectores de Rochas Industriais (Quadro 3):

- Saibro, areia e pedra britada;
- Calcário, gesso e cré;
- Caulino e outras argilas.

Pode-se, também, incluir no setor das rochas industriais, todas as rochas ornamentais que não apresentam as condições ideais para desempenharem o seu papel ornamental. Sendo assim,

são reencaminhadas para produção de britas, para uma futura aplicação na construção de estradas ou diretamente na indústria da construção civil (INETI, 2001).

Quadro 3 - Tipos de Rochas Industriais.

Saibro, areia e pedra britada CAE (Rev.2)- 14.21	Areia comum, areia especial, pedra para calcetamento, pedra-pomes e outros abrasivos, basalto, calcário, calcite, diorito, dolerito, dolomito, calcário dolomítico, gabro, gabro-diorito, granito grauvaque, ofito, pórfiro, quartzito, sienito nefelinito, xisto, xisto ardosífero, saibro, seixo.
Calcário, gesso e cré CAE (Rev.2)- 14.12	Calcário margoso, marga para cimento, cré, calcário para britas, gesso, dolomite e calcário domitílio.
Caulino CAE (Rev.2)- 14.22	Caulino, argila comum, argila especial e outras argilas.

Como se pode observar no Quadro 4, em 1998 foram extraídos em Portugal 90 619 872 toneladas de rocha industrial em que (INETI, 2001):

- 56% foram de rocha tipo calcário, gesso e cré em que se destaca o calcário para britas, calcário margoso e a marga para o cimento;
- 40% correspondem ao tipo saibro, areia e pedra britada em que o maior produto extraído foi o granito;
- Os 4% restantes correspondem ao subsector do caulino e outras argilas, em que as argilas são as mais extraídas e usadas.

As importações e exportações têm um impacto pouco significativo, visto mexerem com um volume de quantidades muito pequeno quando comparado com o volume de extração e de produção (INETI, 2001).

2.2.2 Pedra Britada

A produção de brita de granito, acaba por ser uma das atividades deste subsector com maior relevância e importância, e está principalmente situada na zona Norte do país, mais propriamente nos distritos de Viana do Castelo, Vila Real, Braga, Porto, Viseu e Guarda. No entanto também existem outros focos com relevância para além do Norte como em Aveiro, Castelo Branco e Évora.

Quadro 4 - Quantidade de rocha industrial processado (1998) (INETI, 2001)

Tipo de Rocha	Quantidade (t/ano)		
	Extração	Importação	Exportação
Saibro, areia e pedra britada	36 348 756	797 956	165 336
Calcário, gesso e cré	50 692 313	306 780	12 984
Caulino e outras argilas	3 578 803	154 413	10 102
Total	90 619 872	1 259 144	188 422

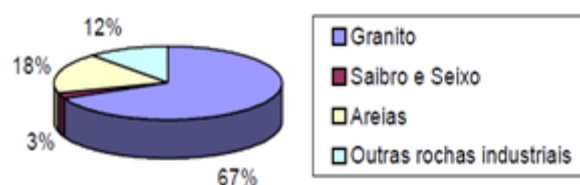


Figura 4 - Distribuição da produção de “Saibro, areia e pedra britada” (INETI, 2001)

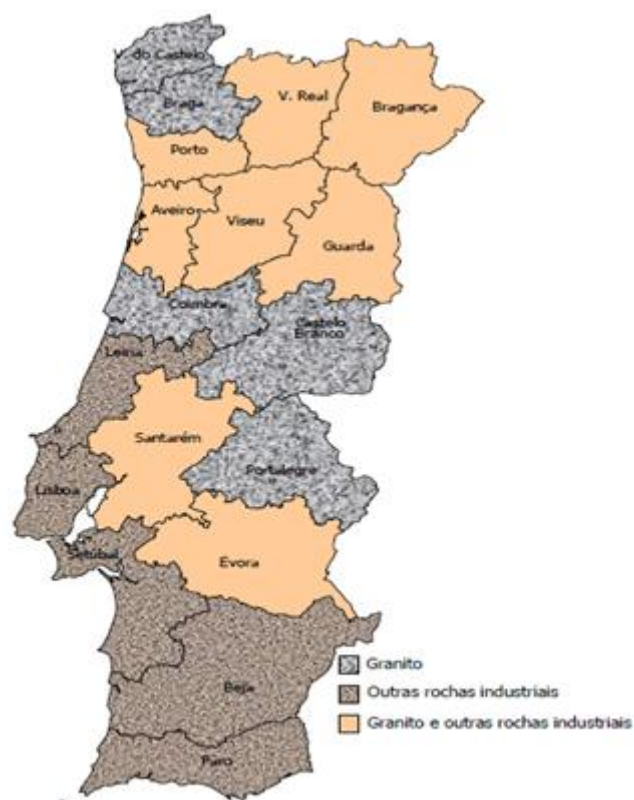


Figura 5 - Principais centros de produção de “Saibro, areia e pedra britada”

3 PEDREIRAS

3.1 Introdução

Neste capítulo, faz-se uma pequena introdução às pedreiras, dando especial foco às pedreiras de rocha industrial (Figura 6b). Como abordado mais a frente existem vários tipos de pedreiras, quer pelo tipo de rocha a extrair, quer pelo método como a rocha é extraída.

Uma pedreira é um tipo de exploração de rocha natural a céu aberto de onde as rochas ou os minerais são extraídos. O serviço prestado pelas pedreiras permite-nos ter acesso a todo tipo de rochas e minerais que se pode usufruir, no caso, na construção.

Estas explorações estão diretamente relacionadas com o aproveitamento de um recurso natural que é escasso e que não é renovável, pelo menos à escala humana, sendo evidente que têm um impacto ambiental, mas podemos dizer que acabam por ser impactos circunscritos ao local de exploração e não global (Inspeção Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2004).



a



b

Figura 6 - a) Pedreira rocha ornamental b) Pedreira rocha industrial

3.2 Distribuição geográfica das pedreiras

Com o objetivo de conhecer o número de pedreiras existentes no território, bem como a sua distribuição geográficas, recorrendo aos dados do Sistema Nacional de Informação Geocientífica (e-Geo) em conjunto com o Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG).

Para obter a informação de quantas entidades exploram pedreiras, pode-se recorrer ao Instituto Nacional de Estatística (INE) através da sua base de dados “Base Belém”, em que é possível ver que de 261 entidades existentes a explorar pedreiras, existem cerca de 14 entidades que se dedicam à extração de saibro, areias e pedra britada.

Como se pode ver no Quadro 5, onde estão representadas todas as pedreiras licenciadas do território continental, distribuídas por distritos por ordem decrescente e com respetivas percentagens no ano de 2002.

Quadro 5 - Distribuição geográfica das pedreiras por distrito (Instituto Geológico e Mineiro, 2002)

Distritos	Nº Pedreiras	%	Distritos	Nº Pedreiras	%
Leiria	629	17,60 %	Viseu	142	3,97 %
Lisboa	454	12,71 %	Vila Real	117	3,27 %
Porto	317	8,87 %	Faro	112	3,13 %
Évora	315	8,82 %	V. do Castelo	96	2,69 %
Santarém	309	8,65 %	Guarda	89	2,49 %
Aveiro	198	5,54 %	Beja	67	1,88 %
Coimbra	194	5,43 %	Portalegre	63	1,76 %
Braga	182	5,09 %	Bragança	56	1,57 %
Setúbal	174	4,87 %	C. Branco	43	1,20 %

3.3 Legislação das Pedreiras

As pedreiras, como qualquer tipo de serviço, têm de ter uma legislação, para quando este produto/serviço for solicitado exista um registo de informação sobre o mesmo, quer para o controle pelas entidades responsáveis por este setor, quer para um cidadão comum (Inspeção Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2004).

No passado, as principais preocupações das autoridades responsáveis por este tipo de atividade, eram mesmo devido às questões de propriedade e acesso aos recursos do subsolo. Hoje em dia, para além destas preocupações e de um aumento da exigência regulamentar das

mesmas, passaram a dar muita relevância e importância às preocupações ambientais (Inspeção Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2004).

Hoje em dia a atividade extrativa depende das:

- Iniciativas dos exploradores das pedreiras;
- Realidades locais;
- Complexidades diretamente relacionadas com a exploração.

O Decreto-Lei nº 90/90, de 16 de Março, define o regime jurídico que abrange todo o tipo de atividades de prospeção, pesquisa e exploração de recursos geológicos ao qual as pedreiras ficam sujeitas no artigo 51º. Em consequência, foi publicado o Decreto-Lei nº 89/90, de 16 de Março, que estabelece o regime jurídico sobre as explorações de massas minerais-pedreiras, passando a ser designado pela “Lei das Pedreiras”. Esta lei tinha como objetivo o aproveitamento das massas minerais, rochas e ocorrências minerais, não classificadas legalmente como jazidas.

A Inspeção-geral do Ambiente e do Ordenamento do Território (IGAOT), tem feito a fiscalização do cumprimento dos requisitos ambientais às empresas que fazem a exploração, particularmente desde 2004, ano em que foi realizada a primeira campanha temática das pedreiras (Inspeção Geral do Ambiente e do ordenamento do Território, 2008).

A lei nº 11/87, de 7 de Abril de 1987, define as bases da política de ambiente, em cumprimento do disposto nos artigos 9º e 66º da Constituição da República.

A paisagem é considerada uma unidade de estética e visual relevante, devendo a administração central, regional e local preocupar-se com a defesa e manutenção. A unidade extrativa está englobada nas atividades consideradas causadoras de impactos ambientais significativos nas paisagens, dependendo da sua localização, dimensão, volume e silhueta (Inspeção Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2004).

Com base nos atos inspetivos, pode-se afirmar que os principais casos de incumprimento neste setor se encontram relacionados com:

- Falta de licença para a atividade de exploração;

- Ausência de comprovativo da existência do Plano de Pedreira aprovado no Decreto-Lei n.º 270/2001, de 6 de Outubro;
- Pedreira sem sinalização obrigatória dos trabalhos;
- Abandono da exploração, sem comunicação à entidade licenciadora;
- Falta de licenciamento por parte das unidades anexa à pedreira, tais como:
 - Unidades de britagem;
 - Classificação;
 - Lavagem e transformação de massas.

As pedreiras necessitam de obter licenciamento junto da Direção Regional de Economia (DRE) ou da Câmara Municipal, de acordo com os critérios estabelecidos no artigo 11º do Decreto-Lei n.º 270/2001, de 6 de Outubro.

A atribuição da licença de exploração é da competência da Câmara Municipal, quando a exploração se efetuar a céu aberto, fora das áreas cativas ou de reserva e não se prevê que ultrapasse nenhum dos seguintes limites:

- 15 Trabalhadores;
- 500 CV de potência total dos meios mecânicos usados;
- 10 Metros de profundidade das escavações.

No caso se,

- a exploração se efetuar a céu aberto, e se prevê que irá ultrapassar qualquer um dos limites mencionados nos 3 pontos anteriores;
- a exploração for subterrânea ou mista;
- a exploração se situar dentro das áreas cativas ou de reserva, a atribuição da licença é unicamente da competência da DRE. (Inspeção Geral do Ambiente e do ordenamento do Território, 2008)

3.4 Extração e transformação de rochas industriais

Como já foi referido o granito e o calcário, são as rochas que mais se utilizam para fins industriais. A sua obtenção, predomina-se na extração mas também pode advir de escombrelas e de outros subprodutos (INETI, 2001). Como podemos ver no Quadro 6 esta atividade tem muita produção de resíduos.

Quadro 6 - Resíduos gerados no setor da Pedra Natural (INETI, 2001)

Operação	Resíduos gerados	Código CER	Quantidade (t/ano)	
Subsetor de rochas ornamentais (extração)				
Decapagem	Terras	170501	n.q.	
Perfuração	Resíduos de pedra	010102	5 266 458	
	Pós e poeiras	010403		
Corte	Resíduos de pedra	010102		
	Pós e poeiras	010403		
Derrube	Resíduos de pedra	010102		
	Pós e poeiras	010403		
Esquartejamento	Resíduos de pedra	010102		
	Pós e poeiras	010403		
Extração	Resíduos de pedra	010102		
	Pós e poeiras	010102		
Acabamento	Resíduos de pedra	010403		
	Subsetor de rochas ornamentais (Transformação)			
Serragem	Resíduos de pedra	010406	281 462	
	Pós e poeiras	010403		
Corte e polimento	Resíduos de pedra	010406	186 044	
	Resíduos de tratamento de pedra	010102		
	Calços de polimento	010499		
Seleção e acabamento	Resíduos de tratamento de pedra	010102	10 142	
	Pós e poeiras	010403		
Subsetor de rochas industriais (Extração)				
Perfuração	Resíduos de pedra	010102	6 820 851	
	Pós e poeiras	010403		
Rebentamento	Resíduos de pedra	010102		
	Pós e poeiras	010403		
Transporte	Pós e poeiras	010403		
Subsetor de rochas industriais (Transformação)				
Trituração	Pós e poeiras	010403		90 620
Classificação	Pós e poeiras	010403		

3.4.1 Extração

Numa exploração de rochas industriais existem varias operações para executar a extração das rochas. As principais operações resumem-se ao desmorte, a carga e ao transporte do material extraído para o local de transformação (INETI, 2001).

Para o desmorte das rochas industriais pode-se usar dois métodos (INETI, 2001):

- Com explosivos, caso a massa mineral seja consistente;
- Por desmorte direto em massas não consistentes/ incoerentes.

Para executar o desmorte direto pode-se usar três modos: o manual, mecânico e o hidráulico com um jacto de água. Este último método é mais usado para a exploração de areias, cascalho, argila e outros materiais para fins construtivos com características semelhantes.

O desmorte mecânico ou o manual usam-se para separar o bloco com as dimensões pretendidas da massa mineral. Por sua vez o método hidráulico usa-se onde é possível degradar os materiais através da pressão da água, o que permite conciliar o desmorte, o transporte (Figura 7 - Desmorte, carga e transporte da rocha extraídaFigura 7) e a recuperação do material à posteriori na estação de tratamento.



Figura 7 - Desmorte, carga e transporte da rocha extraída

3.4.2 Transformação

No caso da transformação das rochas industriais podemos fazer referência a dois tipos de unidades de transformação:

- Unidades fixas (Figura 8a) estão relacionadas com explorações de longa duração, cerca de trinta anos para rochas duras. Este tipo de unidade é o mais comum, cerca de 95% das instalações existentes, daí estarem associadas à extração de granito e calcários.
- Unidades móveis (Figura 8b) estão associadas a grandes projetos de construção que possibilitem a utilização destas unidades, tendo situações que o próprio projeto envolve a extração de rocha. Pode também ainda ser utilizada como apoio a uma unidade fixa para dar resposta a uma necessidade pontual de matéria.



a



b

Figura 8 - a) Pedreira Móvel; b) Pedreira Fixa

A transformação do material pode ser realizada por via húmida ou por via seca. No caso da via seca não há intervenção em qualquer momento de água desde o desmonte até à lavagem, tratando-se de um material seco e com pouca argila. Esta via acaba por ser a mais utilizada nas entidades de transformação de rochas industriais. Por sua vez pela via húmida, o processo de transformação é praticamente realizado com presença de água.

A matéria extraída na pedreira é transportada para a área de britagem, a qual incorpora as máquinas de trituração (britadeira), seleção e de transporte.

O modo como a matéria vai ser processada depende de vários fatores, entre os quais o tipo de matéria, de exploração, produto e aplicação final. De modo geral as etapas por qual passa o processamento das rochas são:

- Trituração (primária, secundária e terciária);
- Classificação (primária, secundária e terciária);
- Operações auxiliares (alimentação, transporte, armazenamento, etc.).

Na parte da trituração, vai-se reduzir gradualmente e por fases, a granulometria da rocha até ao produto final ou de menor dimensões. Inicialmente vai para a trituração primária que geralmente é realizada através de britadores de maxilas (Figura 9b), de seguida passa para a trituração secundária e terciária nas quais se usam moinhos cónicos (Figura 9a) para a operação.

Depois da etapa da trituração, segue-se a seleção e classificação dos produtos obtidos, através de crivos com dimensões normalizadas conforme a granulometria que se pretende. Assim, na área das rochas industriais podemos criar uma lista por ordem decrescente de granulometria dos agregados finais:

- Balastros; Britas; Gravilha; Bago de arroz; Areia; Pó de pedra

O material mais relevante em termos de produção e de uso são as britas, o pó de pedra e a gravilha. A maioria do material é utilizado na preparação de betão e argamassa, enchimento, bases rodoviária, misturas betuminosas e balastros para ferrovias.



a



b

Figura 9 - a) Britadores cónicos - b) Britadores de maxilas

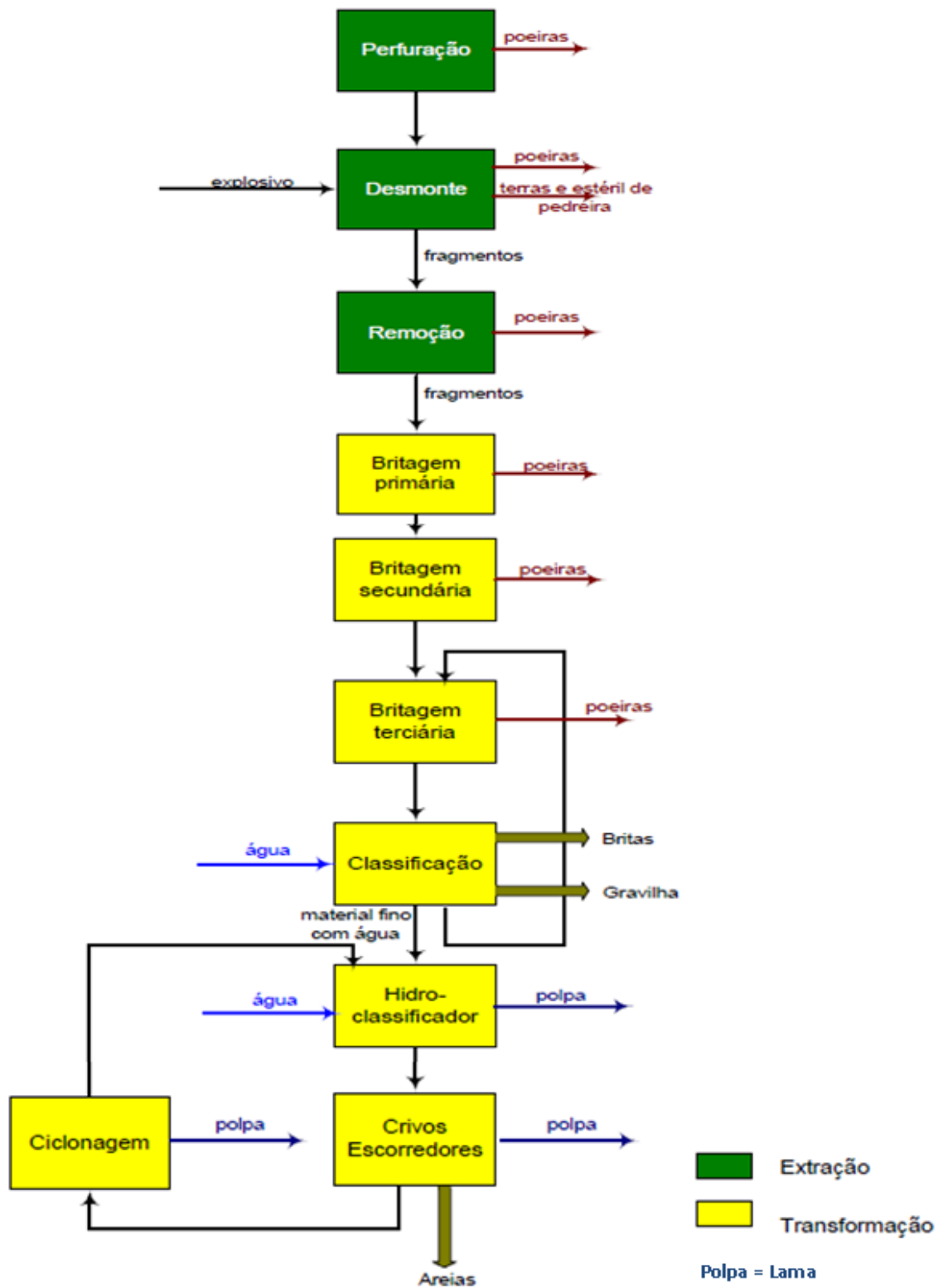


Figura 10 - Esquema de transformação de rocha industrial (INETI, 2001)

4 LAMAS DE PEDREIRA

4.1 Introdução

Segundo a definição sugerida pelo Comité Europeu de Normalização (CEN), em sentido lato, pode definir-se Lama como sendo uma “mistura de água e de sólidos separada de diversos tipos de água como resultado de processos naturais ou artificiais.

Tendo em atenção as características da indústria extrativa, nomeadamente no que diz respeito à produção de resíduos, pode-se dizer que a exploração de pedreiras origina volumes significativos de resíduos (Inspeção Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2004).

Estes resíduos, Lamas ou lodos, não se enquadram na designação de materiais sobrantes, subprodutos, terras de cobertura ou outra, mas sim originárias da massa mineral rejeitada durante a extração e transformação.

A ocorrência de grande volume de resíduos é uma característica comum deste tipo de atividade, mas existem outros fatores que vêm a agravar esta situação, tais como a falta de planificação e controle das explorações, tecnologia inadequada e a baixa qualificação dos operários (INETI, 2001).

Estes resíduos necessitam e obrigam à sua deposição final em condições adequadas de estabilidade, segurança e integração no meio envolvente. Há vários modos de deposição e de armazenamento, nomeadamente as escombreiras.

As Lamas em questão não têm carácter perigoso, mas a sua deposição descontrolada e incorretamente planeada pode dar origem a acidentes e levar à causa de alguns impactos ambientais. (Roque, 2003)

O Decreto-Lei n.º 544/99, de 13 de Dezembro, define as condições de construção, exploração e encerramento destas escombreiras a fim de proporcionar um melhor aproveitamento dos recursos e reduzir ao mínimo os inconvenientes para a saúde pública e para o ambiente.

4.2 Lamas resultantes dos processos de Extração e Transformação

4.2.1 Obtenção geral das Lamas

4.2.1.1 Extração

Os resíduos provenientes da extração de pedra natural são essencialmente terras de cobertura, massa mineral rejeitada, poeiras e Lamas

Na fase de extração, como se pode ver na Figura 11, a produção de Lamas é pouco significativa e ocorre apenas na extração de pedra ornamental, mais propriamente nas operações de desmonte com fio diamantado e de beneficiação do bloco. Isto deve-se à utilização de serras de corte, recorrendo ao uso de água para os mesmos processos.

A água, que se encontra misturada com a Lama é separada e tratada, sobrando um pó com algum teor de humidade e sem qualquer utilidade específica, normalmente tendo como destino o próprio aterro da pedreira ou escombreiras (INETI, 2001).



Figura 11 - Extração de blocos de rocha

No caso de ser granito o material extraído, as Lamas constituem uma mistura de água, partículas finas de rocha e alguns aditivos como a cal. Quando esta “mistura” é decantada, as partículas finas de rocha sedimentam e formam uma Lama, a qual é encaminhada para as escombreiras para ser armazenada.

Após a realização de alguns estudos estimou-se que a produção de Lama a transportar para a escombreira corresponderia a cerca de 0,05 m³ por tonelada de pedra extraída.

Considerando que um metro cúbico de Lama equivale a aproximadamente 2,7 toneladas, de acordo com a produção foram geradas nas pedreiras 259 696 toneladas de Lama. (INETI, 2001)

4.2.1.2 Transformação

Uma característica da fase de transformação de pedra natural é a elevada produção de Lamas, e no caso desta fase, as Lamas são um tipo de resíduo comum aos dois subsectores Quadro 7. Os resíduos, com maior relevância nesta fase, são mesmo o material rejeitado no subsector das rochas ornamentais, as poeiras e as Lamas nas rochas industriais.

Nesta fase, no que diz respeito as rochas ornamentais, as Lamas advêm da serragem, corte e polimento (Figura 12). Estima-se que estes processos produzam 0.1m^3 de Lama por cada tonelada de rocha transformada. Assim considera-se que em 1998 foram geradas cerca de 347 382 toneladas deste tipo de resíduo, tendo em atenção que 1m^3 de Lama corresponde a 2,7 toneladas (INETI, 2001).



Figura 12 – a) Tear de fios diamantados b) Tear de lâminas metálicas

Por sua vez, nas rochas industriais, as Lamas são provenientes principalmente pela transformação da rocha por via húmida e pela lavagem da areia (Figura 13). Calcula-se que durante a transformação, por tonelada, 0.5% da rocha seja dado como perdido na forma de Lamas, o que no ano de 1998 correspondeu a 435 205 toneladas da produção (INETI, 2001).



Figura 13 - Processos de lavagem de areia

As Lamas dos processos de transformação, como na fase de extração são encaminhadas e depositadas em escombreyras nas imediações das unidades de transformação, ou então em terrenos alugados. (INETI, 2001)

Quadro 7- Resíduos sólidos e pastosos gerados no setor da pedra natural (INETI, 2001)

		Matéria-prima processada (t/ano)	Resíduos sólidos (t/ano)	Resíduos pastosos (t/ano)	Rendimento da matéria-prima (%)	Outros resíduos (t/ano)
Rochas Ornamentais	Extr.	1 324 685	5 226 458	259 696	25	
	Transf.	1 626 158	478 048	347 383	71	9 095
Rochas Industriais	Extr.	90 619 872	6 820 851	-	93	
	Transf.	90 619 872	90 620	435 205	99,9	
Total			12 615 977	1 042 284		9 095

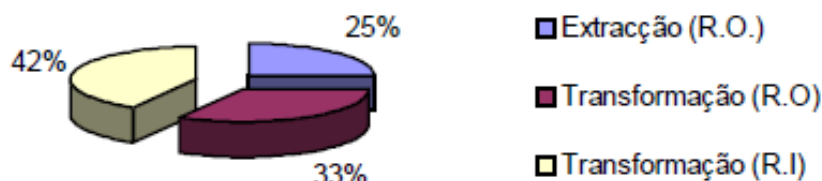


Figura 14 - Lamas por subsector (R.O.- Ornamentais; R.I.- Industriais)

4.2.2 Análise geral das Lamas

As Lamas Figura 15, resultantes dos processos de extração e transformação de pedra são classificadas no Catálogo Europeu de Resíduos com o código 01 04 13. Podem ainda ser consideradas como resíduos provenientes de prospeção e exploração de minas e de tratamentos físicos de matérias extraídas (Anexo I Portaria nº209/2004 de 3 de Março)

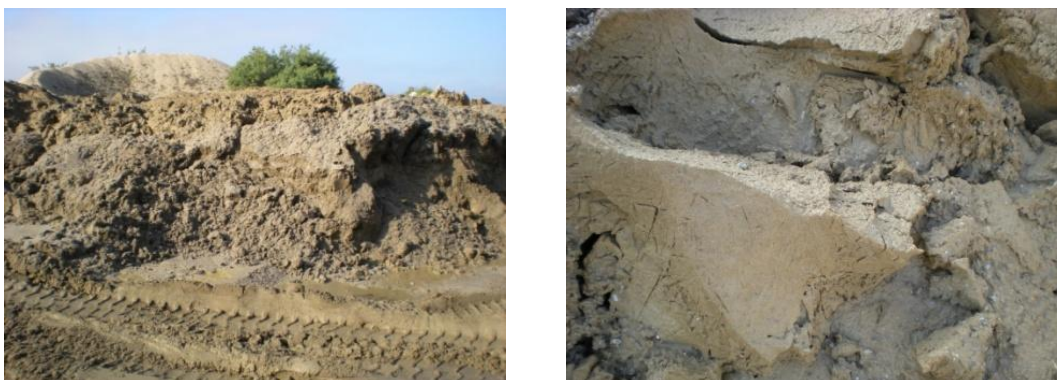


Figura 15 - Imagens de Lamas depois do processo de transformação

No LNEC efetuou-se um estudo com vista a avaliar a viabilidade do depósito de Lamas em pedreiras fora de serviço. Este estudo centrou-se na caracterização geotécnica e geoambiental das Lamas. No ensaio foi usado uma mistura de 85% de Lamas de mármore e 15% de Lamas provenientes do granito. Todas estas amostras foram recolhidas numa unidade de transformação de Pêro Pinheiro (Roque, 2003).

Na conclusão do estudo referido, pode-se identificar sobre a Lama, o teor de humidade, análise granulométrica, limites de consistência, densidade das partículas sólidas, a análise química, o PH, a condutividade elétrica e a lixiviação.

No Quadro 8, estão reunidas todas estas características, identificadas e referidas no estudo acima, com o acréscimo de outras características de mais pesquisas.

Quadro 8 - Caracterização geral das Lamas de transformação de rochas ornamentais

Propriedade	Mármore e calcários	Granito	
Caracterização Geotécnica	Teor de humidade	1,5% a 45% dependendo do processo que lhe deu origem	
	Composição granulométrica	20% argila ($d < 2 \mu\text{m}$) 70% silte ($2 \mu\text{m} < d < 60 \mu\text{m}$) 10% areia ($60 \mu\text{m} < d < 2 \text{mm}$)	
	Limites de consistência	$W_L=28\%$ e $W_P=21\%$ (Roque, 2003) Tem um comportamento entre pouco plástico (Roque, 2003) e não elástico (Gestilamas Lda, 2001); Tipo de material: CL(argila gorda) (Roque, 2003), ML(silte) (Gestilamas Lda, 2001): Classif. Unificada dos Solos Resíduo tipo A-4(8): Classif. para Fins Rodoviários (Roque, 2003)	
	Densidade	2,7-2,9 g/cm^3	
	Índice plasticidade	$I_p < 4\%$ (Gestilamas Lda, 2001) e $I_p=7\%$ (Roque, 2003)	
Caracterização Geoambiental	Composição química	50% a 70% cálcio pois a rocha original é constituída por carbonato de cálcio	50% a 70% de silício 5% a 15% de alumínio 5% a 20% de granalha de ferro (Lameiras, 2004), que pode originar oxidação (Gonçalves, 2000)
	pH	Alcalino (resultado do estudo sobre a amostra acima referida) (Roque, 2003)	
	Condutividade elétrica	724 $\mu\text{S/cm}$ – Teor em sais solúveis da mistura entre desprezável a muito fraco (Roque, 2003)	
	Lixiviação	Devido a sua composição química as Lamas podem ser consideradas como um resíduo inerte. (Soares, 1997) (Roque, 2003)	

Depois desta apresentação de resultados, é importante ter presente que estes valores acabam por ser referentes a uma situação em especial. Assim, dependendo do tipo de rocha (Lama), técnicas e proporções adotadas, é necessário a execução de estudos para cada caso pois os valores podem variar.

4.2.3 Tratamento de Lamas

Visto o crescimento da produção de Lamas, é necessário criar um tratamento com vista a diminuir o impacto causado pelas mesmas. Este tratamento visa principalmente a recuperação da água para ser reutilizadas nos processos, quer de extração quer de transformação.

Para além desta vantagem, este tratamento acarreta também vantagens para a redução do volume de Lamas e, como consequência, a redução do mesmo volume a transportar e armazenar para a escombreira.

O melhor procedimento, para tratar os efluentes semilíquidos armazenados e, assim, a devida recuperação do excesso de água, consiste na decantação das partículas finas que se encontram em suspensão na mistura, dando origem a uma pasta ou Lama com a cor a coincidir com a da rocha que lhe deu origem.

Para proceder a este tratamento, recorre-se a bacias hidrográficas, como lagoas nas imediações das unidades de transformação ou, em alternativa, a utilização de tanques industriais (Figura 16).

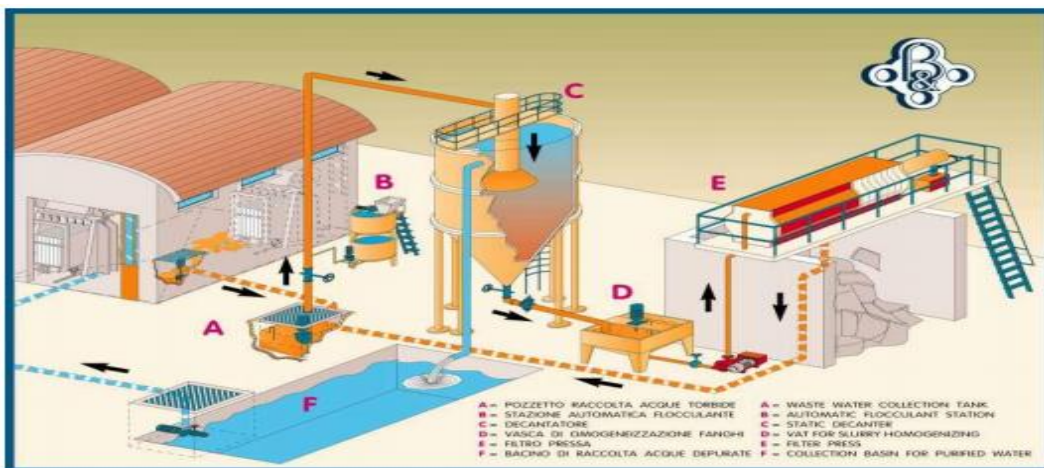


Figura 16 - a) Lagoa pertencente a uma pedreira; b) Tanque industrial

Uma alternativa mais recente e moderna é a aplicação de cones de decantação onde durante o tratamento é acrescentado um produto floculante (Figura 18b) que melhora e acelera o processo de decantação. Na extremidade do cone podemos ainda associar estações de

filtragem e de prensa, que compactam e embalam a Lama, dando origem a placas de Lama prensadas.

A utilização de cones de decantação (Figura 18a), com o acréscimo dos filtros e das prensas, melhoram o teor de água na Lama até uma redução de 25%, em que pelo processo normal de sedimentação, onde se usam as lagoas e os tanques, pode apenas chegar aos 50%. Esta melhoria dos procedimentos de aproveitamento da água acarreta vantagens em termos económico e ambientais.



- A- Tanque de armazenamento da mistura dos processos de tratamento da rocha.
- B- Depósito para preparação do floculante.
- C- Decantador vertical tipo cone.
- D- Tanque para homogeneização da Lama.
- E- Filtro e Prensa.
- F- Reservatório da água recuperada e possível reintrodução no sistema.

Figura 17 - Estação tratamento (Fracarolli & Balzan)



a



b

Figura 18 - a) Cone decantação b) Floculante

4.2.4 Destino e armazenamento de Lamas

O modo mais corrente de deposição destes resíduos é sob a forma de aterros de superfície, vulgarmente designados por escombreyras.

Com os dados de alguns estudos representativos da exploração de rochas ornamentais da zona de Pêro Pinheiro, visualizando o Quadro 9 obtém-se uma pequena consciência do destino dos resíduos produzidos.

Quadro 9 - Destino de resíduos (Almeida, 2004)

Destino	Tipo de resíduos	
	Sólidos	Lamas
Fornecidos para nova utilização	18	-
Depositados em antigas pedreiras	5	8
Depositados em escombreyras	3	15
Desconhecido (entregue a empresas para a sua remoção e tratamento)	1	4

Assim, podemos dizer que o pior resíduo no que diz respeito ao seu destino são as Lamas.

As escombreyras (Figura 19) normalmente estão destinadas para partículas de granulometria maior e depositadas a seco, ou seja sem a presença de água. Existe, também, um método conhecido por barragens ou por bacias de Lama, em que as partículas são de característica fina, colocadas num meio aquoso e são depositadas por sedimentação.

Para a escolha do local de implantação de uma escombreyra tem que se ter em atenção o volume de massa estéril a transportar, custos de futura remoção, impactos na zona circundante e possibilidade de integração e restauração da estrutura no final da exploração e necessidades de minimizar a área afetada. (INETI, 2001)

Por sua vez, a dimensão da escombreyra vai depender, em especial, do volume de massa estéril que é necessário retirar para extração da rocha. Este fator vem em função da estrutura geológica da pedreira, da topografia da zona, das características tecnológicas da exploração, do valor económico da rocha e dos custos de extração da massa estéril. (INETI, 2001)



Figura 19 - Imagens de escombrelras nas imediações da pedreira da empresa Flaviarte

Existem dois tipos de escombrelras, a interior quando se encontra dentro do vazio criado pela exploração e a exterior que é o tipo mais frequente, nas condições normais de laboração, estando normalmente nas imediações da área de extração e transformação.

Estes depósitos são muitas vezes implantados sem critérios de escolha adequados, como por exemplo em jazidas ainda mal exploradas e em solos com aptidão agrícola e florestal, produzindo um forte impacto ambiental e visual na paisagem, além de levantarem problemas de instabilidade e de derrocada de blocos.

4.2.5 Propostas de reutilização e reciclagem das Lamas

Como já foi referido, o problema causado pelas Lamas cada vez mais atinge uma dimensão preocupante, o que foi captando a atenção de várias entidades de investigação e de iniciativa privada.

A nível nacional podemos dizer que ainda não são conhecidas soluções de reciclagem ou de reutilização, muito devido à dificuldade em encontrar investimentos para a apropriação de equipamentos com tecnologia que tornem viável, economicamente o seu estudo e aplicação.

Como referência, dos maiores promotores da reciclagem de resíduos, com intuito de utilização na indústria, temos a Índia, visto ser um país que se debate por ano com 6 milhões de toneladas de resíduos (Almeida, 2004).

No entanto, devido à urgente necessidade de vazar os resíduos estudaram-se várias soluções onde se poderia aplicar de alguma forma os resíduos. A indústria da construção, como seria de prever, é o maior consumidor de resíduos. Dentro da indústria da construção temos vários ramos de aplicação desde a produção de cimento, passando pela incorporação em argamassas e betões, produtos cerâmicos entre outros.

4.2.5.1 Aplicações na indústria da construção

Como já foi referido acima, com o passar dos anos, a necessidade de dar uma solução para estes resíduos. Como a construção, é um grande consumidor de recursos, isto, originou uma procura da tentativa de incorporação destes resíduos neste ramo.

De seguida, serão referidos alguns estudos, de incorporação de resíduos na sua matriz de origem.

Argamassas

A nível nacional existem alguns estudos relativamente à introdução de resíduos em argamassas, os quais apresentaram melhorias a vários níveis, excetuando a existência de uma retração significativa nas argamassas que contêm uma proporção elevada de resíduos (Soeiro, et al., s.d.).

No Brasil foi desenvolvido um projeto em que se propõe a reciclagem de Lamas com a sua incorporação em argamassas de uma central industrial. Concluindo-se com os resultados que o material obtido com esta argamassa possui características melhores do que o mesmo material fabricado convencionalmente (Carvalho, et al., 2004).

Outros estudos no Brasil, mostram e aumentam a viabilidade para a incorporação de Lamas em argamassas. Podemos dizer que a ideia da viabilidade técnica da incorporação de Lamas em argamassas tem sido razoavelmente boa nos países em geral.

Como exemplo pode-se citar o estudo protagonizado por (Tenorio & Lima, 2004), que se resume à substituição de 10% de areia por resíduo, conseguindo assim obter melhores resultados no que diz respeito ao desempenho dos materiais.

Existem outros produtos que têm por base matrizes cimentícias. A pesquisa constante de soluções para a incorporação de Lamas em matrizes cimentícias levou a, por exemplo na Índia à produção de blocos estruturais em que são usadas diariamente 10 toneladas de resíduo obtendo uma produção diária de 15,000 unidades.

Ainda na Índia foi estudada a solução de produção de blocos leves autoclavados com incorporação de 70% de Lamas provenientes de mármore (Singh & Vijayalakshim, 2004).

Está também confirmado a utilização de resíduos para a produção de tijolos de solo-cimento. No Brasil outra solução estudada com incorporação de Lamas, e no caso de caráter horizontal, é o revestimento de pavimentos (Almeida, 2004).

Cimento

A indústria de produção de cimento é um setor muito apelativo, uma vez que caso seja possível a aplicação de Lamas na sua produção, esta indústria iria consumir grande volume deste resíduo como matéria-prima, sem a necessidade prévia de grandes tratamentos ao resíduo.

A nível nacional, em termos de produção de cimento, temos como referência a Secil, situada em Outão, Maceira e Pataias e a Cimpor em Alhandra e Sousela. Estas duas companhias consomem anualmente cerca de 12 milhões de toneladas de matéria-prima em que 10 milhões são calcário (Soares, 1997).

Na produção de cimento 3.5% da matéria de natureza calcária utilizada, provem das Lamas obtidas no subsetor das rochas ornamentais. Isto deve-se á coincidência da natureza carbonatada destas Lamas com a principal matéria-prima usada na produção de cimento (calcário).

Face ao exposto, verificou-se que pode existir a possibilidade técnica para a obtenção de clínquer de cimento portland a partir de Lamas de origem calcária como matéria-prima principal (Soares, 1997).

Apesar da não existência de estudos e da viabilidade para a utilização de Lamas como solução ao filer na produção de cimentos, as Lamas podem vir a ser uma possibilidade, visto que a composição química destas Lamas serem similares à dos filéres comercializados.

Cerâmicos vermelhos

A Cevalor coordenou um projeto europeu em que concluíram a possibilidade de incorporação de Lamas com origem calcária como matéria-prima de substituição de carbonato de cálcio na produção do tijolo cerâmico, sem que isto alterasse o desempenho pretendido para este material (Pereira & Bonito, 2001).

Foi comprovado que a incorporação de Lamas na quantidade de 2-3% chega até a ser benéfico, visto que resolve o problema de expansão associado aos produtos de origem cerâmica. A incorporação de resíduos pode chegar aos 25% dependendo da matéria-prima de base.

Um dos contras da utilização deste resíduo na produção de tijolos cerâmico advém da necessidade de uma secagem prévia devido a sua humidade natural, apesar de algumas referências afirmar em que a secagem natural pode ser suficiente.

Um estudo no Brasil confirma que o comportamento de cerâmicos vermelhos, na presença de Lamas, é positivo uma vez que a plasticidade da massa cerâmica reduziu e, mesmo assim, a região ótima de extrusão foi alcançada (Carvalho, et al., 2004).

Na Índia existem casos de produção de telhas em que a incorporação de resíduos chega aos 90% e apenas com 10% de resinas, em que o comportamento demonstrado é promissor.

No caso de Lamas de origem granítica, com o cuidado prévio de separação do ferro que o resíduo possa conter, também pode ser tecnicamente viável a sua aplicação.

Pavimentação

Alguns estudos mostram que as Lamas podem ser aplicadas como alternativa ao filler comercial usado nas misturas betuminosas, mas no entanto as características presentes nas Lamas excluem a sua aplicação em obras de terraplanagens (Gestilamas Lda, 2001).

A ideia da aplicação de Lamas em obras de terraplanagens não é unânime, pois na Índia, a Central Road Research Institute, põe a hipótese da aplicação de Lamas de mármore na realização de pavimentações em camadas até a 25-35% da espessura do pavimento (Singh & Vijayalakshim, 2004).

Aterros

Como nas terraplanagens, as opiniões sobre a aplicabilidade de Lamas em aterros diferem, uma vez que como já foi referido em capítulos anteriores este resíduo tem impactos ambientais quando em contacto com o solo.

Pode-se também retirar proveito da capacidade de impermeabilização das Lamas para o enchimento de tardozes de muros de suporte. Mais uma vez a Índia serve como referência para esta aplicação (Pareek, s.d.).

No Brasil estudos revelam que uma mistura de solo em que 25% da sua composição são Lamas de corte de pedra, obtêm um melhor funcionamento que um solo na sua composição inicial.

Mármore compactos

Os mármore compactos têm uma aplicação semelhante ao das cantarias e às pedras naturais, ou seja, são aplicados em pavimentos e revestimentos.

Em Portugal, os mármore compactos, são produzidos a partir de uma mistura de fragmentos rochosos de várias dimensões com cálcio moído proveniente da região centro do país, resina poliéster, corantes para conferir tonalidade, entre outras substâncias essenciais para o seu fabrico

A nível Nacional há conhecimento de um estudo sobre a mais-valia da introdução de Lamas no fabrico de mármore compactos. Neste estudo, as Lamas de serrações de mármore, aparecem como um enorme potencial substituto, do carbonato de cálcio a uma proporção de 6% do material. Apesar da necessidade de aprofundar estes estudos atingiu-se valores de viabilidade técnica para a solução.

4.2.5.2 Aplicações em outras indústrias

Para além da incorporação dos resíduos no ramo da construção, expandiu-se os estudos para outras áreas e atividades envolventes à sociedade. Deste modo, é possível aumentar o leque de oportunidades para a absorção dos resíduos.

Cerâmicas (faianças)

No Brasil já se realizaram estudos, sobre a possibilidade da aplicação de Lamas de tratamento de rocha granítica para a produção de revestimentos cerâmicos. No estudo procedeu-se à substituição de 50% da matéria-prima necessária para o fabrico destes materiais.

A nível nacional temos investigações que mostram uma forte possibilidade de incorporar Lamas em pastas cerâmicas por via húmida. No entanto, devido à grande distancia entre os centros da indústria cerâmica e os centros de produção de Lamas, esta aplicação tarda em ganhar força.

Correção de solos agrícolas

A título experimental, realizaram-se estudos para viabilizar a incorporação de Lamas em solos para a sua correção, em que o objetivo seria elevar o pH do solo, ou seja, calagem. No entanto, outros autores diferem desta ideia, visto que o processo de secagem da Lama transforma-a em blocos duros e que não geram o efeito inicialmente pretendido, pelo contrário prejudicam, inibindo o pretendido.

Um estudo refere que para as Lamas serem aplicadas no solo teriam de sofrer uma cosedura prévia e de seguida a sua pulverização, o que faz com que não seja suficientemente viável face às alternativas.

Esta aplicação pode acarretar uma futura contaminação atmosférica com poeiras destas Lamas, devido ao constante revirar do solo para fins de produção agrícolas.

Na Itália estudou-se a hipótese de se aplicar resíduos de basalto em solos agrícolas, uma vez que esta rocha tem propriedades higroscópicas poderia ajudar na retenção da água, impedindo assim a sua evaporação. Este método pode ser promissor para as zonas mais secas da Europa, como ilhas Canárias, Grécia, sul de Espanha, entre outros.

Selagem de Lixeiras

Foi realizado um estudo sobre a aplicação de Lamas de rochas ornamentais para a selagem das lixeiras do concelho de Estremoz como também para recobrimento periódico de células de resíduos sólidos urbanos depositados em aterros sanitários. As entidades de produção

forneceram o material com a indicação de que para a melhor compactação o teor de humidade ideal seria cerca de 19%.

No final provou-se que as Lamas cumpriram as exigências funcionais com grande desempenho, melhorando a impermeabilização e a própria estabilização do aterro.

5 PROGRAMA EXPERIMENTAL

5.1 Introdução

Neste capítulo, aborda-se a descrição dos procedimentos de ensaio realizados, para a avaliação das principais características dos materiais, bem como o estudo das várias composições das argamassas, que serão realizadas com a incorporação do resíduo em estudo.

Encontra-se também a caracterização dos vários estados da aplicação da Lama, dos agregados e do ligante. Em relação às amassaduras, é referido todo o método de mistura, utilizado durante o processo de fabrico, bem como a dosagem de resíduo incorporado em cada tipo diferente de argamassa.

5.2 Caracterização dos materiais constituintes

5.2.1 Areia (Areia fluvial)

A areia foi disponibilizada por uma pedreira localizada em Guimarães, sendo esta armazenada no Laboratório de Materiais e Construção de Engenharia Civil da Universidade do Minho.

As areias fluviais vulgares são muito utilizadas pela indústria, nomeadamente a de construção. São materiais muito comuns, quase sempre disponíveis em grandes quantidades, podendo ser utilizadas na produção de argamassas e betões.

A areia fluvial, é constituída principalmente por quartzo, micas, feldspatos, piroxenas, granadas e olivinas. Os grãos deste tipo de areia apresentam formas variadas (desde angulosos a bem rolados), isto devido ao transporte sofrido no meio fluvial. Sofrendo menos choques, são menos desgastadas.

Os grãos, na sua maioria de quartzo, devido à sua natureza e à sua elevada resistência, riscam vidros. Não reagem em contacto com ácidos, sendo praticamente insolúveis na água.

Ainda relativamente a sua natureza, apresenta uma cor clara e um brilho característico do grau de evolução sofrido durante o transporte, que lhes proporciona uma lavagem constante.

A areia foi utilizada nas amassaduras depois de ser submetida a uma secagem numa estufa a 105-110 °C, deixando posteriormente arrefecer á temperatura ambiente.

5.2.1.1 Análise Granulométrica da Areia

Este processo laboratorial foi realizado com o fim de determinar as características granulométricas da areia utilizada nas amassaduras. Os processos realizados regem segundo a norma NP EN 933-1 e EN 1097-6.

A máxima dimensão do agregado é definida pela menor abertura do peneiro de uma série, através do qual passa, pelo menos 90% da massa do agregado. A dimensão mínima, é dada através da abertura de maior dimensão, em que a percentagem de material que passa não é mais de 5% da massa do agregado.

Para a análise granulométrica da areia utilizou-se os diversos equipamentos (Figura 20).

- 1 kg de areia seca em estufa
- Série de peneiros com as seguintes aberturas nominais (mm):
- 63 ; 31,5 ; 16 ; 8 ; 4 ; 2 ; 1 ; 0,5 ; 0,25 ; 0,125 ; 0,063
- Balança
- Estufa para a secagem da areia a 105-110 °C
- Agitador de peneiros

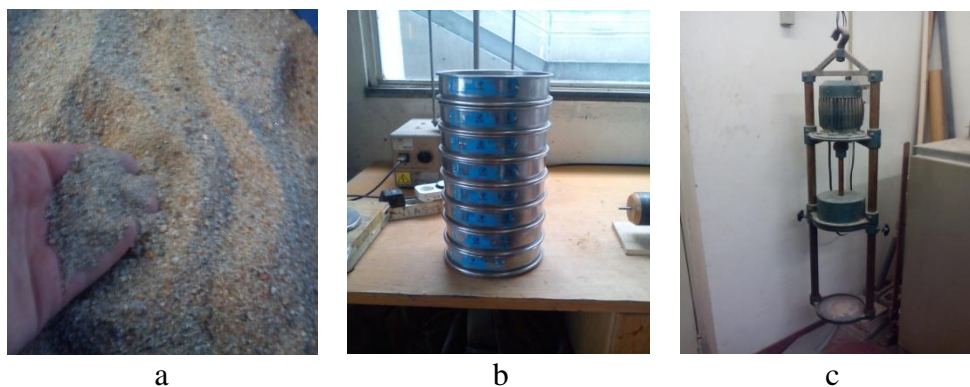


Figura 20 - a) Areia b) Peneiros c) Agitador de peneiros

5.2.1.2 Procedimentos de ensaio

A amostra de areia foi inicialmente colocada numa estufa a 105-110 °C até a sua massa estabilizar, sendo esse valor registado. De seguida, procedeu-se à peneiração do agregado, introduzindo a areia pelo peneiro de maior dimensão.

Durante a peneiração temos de garantir que o conjunto de peneiro se encontra em vibração e que tem um movimento oscilatório de translação e de rotação, de modo a que o material de cada peneiro se encontre em constante movimento.

Para desobstruir a malha dos peneiros, podemos recorrer a uma escova composta por pêlo macio. A limpeza com a escova deve ser realizada pela face inferior do peneiro. Não se deve forçar a passagem de material na malha do peneiro.

Deve-se dar por concluído o ensaio quando, a mais de um minuto de funcionamento, não existir passagem de mais que 1% do material retido nesse peneiro.

No final da peneiração efetua-se a medição e registo da massa retida em cada peneiro. No final, caso a perda de material seja superior a 5% da massa inicial, deve-se repetir o ensaio.

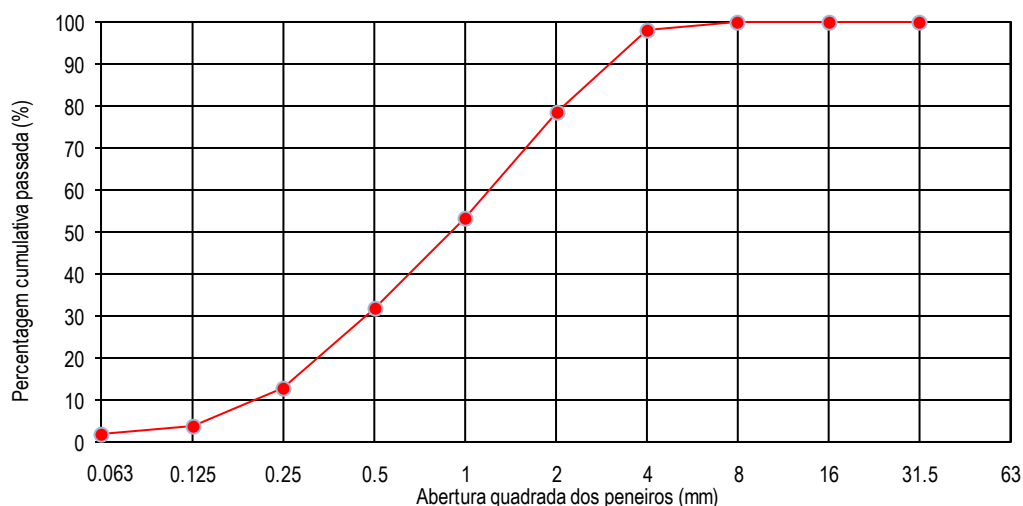


Figura 21 - Gráfico da Análise Granulométrica da Areia

5.2.1.3 Propriedades Físicas da Areia

No Quadro 10 é possível ver as propriedades físicas recolhidas sobre a análise efetuada à areia.

Quadro 10 - Propriedades da Areia Natural do Rio

Propriedades da Areia Natural do Rio	
Massa volúmica do material impermeável das partículas (g/cm ³)	2,65
Massa volúmica das partículas saturadas (g/cm ³)	2,56
Massa volúmica das partículas secas (g/cm ³)	2,51
Absorção de água da areia (%)	2,00

5.2.2 Cimento Portland

O cimento utilizado neste trabalho foi do tipo – CEM II/B-L 32,5N da SECIL. De acordo com as tabelas técnicas o Cimento Portland de Calcário CEM II/B-L 32,5N é o cimento mais utilizado nas obras de construção civil. Devido a sua excelente trabalhabilidade e baixo calor de hidratação confere-lhe características que o tornam especialmente adaptado a todos os trabalhos correntes da construção. Daqui em diante o Cimento Portland de Calcário CEM II/B-L 32,5N será referenciado unicamente como “cimento”.

Por informação da tabela técnica do cimento CEM II/B-L 32,5N é principalmente utilizado em:

- argamassas e betão não armado para enchimentos e regularização;
- betão estrutural, pronto ou fabricado em obra de média resistência;
- argamassas de assentamento, reboco e reparação;
- fundações directas e indirectas em ambientes moderadamente agressivos;
- estabilização de solos e solo-cimento;
- prefabricação de blocos, tubos, manilhas e outros artefactos à base de cimento;
- prefabricação ligeira em regime de baixa rotatividade de moldes.

As características que se seguem advêm principalmente das tabelas técnicas do próprio cimento que seguem em anexo.

5.2.2.1 Propriedades Químicas

No Quadro 11 é possível ver as propriedades químicas do Cimento Portland.

Quadro 11 - Caracterização Química do Cimento Portland

Propriedades	Método de ensaio	Valor especificado
Teor de Sulfatos (em SO ₃)	NP EN 196-2	≤ 3,5%
Teor de Cloretos	NP EN 196-21	≤ 0,10%
Perda ao fogo	P.F.	11,85
Resíduo insolúvel	R.I.	1,88

5.2.2.2 Propriedades Físicas

No Quadro 12 é possível ver as propriedades físicas do Cimento Portland.

Quadro 12 - Caracterização Física do Cimento Portland (Almeida, 2004)

Propriedade	Suporte normativo	Resultados de Ensaio	
Massa específica	Método interno Secil	3,01 g/cm ³	
Resíduo de peneiração	Método interno Secil	7,70%	
Superfície específica de Blaine	NP EN 196-6	4947 cm ² /g	
Área de superfície específica	Método interno Secil	1,4577 m ² /cm ³	
Água de pasta normal	NP EN 196-3	26,5	
Tempo de presa	Início	NP EN 196-4	120min
	Fim	NP EN 196-5	165 min
Expansibilidade		0,8mm	

5.2.2.3 Propriedades Mecânicas

No Quadro 13 é possível ver as propriedades mecânicas do Cimento Portland.

Quadro 13 - Caracterização Mecânica do Cimento Portland

Resistência à Compressão (MPa)		
2 dias	-	NP EN 196-1
7 dias	16	
28 dias	≥32,5 e ≥52,5	

5.2.3 Super Plastificante (SP)

Para a mesma razão A/C, algumas argamassas realizadas não atingem o espalhamento padrão, o que afeta a sua trabalhabilidade. Como uma das características exigidas era o espalhamento, foi necessário encontrar um método para superar esse entrave.

Para contornar esta situação aplica-se o Super Plastificante (

Figura 22). O Super Plastificante confere maior trabalhabilidade à argamassa. No entanto a sua aplicação não deve ser exagerada, sendo aconselhado o seu emprego até ao máximo de 1,5% do ligante.

Neste estudo a quantidade a aplicar em cada amassadura, deriva do somatório da quantidade de cimento com a quantidade de resíduo. No Quadro 14 estão expostas as características técnicas do SP.



a



b

Figura 22 - a) Super Plastificante b) Aplicação do SP

No Quadro 14 é possível ver as características técnicas do Super Plastificante.

Quadro 14 - Características Técnicas do Super Plastificante (Ficha Técnica-Anexo)

Estado de agregação	Líquido
---------------------	---------

Cor: marrom claro	Castanho claro
Densidade a 20 ° C	1,030 kg / litro
PH a 20 ° C	7 ± 1
Sólidos	15%
Viscosidade a 20 ° C	<70 mPa.s
Ponto de Congelamento	-2 ° C
Toxicidade	não aplicável
Código de core	Cinza
Teor de cloreto	<0,1% m / m

5.2.4 Lamas (Resíduo)

As Lamas como já referido são de origem granítica, pois advêm de uma pedreira de exploração granítica.

Quando recolhida, a Lama vinha húmida e apertada em grandes grumos coesos, aparentando um funcionamento tipo plasticina/barro. Isto refletia-se numa fraca capacidade resistente, permitindo a sua fácil desagregação.

Durante a fase experimental, as Lamas, serão aplicadas em três estados distintos:

- Lama conforme recolhida (Húmida);
- Lama Seca;
- Lama Cozida.

5.2.4.1 Lama conforme recolhida (Húmida)

Neste estado, a Lama foi recolhida diretamente da escombreira a céu aberto e armazenada em sacos plásticos devidamente fechados, de modo a manter o seu teor de humidade.

Como referido, a Lama quando recolhida vinha no estado sólido e prensada em grandes grumos coesos. De modo a ter uma melhor trabalhabilidade, procedeu-se a uma trituração manual, como se pode ver na Figura 23. Esta trituração deve-se às características e dimensões que grumos apresentavam, caso contrário não seria possível introduzir diretamente a Lama na amassadura.

Deve-se salientar que as condições de recolha podem variar, pois na mesma escombreira podemos encontrar Lama com vários teores de água. Assim, para este caso, procedeu-se ao ensaio de determinação do teor de água presente nesta amostra.

O ensaio resume-se em colocar na estufa uma quantidade controlada de Lama e no fim ver a diferença do peso da amostra, obtendo assim o teor de humidade. Com o ensaio, chegamos ao valor do teor de humidade da Lama de 25% de humidade.



Figura 23 - Lama conforme recebida (húmida) semi triturada

5.2.4.2 Lama Seca

Como referido no ponto anterior, a Lama desta fase também foi recolhida nas mesmas circunstâncias, tendo como diferença na aplicação o seu estado.

Ao contrário do estado da Lama acima, esta permaneceu armazenada no armazém do LMC em bidões (Figura 24), mas no caso sem serem selados, o que permitiu a uma secagem natural e lenta. No momento da sua utilização recolheu-se a amostra necessária para a amassadura, e procedeu-se à sua trituração e esmagamento como podemos ver nas imagens que se seguem.



a



b

Figura 24 - a) Lama guardada no bidão aberto b) Trituração e esmagamento da Lama

Na fase de trituração e esmagamento já nos deparamos com uma maior dificuldade em desfazer os grumos, pois conforme foi perdendo a água que continha, a Lama ganhou consistência.

Depois de todo este processo, fez-se passar toda a Lama tratada pelo peneiro numero 8 da serie de peneiros, usada para a granulometria da areia, de modo, a garantir uma dimensão máxima. De seguida, a amostra foi colocada numa estufa a 105-110 °C até perder qualquer quantidade de água que pôde-se conter. A Lama está pronta a ser aplicada depois de arrefecida até à temperatura ambiente (Figura 25).



Figura 25 - a) Estufa b) Trituração e esmagamento da Lama c) Peneiração d) Lama após passar no peneiro

5.2.4.3 Lama Cozida

Neste estado, podemos repetir todo o processo referido na Lama Seca, acrescentando um último ponto. Este novo ponto acrescenta a colocação duma amostra pretendida numa estufa a

800 °C durante o período de 2 horas. Quando retirada pôs-se a arrefecer à temperatura ambiente.

Como podemos ver na Figura 26, a Lama altera a sua tonalidade. Isto deve-se a uma mudança de fase associada à temperatura que originou uma alteração do arranjo cristalino.

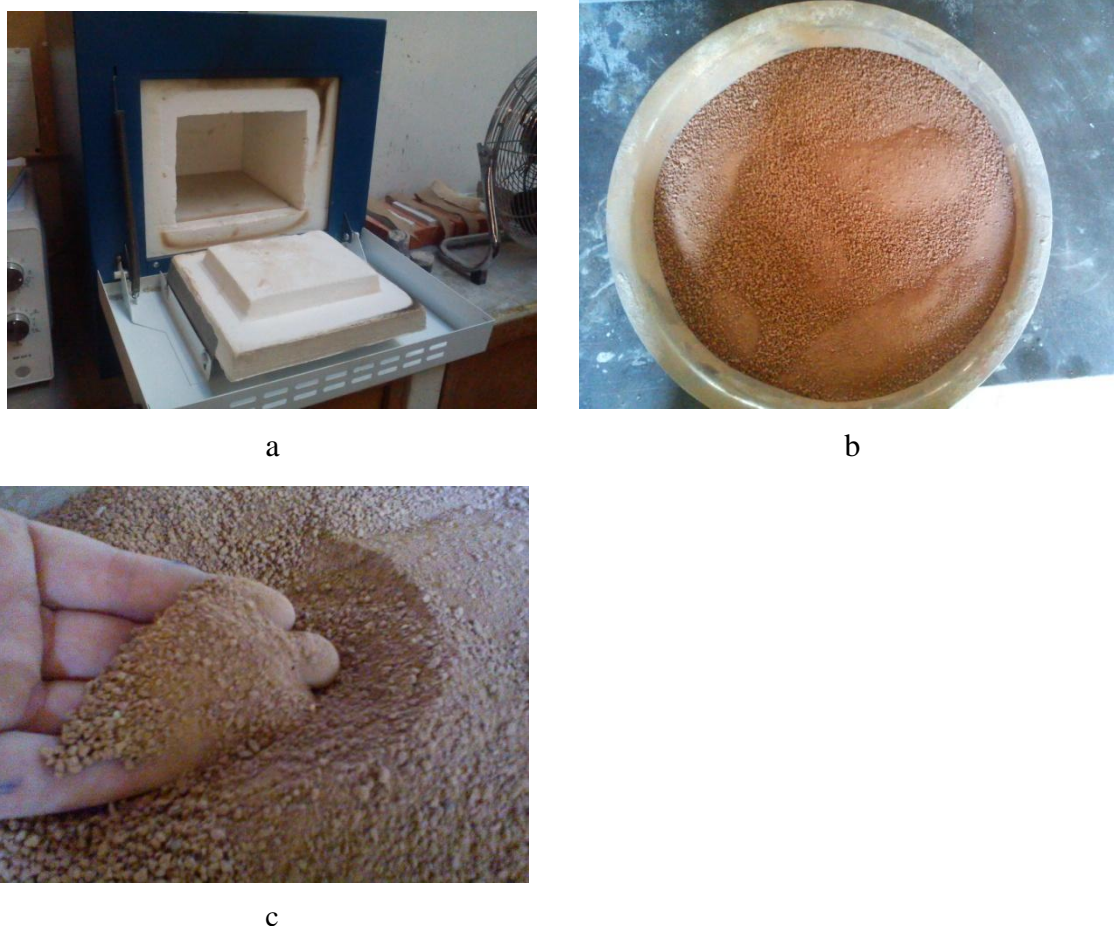


Figura 26 - a) Estufa de cozedura b) e c) Aparência da Lama cozida

5.3 Equipamentos utilizados nas Amassaduras

No fabrico das amassaduras foi necessário uma série de equipamentos e utensílios, os quais são de seguida definidos (Figura 27), juntamente com a sua utilidade.

Para a realizar a mistura, foi utilizada uma misturadora Nas pesagens dos agregados usou-se uma balança digital com rigor a decígrama. Os moldes dos provetes eram de natureza metálica, com a geometria de 40x40x160 mm³ e 50x50x50 mm³. Entre estes equipamentos, também foi necessário o uso da colher de pedreiro, da régua, mesa de medição do

espalhamento, bacias, baldes, tabuleiros, mesa vibratória para a vibração dos provetes durante a amassadura e ferramentas para o desmolde.



Figura 27 - a) Misturadora b) Balança c) Molde d) Mesa vibratória e) Utensílios f) Mesa de espalhamento

5.4 Produção dos provetes

5.4.1 Introdução

Neste subcapítulo, pretende-se dar conhecimento de toda a metodologia aplicada nas várias amassaduras de argamassa fabricadas, bem como os referidos estados da Lama e as quantidades substituídas. Tendo assim, como meta a compreensão do impacto desta substituição, como também uma percentagem ótima para a substituição pela areia.

A produção dos provetes vai ser dividida em três fases, pois como já foi referido a Lama vai ser aplicada em três estados diferentes. Assim, encontrar-se um método de amassadura distinto para cada estado da Lama.

5.4.2 Moldagem, Desmoldagem e a Cura dos Provetes

Cada molde permite moldar simultaneamente 3 provetes. Os moldes utilizados eram limpos e posteriormente pincelados com um descofrante, para facilitar a desmoldagem da argamassa junto das paredes do molde.

Depois da amassadura, a argamassa foi colocada nos moldes que se encontram sobre a mesa vibratória (Figura 28a). Numa primeira fase, os moldes, são preenchidos até metade e são vibrados cerca de 10 a 15 segundos (Figura 28b). Depois de vibrados deve-se criar rugosidades na superfície da argamassa com o auxílio da colher de pedreiro, para que assim o contacto entre a próxima camada seja melhorado.

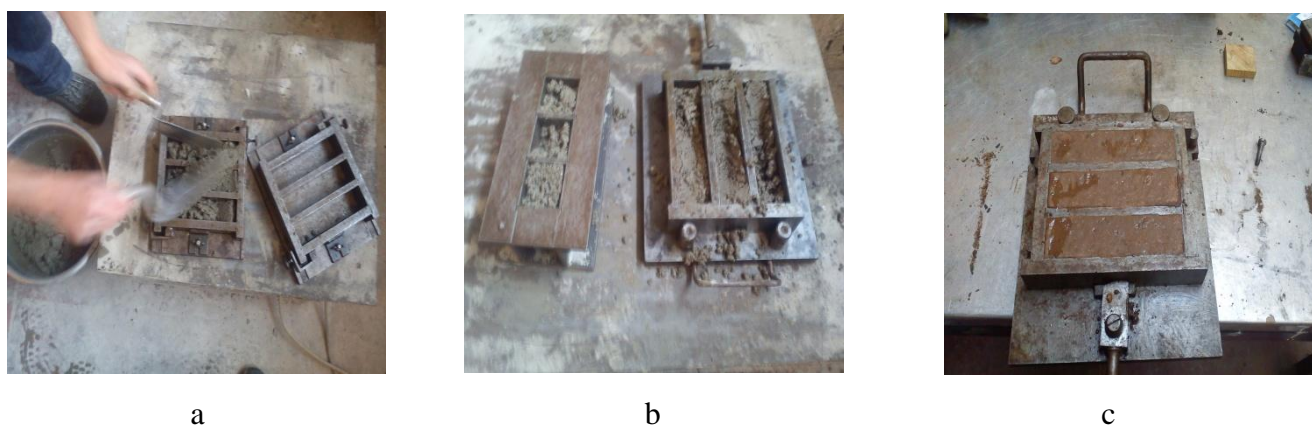


Figura 28 - a) Moldes na mesa vibratória b) Moldes a 50% c) Moldes concluídos

Assegurado este passo os moldes são totalmente preenchidos, procedendo-se a uma nova vibração com a duração de 15 a 20 segundos, na qual se vai retirando algum excesso visível. Caso no final seja perceptível algum excesso ou anomalia, corrige-se e, se necessário, aplica-se uma nova vibração mínima para finalizar.

Quando terminada a moldagem, os moldes são colocados na camara húmida durante as próximas 24 horas de cura (Figura 29a). Após cumpridas as 24 horas desmoldam-se os

provetes, estes são registados, e colocados submersos em água, dando continuação à sua cura, até ao dia do ensaio a que está destinado (Figura 29b,c,d).

Resta salientar que estes processos de moldagem, desmoldagem e cura abrangem todos os provetes realizados para este estudo, indiferentemente do estado da Lama que foi utilizada na amassadura.

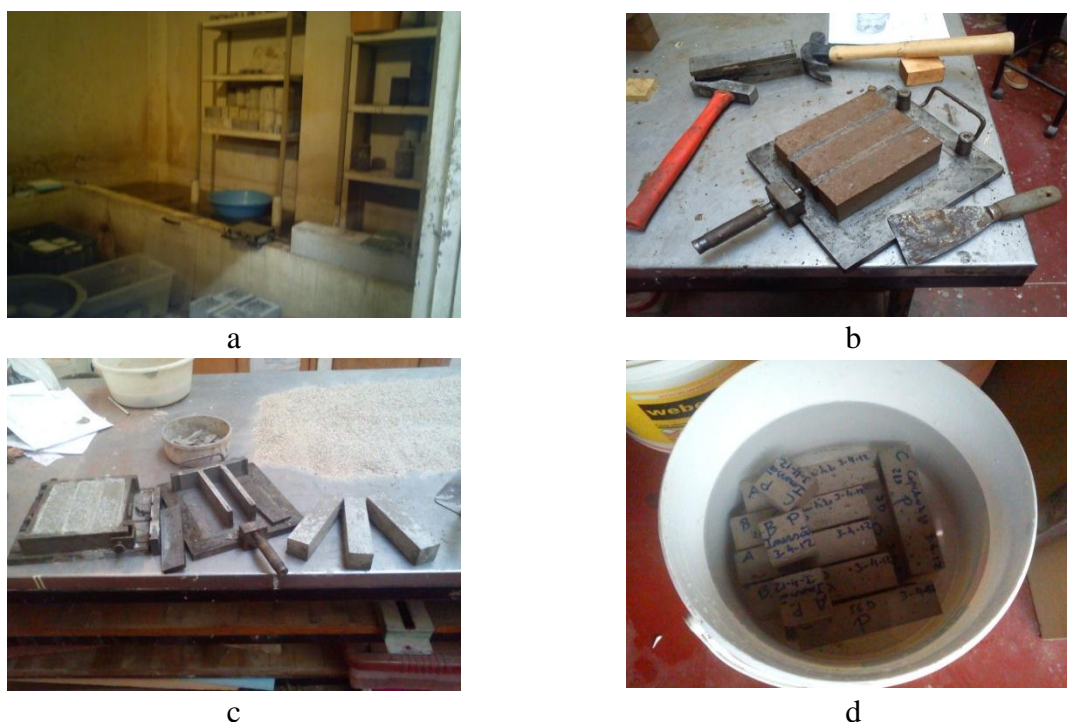


Figura 29 - a) Camara Húmida b) Desmoldagem c) Molde com provetes, sem provetes e os provetes já desmoldados d) Armazenamento dos provetes em água

5.4.3 Procedimento das várias amassaduras.

A metodologia utilizada foi geral para todas, tendo em atenção algumas diferenças devido ao estado da Lama. O traço adotado para as amassaduras foi 1:3:0,5 sendo respetivamente cimento : areia : água.

Para a quantificação dos materiais, tendo em consideração a quantidade necessária e a dimensão dos provetes para a realização de todos os ensaios pretendidos, considerou-se a sua volúmica. Assim, definiu-se a quantidade necessária de ligante e conseqüentemente, através do traço, quantificaram-se as quantidades dos restantes agregados. A quantidade de água foi calculada tendo por base a quantidade do cimento, fixando a razão água/cimento 0,5 ($A/C=0,5$).

Neste subcapítulo faz-se distinção nas amassaduras pois, como já referido, foram usados três tipos de estado da Lama:

- Conforme recebida (Húmida);
- Seca;
- Cozida.

Assim, de seguida, descreve-se o processo de amassadura para cada estado de aplicação da Lama, bem como a distinção de cada percentagem de incorporação e substituição da areia pela Lama. A primeira descrição da amassadura será o exemplo da argamassa padrão, a qual vamos tomar como referência para as restantes amassaduras.

5.4.3.1 Padrão

Como referido no ponto acima, vamos tomar como referência a amassadura da argamassa Padrão. Para a realização da amassadura, seguiu-se o seguinte procedimento:

1. No tambor da misturadora inseriu-se a areia e o cimento e ligou-se a misturadora durante 30s. Após estes 30s a mistura no tambor deve estar o mais homogénea possível.
2. De seguida ligou-se novamente a misturadora e começou-se a incorporar a água lentamente, conforme a misturadora ia trabalhando. Depois de toda a água estar na mistura contou-se 30s e desligou-se a misturadora.
3. Esta paragem serviu, para caso exista alguma acumulação de argamassa nas paredes ou no fundo do tambor da misturadora, por meio de uma espátula seja possível remove-la.
4. Para finalizar, ligou-se mais 30s a misturadora, na velocidade seguinte, sendo esta mais rápida que a anterior.
5. Prosseguiu-se ao ensaio de espalhamento da argamassa, registando assim o seu valor. Depois da medição, repôs-se a amostra no tambor da misturadora, e mistura-se durante mais 30s.
6. Caso o espalhamento não corresponda com o esperado, deve-se adicionar o Super Plastificante.

- 6.1 Coloca-se toda a argamassa no tambor e liga-se a misturadora. Entretanto vai-se colocando a quantidade calculada de Super Plastificante, após todo introduzido, esperar 30s e desligar a misturadora.
- 6.2 Efetua-se novamente o ensaio de espalhamento, caso esteja dentro do intervalo, mistura-se mais 30s e segue-se para o próximo ponto, senão retoma-se o procedimento referente a este ponto.
7. Terminados os 30s do ponto 5. ou 6. desliga-se a misturadora e inicia-se a moldagem dos provetes.

No Quadro 15 é possível observar a caracterização da argamassa com Lama Padrão.

Quadro 15 - Caracterização da argamassa com Lama Padrão

Mistura	Areia (g)	Cimento 32.5(g)	Agua (g)	R=A/C	Espalhamento (cm)	Super Plastificante (%/g)
Argamassa Padrão	6750	2250	1125	0,5	14	X

Legenda: X – não utilizado

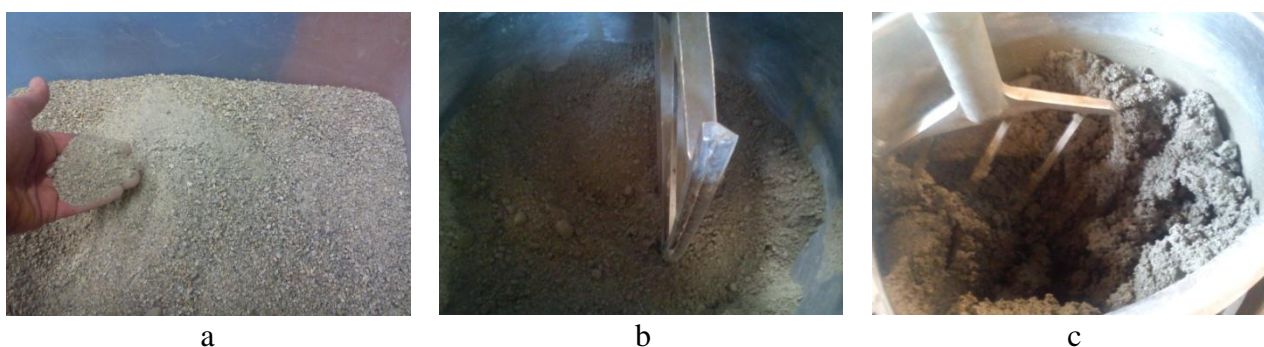


Figura 30 - a) Areia b) e c) Amassadura

5.4.3.2 Conforme recebida (Húmida)

Tendo como referência a realização da amassadura Padrão acima explicada, podemos dizer que as amassaduras que se seguem diferem em poucos pontos. O principal ponto a acrescentar, é que, daqui em diante temos a incorporação de resíduo. A percentagem de incorporação de resíduo na amassadura vai variando. Em certas percentagens de resíduo, para atingir o espalhamento padrão foi necessário introduzir Super Plastificante.

Na amassadura Padrão, todo o material é colocado dentro tambor, sendo acrescentada a água durante a mistura. Na amassadura com Lama Húmida o processo inicial já não se executa do mesmo modo.

Na amassadura com incorporação de Lama Húmida deve-se ter em atenção:

1. No início colocou-se todo o resíduo necessário para aquela amassadura dentro do tambor, juntando 50% da água destinada para a mesma amassadura. Ligou-se a misturadora durante 30s a 60s até a solução apresentar um aspeto diluído.
2. De seguida, com uma espátula raspa-se o tambor, para descolar a Lama que potencialmente tenha aderido as paredes. Introduce-se 50% da areia no tambor, e liga-se a misturadora mais 30s a 60s. Isto com o intuito de desfazer o máximo possível os grumos restantes de Lama.
3. Após desligar a misturadora, introduz-se a restante areia juntamente com o cimento. Liga-se a misturadora e coloca-se a restante água. Mistura-se durante mais 30s e desliga-se a misturadora.
4. Neste momento, continua-se o processo de amassadura como descrito a partir, inclusive, do ponto **3.** da argamassa Padrão.

No Quadro 16 encontram-se descritas as características da argamassa com incorporação de Lama Húmida.

Quadro 16 - Caracterização da argamassa com Lama Húmida

Mistura	Resíduo (%)	Areia (g)	Resíduo (g)	Cimento 32.5(g)	Água (g)	R=A/C	Espalhamento (cm)	Super Plastificante (%-g)
Lama Húmida	10	6075	675	2250	1125	0,5	14	X
Lama Húmida	20	5400	1350	2250	1125	0,5	15	X
Lama Húmida	30	4725	2025	2250	1125	0,5	14,5	X
Lama Húmida	50	3375	3375	2250	1125	0,5	15	1,5-85

5.4.3.3 Seca

Comparando agora a amassadura Padrão com a amassadura de Lama Seca, pode-se dizer que são bastante semelhantes. Ao contrário da Lama Húmida a Lama Seca já está toda desfeita, tendo já passado pelo peneiro como descrito. Então como não é necessário diluir a Lama, até porque tem a aparência de um agregado fino, mistura-se tudo logo de início. Assim:

1. No tambor da misturadora insere-se a areia, a percentagem desejada de resíduo e o cimento, ligando-se de seguida a misturadora durante 30s. Após estes 30s, a mistura no tambor deve estar o mais homogénea possível.
2. Neste ponto damos seguimento ao ponto **2.** da amassadura Padrão.

No Quadro 17, encontra-se a caracterização da argamassa com Lama Seca

Quadro 17 - Caracterização da argamassa com Lama Seca

Mistura	Resíduo (%)	Areia (g)	Resíduo (g)	Cimento 32.5(g)	Água (g)	R=A/C	Espalhamento (mm)	Super Plastificante (%-g)
Lama Seca	10	6075	675	2250	1125	0,5	13.5	1-30
Lama Seca	20	5400	1350	2250	1125	0,5	14	2,2-82
Lama Seca	30	4725	2025	2250	1125	0,5	15	3-129
Lama Seca	50	3375	3375	2250	1125	0,5	15	7-394

5.4.3.4 Cozida

Quadro 18 - Caracterização da argamassa com Lama Cozida

Mistura	Resíduo (%)	Areia (g)	Resíduo (g)	Cimento 32.5 (g)	Água (g)	R=A/C	Espalhamento (mm)	Super Plastificante (%-g)
---------	-------------	-----------	-------------	------------------	----------	-------	-------------------	---------------------------

Lama Cozida	10	6075	675	2250	1125	0,5	17	1-30
Lama Cozida	20	5400	1350	2250	1125	0,5	15	1,2-44
Lama Cozida	30	4725	2025	2250	1125	0,5	15	2-86
Lama Cozida	50	3375	3375	2250	1125	0,5	14,5	3-169

Relativamente à amassadura da Lama Cozida (Figura 31), não há nada a acrescentar comparando com o processo da Lama Seca. Sendo a única diferença o estado da Lama. Assim, basta seguir o mesmo procedimento descrito no subcapítulo anterior. No Quadro 18 pode-se ver a caracterização da argamassa com Lama Cozida.



Figura 31 - Amassaduras da argamassa com Lama Cozida

5.5 Caracterização das argamassas

5.5.1 Estado Fresco

5.5.1.1 Espalhamento

O ensaio de espalhamento (Figura 32) serve para medir a consistência e trabalhabilidade da argamassa, seguindo o princípio estabelecido na norma EN 1015-3. Este ensaio, realizou-se logo após a amassadura.

Coloca-se o molde tronco-cónico normalizado no centro do disco da mesa de espalhamento e preenche-se de argamassa até metade da sua capacidade, compactando esta camada com o auxílio do pilão, mais precisamente 10 pancadas (ação da gravidade).

De seguida, com outra camada conclui-se de preencher o molde, compactando com mais 10 pancadas do pilão. Rasando pelo limite superior do molde, retira-se o excesso da argamassa, extraindo de seguida o molde com cuidado.

Na fase imediata, executa-se 15 pancadas aplicadas no disco da mesa, dando uma pancada por segundo. O espalhamento foi obtido com a média de duas medições, uma em cada direção.

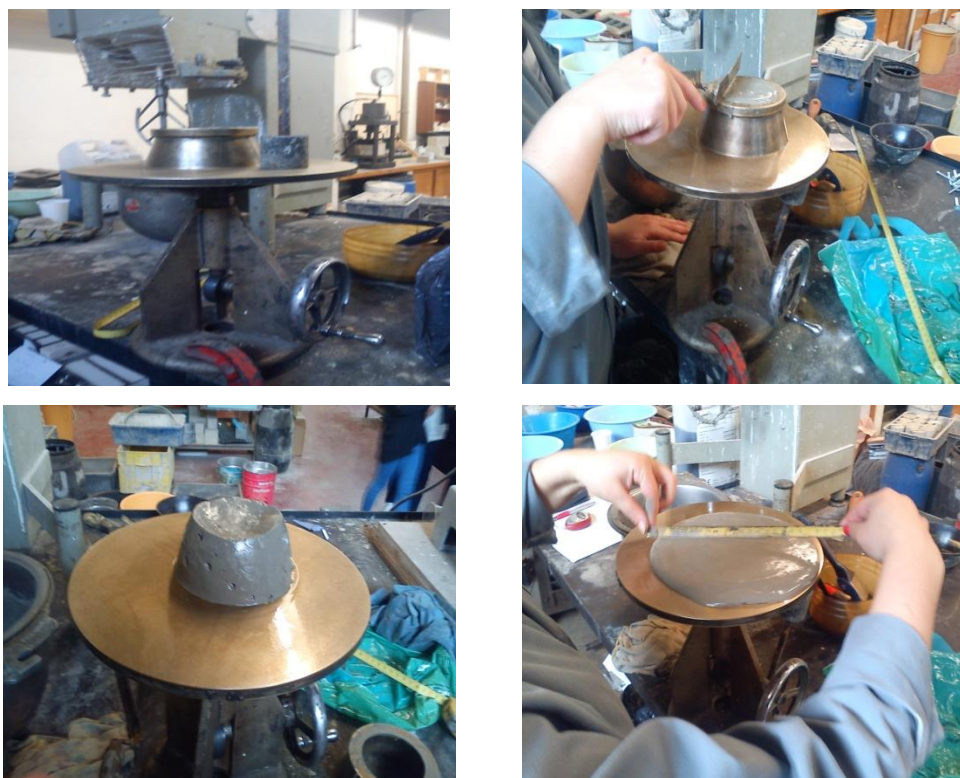


Figura 32 - Fases do ensaio de espalhamento

5.5.2 Estado Endurecido

Nesta fase, para caracterizar mecanicamente as argamassas no estado endurecido, realizou-se os ensaios de resistência à flexão e à compressão. De modo a ter conhecimento do funcionamento mecânico das argamassas, foram estipulados prazos para os ensaios, designadamente aos 2, 7, 28 e 56 dias.

Também para caracterizar o estado endurecido, foram realizados os ensaios de absorção da água por capilaridade e por imersão. Estes ensaios foram realizados aos 28 dias de vida de cada amassadura.

5.5.2.1 Resistência à flexão

Este ensaio, tem como princípio a determinação da resistência à flexão através da aplicação de uma carga a meio vão do provete prismático, utilizando para tal roletes colocados superior e

inferiormente como poderemos ver nas imagens que se seguem. O ensaio (Figura 33) para determinação da resistência à flexão realizou-se de acordo com o princípio da norma EN 1015-11(1999).



Figura 33 - Ensaio à Flexão

Depois do ensaio realizado regista-se a carga aplicada no provete até à sua rotura e calcula-se a resistência à flexão do provete.

Em suma, para a realização do ensaio, coloca-se o provete na prensa, centrado e com o eixo longitudinal na perpendicular com os apoios e com as distâncias corretas discriminadas na norma. Deve-se ter o cuidado, de ao colocar o provete, a face livre de moldagem não ficar em contacto com os apoios.

De seguida colocamos o terceiro rolete, na face superior, que vai aplicar a força descendente a meio do provete. Aplica-se uma força gradualmente crescente, de modo contínuo e sem choques, até à rotura do provete.

Na Figura 34 abaixo, retirada da própria norma, podemos ver com maior pormenor.

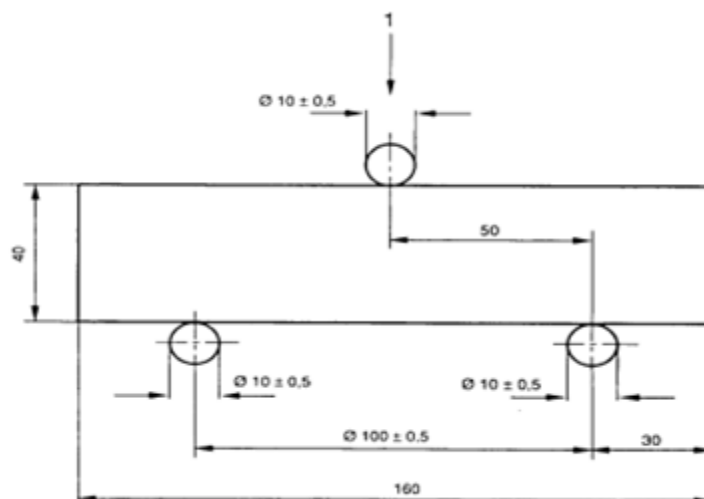


Figura 34 - Figura da norma da Flexão EN 1015-11 (1999)

A resistência à flexão é dada pela seguinte equação:

$$f = 1,5 \frac{F l}{b d^2} \quad (1)$$

em que:

f- é a resistência à flexão, em [MPa];

F - é a carga máxima aplicada de flexão, em [N];

l - é a distancia entre os roletes inferiores de apoio, em [mm];

b ; d - são as dimensões laterais do provete, em [mm].

5.5.2.2 Resistência à compressão

O ensaio a compressão tem como objetivo medir a resistência da argamassa a ações de compressão. Como no ensaio a flexão, este ensaio foi realizado segundo a norma EN 1015-11 (1999).

Para a realização deste ensaio, usa-se as duas metades do provete obtidas no ensaio à flexão. O ensaio desenvolve-se colocando uma das metades do provete no prato inferior da prensa, encostando de seguida o prato superior. Como na flexão, deve-se ter o cuidado da face superior de moldagem do provete não estar em contacto com os pratos da prensa. Aplica-se uma força gradualmente crescente, de modo contínuo e sem choques, até à rotura do provete, registando-se no final a força obtida.

A resistência à compressão do provete é dada pela equação:

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (2)$$

Onde:

f_c - Resistência à compressão [MPa]

F - Carga máxima na rotura [N]

A_c - Área da secção transversal do provete na qual a força de compressão foi aplicada [mm²].

Os resultados da resistência à compressão devem ser arredondados aos 0,5 MPa (N/mm²). Na Figura 35 pode-se ver o ensaio à compressão.



Figura 35 - Ensaio à Compressão

5.5.2.3 Determinação da absorção de água por capilaridade

Este ensaio tem como objetivo determinar a absorção de água por capilaridade da argamassa endurecida. O ensaio da Absorção Capilar teve por base a norma EN 1015-18:2002.

Para este ensaio foram utilizados 3 provetes de cada género de amassadura. Os provetes aos 28 dias foram retirados da água e colocados na estufa a $60 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 48h. Quando registada uma massa constante dos provetes, estes foram retirados e deixados a arrefecer à temperatura ambiente durante 24h. Depois de se encontrarem à temperatura ambiente os provetes foram pintados com uma tinta plástica (Figura 36), de modo a que, durante a realização do trabalho, a única face do provete em contacto com a água e que permita absorção capilar fosse a face inferior. Já com a tinta seca, os provetes eram submetidos ao ensaio de flexão, unicamente com o objetivo de os quebrar a meio, para assim proceder ao

ensaio de capilaridade. Depois de partido, uma das metades do provete, será colocada com a face obtida pela flexão em contacto com a água.

A absorção é geralmente expressa pela diferença entre a massa do provete seco e a massa do mesmo provete, depois de ser colocado em contacto com água durante determinado período de tempo. Os tempos de medição da massa dos provetes, durante o ensaio, foram precisamente 10min ; 30min ; 1h ; 1,5h ; 2h ; 3h ; 3,5h ; 4h ; 5h ; 6h ; 7h ; 7,5h ; 24h ; 30h e por fim 48h. No fim, a massa de água absorvida, é dividida pela área da superfície de contacto com a água.

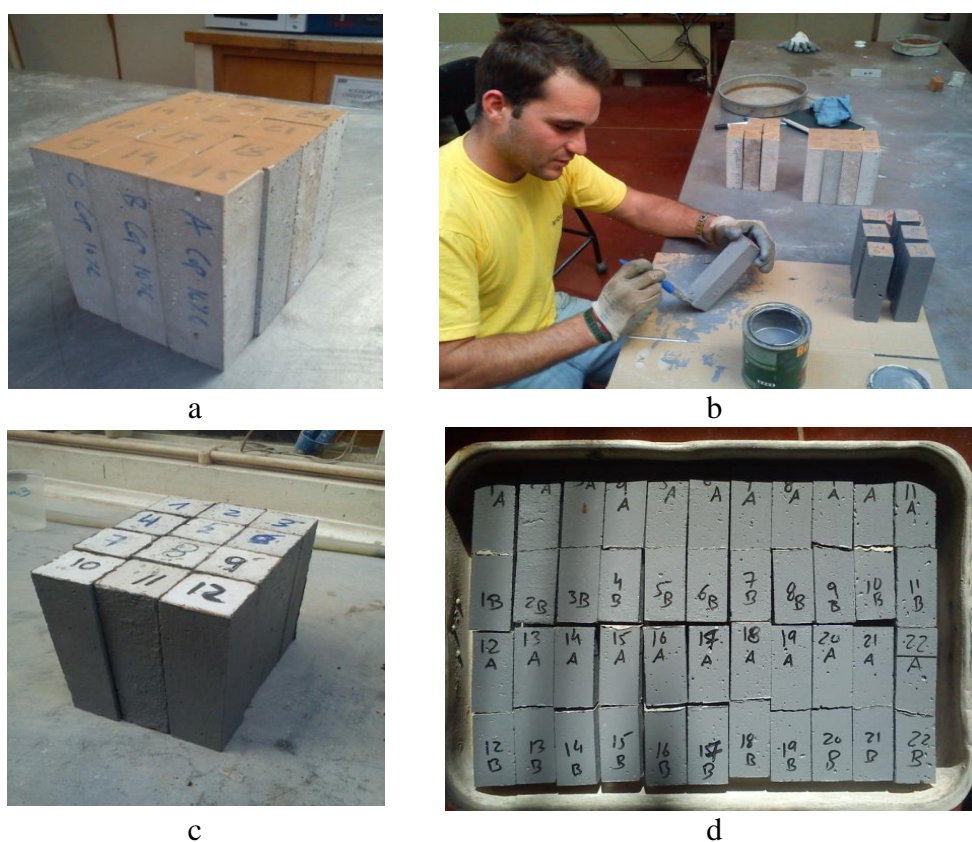


Figura 36 - a) Provetes b) Pintura c) Provetes pintados d) Provetes partidos

A metodologia de ensaio, resume-se em determinados pontos:

- Depois de pintados e partidos por flexão, os provetes com a face quebrada para baixo, são colocados num recipiente plano Figura 37. O recipiente continha uma rede no fundo, o que não permite à face em contacto com a água não encostar no fundo. Isto proporciona uma absorção uniforme de toda a base;

- No momento em que todos os provetes para o ensaio se encontram preparados, coloca-se água entre 5 a 10 mm de profundidade. Esta marca pode ser feita num dos provetes, para facilitar a medição. Esta medida também é mantida ao longo do ensaio, acrescentando água sempre que necessário. Para minimizar a evaporação o recipiente deve estar sempre fechado, abrindo-se unicamente para efectuar a pesagem,
- A medição foi realizada nos períodos de tempo já mencionados. No momento da medição cada provete era retirado e colocado cerca de 20 segundos sobre uma superfície não absorvente, no caso um vidro, para assim a água livre fosse retirada por gravidade. Depois procedia-se à pesagem.

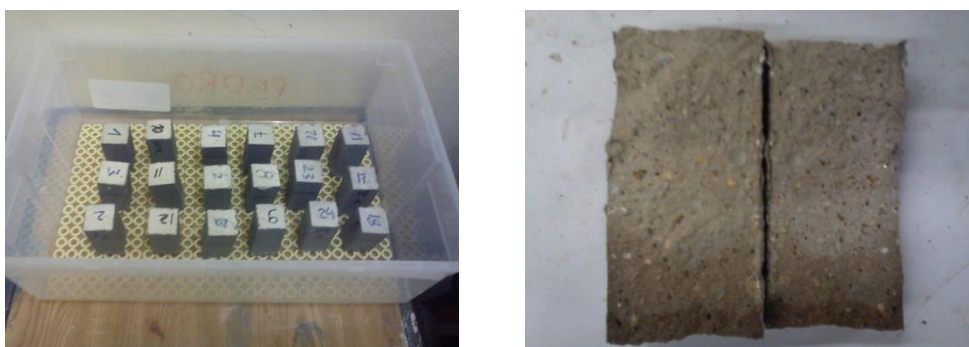


Figura 37 - Imagens do ensaio de Capilaridade

O coeficiente de absorção capilar pode ser calculado através da seguinte forma:

$$C = \frac{0,1 M2 - M1}{(m^2 \times \text{min}^{0,5})} \quad (3)$$

Em que:

M1- Massa do provete, após decorridos 10 min de ensaio (g)

M2- Massa do provete, após decorridos 90 min de ensaio (g)

5.5.2.4 Determinação da absorção de água por imersão

O ensaio de absorção de água por imersão (Figura 38) segue no essencial o determinado na especificação do LNEC E 394 (LNEC, 1993), tendo em atenção algumas modificações consideradas durante o ensaio devido ao material em análise não ser betão.

Para a realização deste ensaio foram usados três provetes 50x50x50 mm³ de cada tipo de amassadura. Os provetes, quando desmoldados e como já referido, foram submersos em água permanecendo assim até à data do ensaio.

Quando retirados, pode-se dizer que os provetes se encontram saturados. Neste momento, efetuamos as medições consideradas na norma, relativamente ao estado saturado dos provetes.

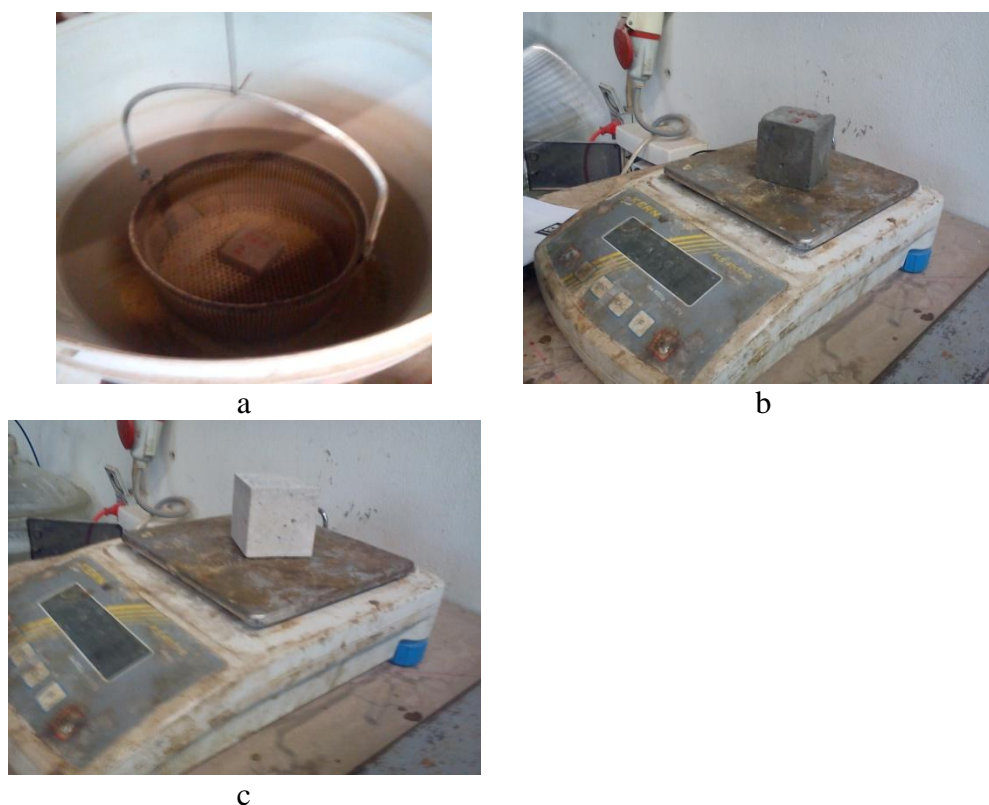


Figura 38 - Pesagens do ensaio Absorção por Imersão

Em traços gerais, obtém-se o peso do provete saturado, tendo o cuidado de anteriormente a cada pesagem limpar a superfície dos provetes com um pano húmido para retirar a água livre em excesso. Ainda no estado saturado pesam-se os provetes dentro de água, retirando assim a massa hidrostática após saturação.

Depois de pesados, os provetes são colocados numa estufa a 105-110 °C, até obter uma massa constante. Quando obtida massa constante obtém-se o peso do provete seco.

A absorção de água por imersão é dada através da seguinte fórmula:

$$A_i = \frac{m_1 - m_3}{m_1 - m_2} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

m1- massa do provete saturado no ar, expressa em gramas.

m2- massa hidrostática do provete saturado, expressa em gramas.

m3- massa do provete seco, expressa em gramas.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo, recai sobre a análise dos resultados obtidos, para caracterização das várias composições de argamassa. Foram realizados estudos para avaliar a resistência mecânica e a durabilidade das argamassas, quer no seu estado fresco, quer no estado endurecido.

6.1 Análise das argamassas no estado fresco

6.1.1 Espalhamento

Como já foi referido, o ensaio de espalhamento, serve para avaliar a trabalhabilidade da argamassa. Assim, o Quadro 19, apresenta os espalhamentos obtido em cada argamassa realizada.

Quadro 19 - Espalhamentos das Argamassas – Super Plastificante

Estado da Lama	Espalhamento (mm)	Super Plastificante (%-g)	
Padrão	14	-	
Húmida	10%	14	
	20%	15	
	30%	14,5	
	50%	15	1,5-85
Seca	10%	13.5	1-30
	20%	14	2,2-82
	30%	15	3-129
	50%	15	7-394
Cozida	10%	17	1-30
	20%	15	1,2-44
	30%	15	2-86
	50%	14.5	3-169

Este quadro, também faz referência às quantidades, de Super Plastificante, aplicadas nas amassaduras. Como se pode ver no quadro, era pretendido um espalhamento na ordem dos 14 a 15 cm. Em alguns casos, a água destinada à amassadura, não era suficiente para atingir o espalhamento desejado. Assim, foi necessário recorrer a um Super Plastificante. A aplicação do SP conferiu, a algumas amassaduras, a trabalhabilidade necessária.

Por análise do quadro, pode-se concluir que, conforme o aumento da percentagem de resíduo, a necessidade de Super Plastificante também vai aumentando. Uma vez que o SP é composto essencialmente por água, entende-se que a razão A/C, foi, efetivamente, aumentada conforme a incorporação de resíduo.

6.2 Análise das argamassas no estado endurecido

6.2.1 Resistência à flexão

Como já referido anteriormente, foi realizado o ensaio da resistência à flexão para a análise no estado endurecido das argamassas. Para a realização, de cada ensaio, foram usados 3 provetes de cada argamassa.

Como se pode ver, no Quadro 20, encontram-se os valores obtidos dos ensaios de flexão realizados para cada argamassa.

Quadro 20 - Resumo das tensões de flexão

Estado do Material	Percentagem de Lama	Flexão (MPa)			
		Dias			
		2	7	28	56
Padrão	0%	2,54	6,50	8,41	7,47
Lama Húmida	10%	4,47	3,69	7,02	7,48
	20%	3,98	4,80	5,47	6,44
	30%	3,17	4,72	5,01	3,96
	50%	2,30	4,05	3,62	3,79
	10%	5,96	6,83	7,99	6,51
Lama Seca	20%	4,49	5,80	5,95	8,32
	30%	3,85	5,94	5,70	6,97
	50%	2,95	3,85	8,90	5,42
	10%	5,75	6,22	8,38	7,85
Lama Cozida	20%	4,18	6,44	8,23	7,15
	30%	4,29	7,12	7,96	7,46
	50%	2,85	4,28	6,49	6,21

Do quadro anterior obtiveram-se três gráficos, um para cada tipo de aplicação do resíduo (Húmida; Seca; Cozida). Todos eles têm como referencia a argamassa padrão. A análise individual de cada gráfico pode induzir a:

Húmida

Na Figura 39 pode-se observar o gráfico obtido da compilação dos resultados sobre os ensaios de Flexão das argamassas com incorporação de Lama Húmida. Da sua análise pode-se interpretar:

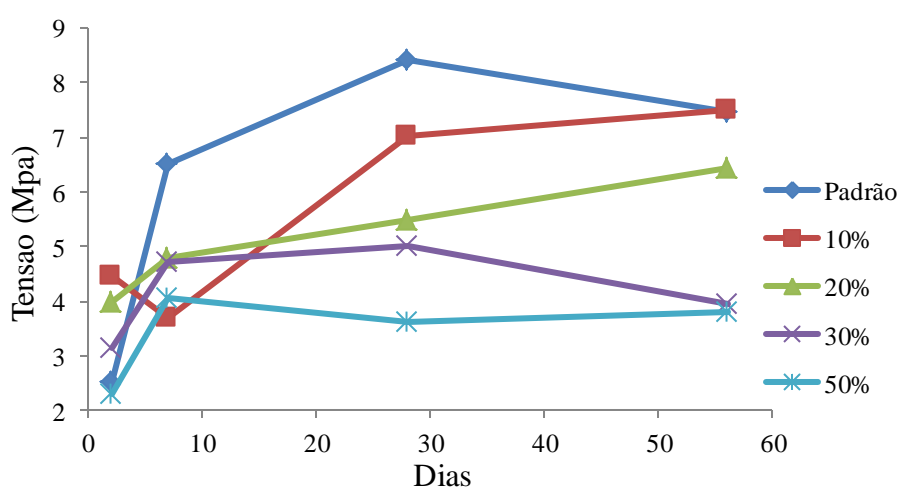


Figura 39 - Gráfico da resistência à flexão (Padrão/Húmida)

- ✓ Visualizando o gráfico, pode-se dizer que os valores dos provetes com a incorporação de resíduo, têm menor capacidade resistente que a Padrão. Excetuando nos dois primeiros dias de vida da argamassa.
- ✓ O gráfico, também, traduz uma tendência para a diminuição da resistência à flexão, com o aumento da porcentagem de Lama.
- ✓ Quer a argamassa Padrão, quer a argamassa com 30% de resíduo, obtém, aos 56 dias valores menores que aos 28 dias. Estes valores podem advir de anomalias experimentais.
- ✓ Por sua vez as argamassa com 20% e 40% de resíduo tem uma tendência de um aumento da resistência com o avanço da idade.
- ✓ A argamassa de 50% de incorporação de Lama, é a que apresenta menor resistência e tem tendência a estabilizar desde o 7 dia de idade.

Seca

Como na argamassa de Lama Húmida, também para a Lama Seca se fez um gráfico (Figura 40) resumindo as informações relativas ao ensaio de flexão para esta argamassa.

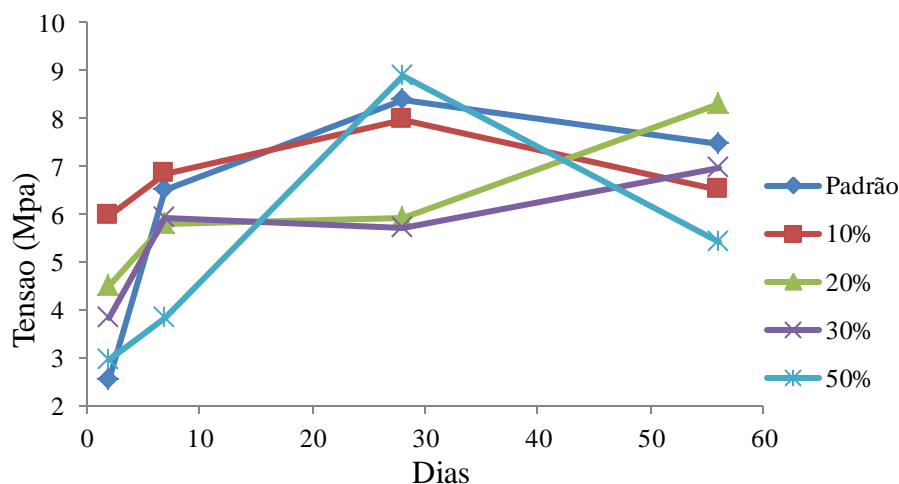


Figura 40 - Gráfico da resistência à flexão (Padrão/Seca)

- ✓ De um modo geral, por observação do gráfico pode-se concluir, que todas as argamassas estão abaixo dos valores registados na argamassa Padrão. Apenas ao 2 dia conseguem ser superiores à argamassa Padrão.
- ✓ O gráfico, tal como na situação anterior, apresenta uma tendência para a diminuição da resistência à flexão, com o aumento da percentagem de Lama.
- ✓ A argamassa Padrão e a argamassa de 10% resíduo, têm um desenvolvimento semelhante, em que aos 56 dias tendem a perder capacidade.
- ✓ As argamassas com 20% e 30% têm um comportamento muito semelhante e aproximado.
- ✓ Comparando com o gráfico anterior, as argamassas com incorporação de Lama, tenderam a aproximar os seus valores aos da argamassa Padrão.

Cozida

Na Figura 41 encontra-se o gráfico com os dados referentes ao ensaio à flexão da argamassa com incorporação de Lama Cozida.

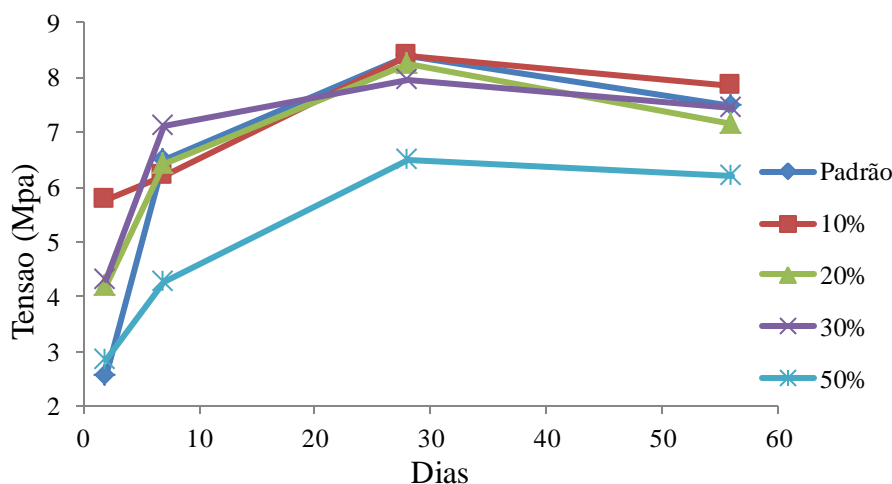


Figura 41 - Gráfico da resistência à flexão (Padrão/Cozida)

- ✓ Excluindo a argamassa com 50% de incorporação, analisando o gráfico, entende-se que todas as restantes argamassas têm um comportamento muito semelhante e aproximado da argamassa Padrão. Excetuando aos 2 dias de idade que têm todas melhor desempenho.
- ✓ Todas as argamassas aos 56 dias perdem capacidade resistente em relação aos 28 dias.
- ✓ A amassadura de 10%, tem a melhor capacidade nos primeiros dias e com uma evolução de capacidade resistente mais regular.

6.2.2 Resistência à compressão

Tal como o ensaio de flexão, também o ensaio da compressão foi usado, para a caracterização das argamassas no estado endurecido. Neste caso, para cada ensaio, foram usados 6 meios provetes, provenientes do ensaio à flexão.

No Quadro 21, estão reunidos os valores obtidos no ensaio de compressão. Através deste quadro, foi possível criar os gráficos que se seguem. Cada gráfico representa o funcionamento de cada tipo de argamassa com a devida percentagem de incorporação.

Quadro 21 - Resumo das tensões de compressão

Estado da Lama	Percentagem de Lama	Compressão (MPa)				
		Dias				
		2	7	28	56	
Húmida	Padrão	0	21,2	31,1	38,7	43,2
	10%		19,3	26,3	36,9	37,9
	20%		20,8	27,0	28,0	31,3
	30%		11,1	20,3	23,7	28,2
	50%		5,7	11,8	15,2	17,4
Seca	10%		25,3	27,7	38,3	38,6
	20%		24,1	28,3	27,5	37,8
	30%		18,5	23,6	32,9	26,7
	50%		8,8	13,0	20,4	21,0
	Cozida	10%		24,2	36,4	44,6
20%			28,3	37,8	45,5	49,8
30%			22,8	46,5	43,1	44,5
50%			9,7	21,4	29,7	30,4

Através deste quadro, foi possível criar os gráficos que se seguem. Cada gráfico representa o funcionamento de cada tipo de argamassa com a devida percentagem de incorporação.

6.2.2.1 Húmida

A Figura 42 contém o gráfico referente os dados do ensaio de compressão para a argamassa com Lama Húmida.

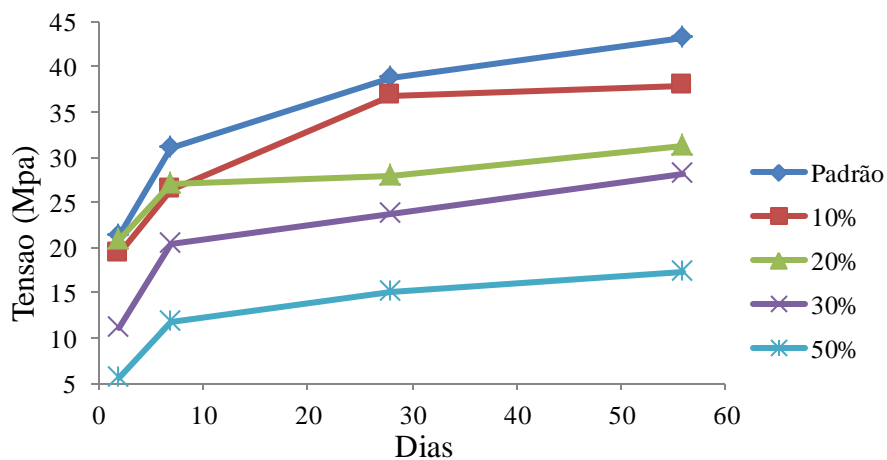


Figura 42 - Gráfico da resistência à compressão (Padrão/Húmida)

- ✓ Como se pode ver no gráfico, todas as argamassas se encontram abaixo dos valores obtidos pela argamassa Padrão.
- ✓ Todas as argamassas têm a tendência de aumentar a sua capacidade resistente, pelo menos até aos 56 dias.
- ✓ Através do gráfico pode-se dizer que conforme a incorporação de resíduo aumenta, a capacidade resistente das argamassas diminui.

6.2.2.2 Seca

Na Figura 43 encontra-se o gráfico com a análise dos dados retirados no ensaio à compressão realizados para as argamassas com incorporação de Lama Seca.

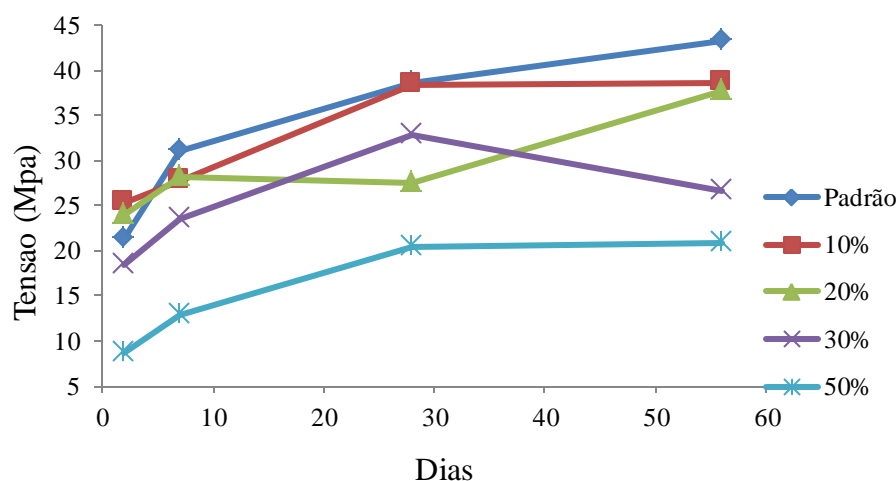


Figura 43 - Gráfico da resistência à compressão (Padrão/Seca)

- ✓ Todas as argamassas com introdução de resíduo, têm tendência a aumentar a sua resistência, relativamente aos primeiros dias.
- ✓ Excetuando a argamassa de 20% e 30%, que aos primeiros dias têm maior capacidade resistente que a argamassa Padrão, nas restantes situações, encontram-se todos abaixo da Padrão.
- ✓ Apercebe-se de uma aproximação de valores entre as argamassas de 10%, 20% e 30% comparativamente com a argamassa Húmida.

6.2.2.3 Cozida

Por fim, relativamente à compressão, apresenta-se o gráfico da Figura 44 com a respetiva análise.

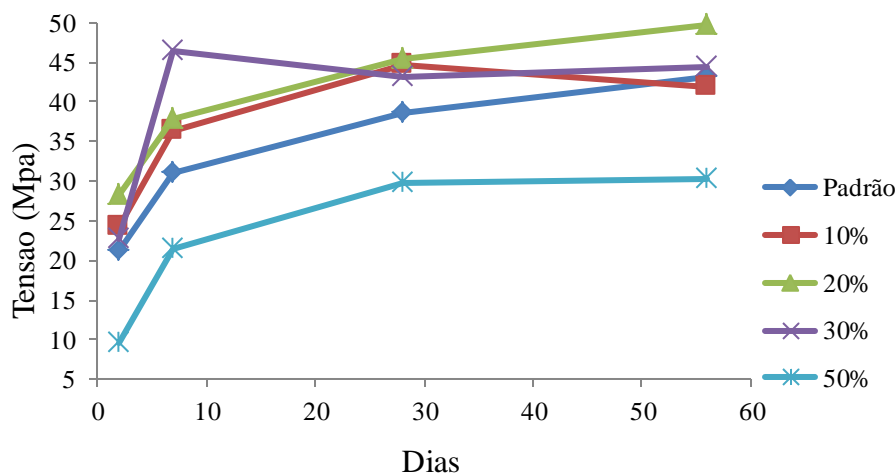


Figura 44 - Gráfico da resistência à compressão (Padrão/Cozida)

- ✓ Todas as argamassas têm um comportamento semelhante. Desde os primeiros dias de idade que as suas capacidades resistentes aumentam.
- ✓ As argamassas com 10%, 20% e 30% de incorporação de Lama, têm valores superiores à Padrão. Encontrando-se apenas a argamassa de 50% com valores inferiores.

6.2.3 Determinação da absorção de água por capilaridade

Depois dos ensaios realizados, os resultados foram compilados de modo a obter-se gráficos para a sua melhor interpretação.

6.2.3.1 Húmida

Para a argamassa com Lama Húmida, na Figura 46 encontra-se o gráfico com os valores dos Coeficientes de Capilaridade obtidos no Quadro 22. Apresentando-se depois as conclusões.

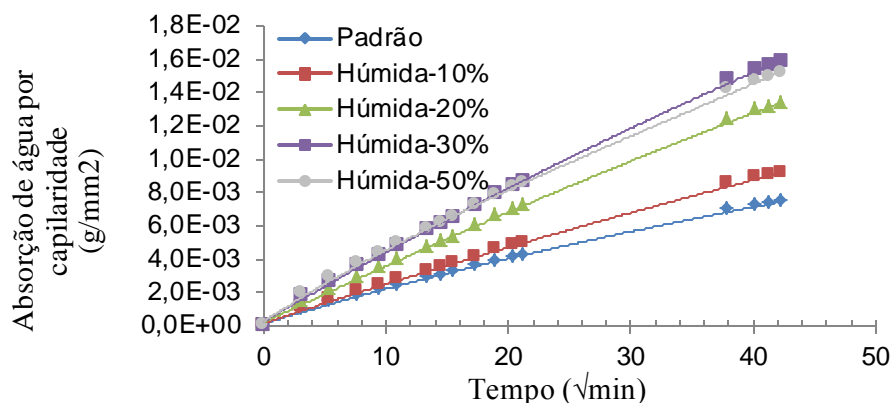
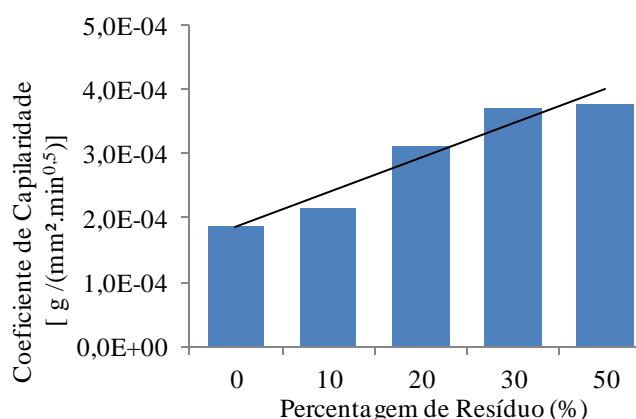


Figura 45 - Absorção de água por capilaridade (Húmida)

Coeficiente de absorção Capilaridade		
Estado do Resíduo	Percentagem de Resíduo (%)	g / (mm ² .min ^{0,5})
Húmida	0	1,88E-04
	10	2,16E-04
	20	3,11E-04
	30	3,71E-04
	50	3,78E-04



Quadro 22 - Coeficiente de Absorção Capilaridade (Húmida)

Figura 46 - Gráfico do Coeficiente de Capilaridade (Húmida)

- ✓ Através do gráfico da Figura 46, pode-se concluir que, com o aumento da percentagem de introdução de resíduo o coeficiente de capilaridade aumenta.
- ✓ Conclui-se ainda, que os valores da argamassa com 10% de incorporação têm valores muito aproximados da Padrão. O mesmo se pode dizer, das argamassas de 30% e 50% quando comparadas entre si.
- ✓ A tendência do coeficiente de capilaridade, em aumentar consoante a percentagem de resíduo, pode advir, do estado da Lama utilizado nas amassaduras realizadas. Como já foi referido a Lama quando recolhida tinha 25% de humidade, a qual não foi contabilizada para a realização da amassadura.

6.2.3.2 Seca

Para a argamassa com Lama Seca, na Figura 48 encontra-se o gráfico com os valores dos Coeficientes de Capilaridade obtidos no Quadro 23. Apresentando-se depois as conclusões.

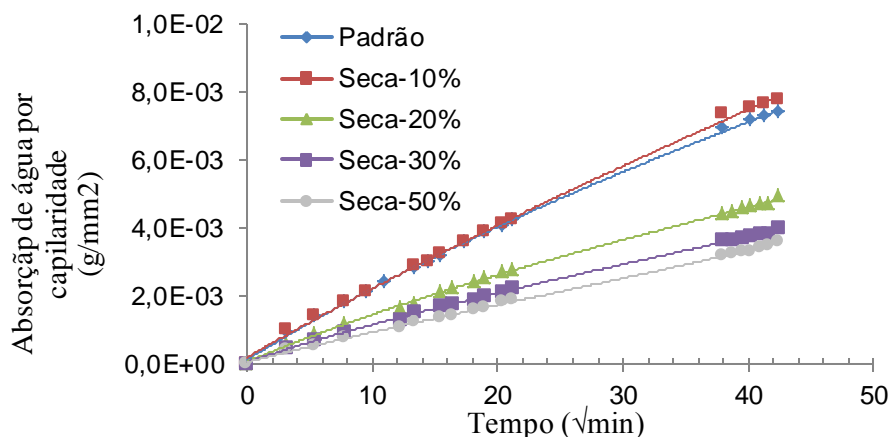


Figura 47 - Absorção de água por capilaridade (Seca)

Coeficiente de absorção Capilaridade		
Estado do Resíduo	Percentagem de Resíduo (%)	$\frac{g}{(mm^2 \cdot min^{0,5})}$
Seca	0	1,88E-04
	10	1,74E-04
	20	1,17E-04
	30	8,97E-05
	50	7,29E-05

Quadro 23 - Coeficiente de Absorção Capilaridade (Seca)

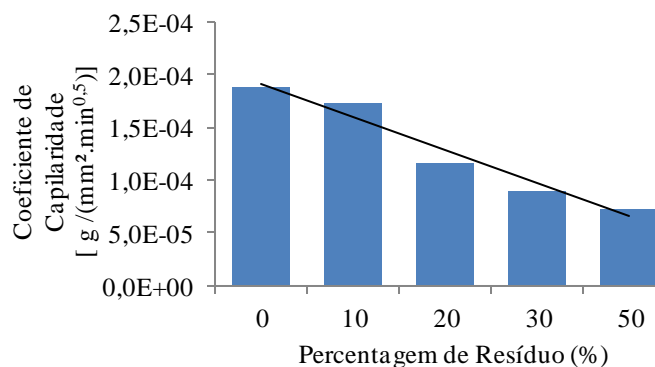


Figura 48 - Gráfico do Coeficiente de Capilaridade (Seca)

- ✓ Com a análise do gráfico da Figura 48, interpreta-se que com o aumento da percentagem de incorporação de Lama, o coeficiente de capilaridade diminui comparado com a Padrão.
- ✓ Visualiza-se um aproximar, das linhas do gráfico da absorção de água por capilaridade, entre a argamassa padrão e a de 10% e tendo as linhas das argamassas 20%, 30% e 50% um comportamento similar. Dá a impressão que os finos preenchem os vazios, aumentando assim, a compacidade da mistura
- ✓ Comparando a argamassa de Lama Seca com a argamassa de Lama Húmida, esta tem um comportamento contrário, pois o coeficiente de capilaridade tende para valores inferiores da Padrão.

- ✓ Continuando com a comparação, pode-se afirmar que a argamassa com Lama Seca não tem tanta absorção de água como a argamassa com incorporação de Lama Húmida.
- ✓ Com a Lama Húmida a A/C subiu substancialmente prejudicando o desempenho da Mistura.

6.2.3.3 Cozida

Para a argamassa com Lama Seca, na Figura 48 encontra-se o gráfico com os valores dos Coeficientes de Capilaridade obtidos no Quadro 23. Apresentando-se depois as conclusões.

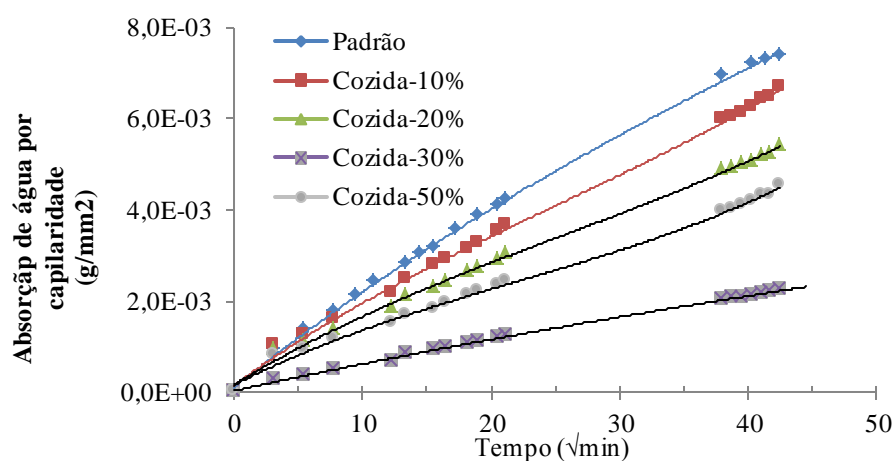


Figura 49 – Absorção de água por capilaridade (Cozida)

Coeficiente de absorção Capilaridade		
Estado do Resíduo	Percentagem de Resíduo (%)	g / (mm ² .min ^{0,5})
Cozida	0	1,88E-04
	10	1,28E-04
	20	1,04E-04
	30	4,49E-05
	50	7,59E-05

Quadro 24 - Coeficiente de Absorção Capilaridade (Cozida)

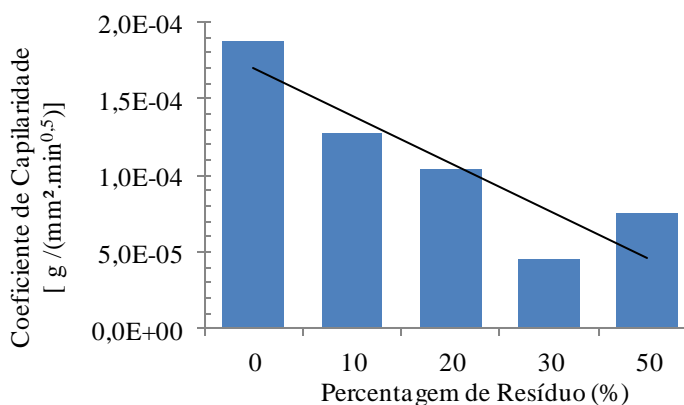


Figura 50 - Gráfico do Coeficiente de Capilaridade (Cozida)

- ✓ Como se pode reparar no gráfico da Figura 50, apercebe-se de uma tendência para a diminuição do coeficiente de capilaridade, consoante o aumento da percentagem de resíduo. Contrariando esta tendência temos o valor da argamassa de 30% que apresenta um valor muito baixo.
- ✓ Analisando o gráfico, também se pode concluir que todos os coeficientes têm valores abaixo da argamassa Padrão

6.2.4 Determinação da absorção de água por imersão

Como já foi referido inicialmente, procedeu-se à realização do ensaio de absorção de água por imersão. De seguida, são apresentados os resultados obtidos e a sua interpretação para cada situação de aplicação da Lama.

6.2.4.1 Húmida

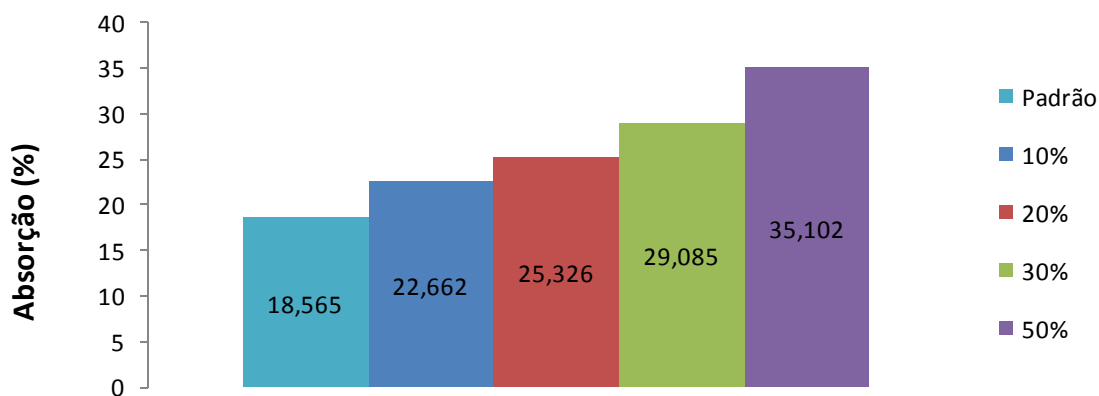


Figura 51 - Gráfico da Absorção por Imersão (Húmida)

- ✓ Como se pode ver no gráfico da Figura 51, a absorção tem tendência a aumentar, acompanhando assim, o aumento da percentagem de introdução de resíduo.
- ✓ Tendo a argamassa Padrão como referência, podemos dizer que as argamassas com incorporação de Lama têm uma absorção maior logo, uma porosidade aberta superior.

6.2.4.2 Seca

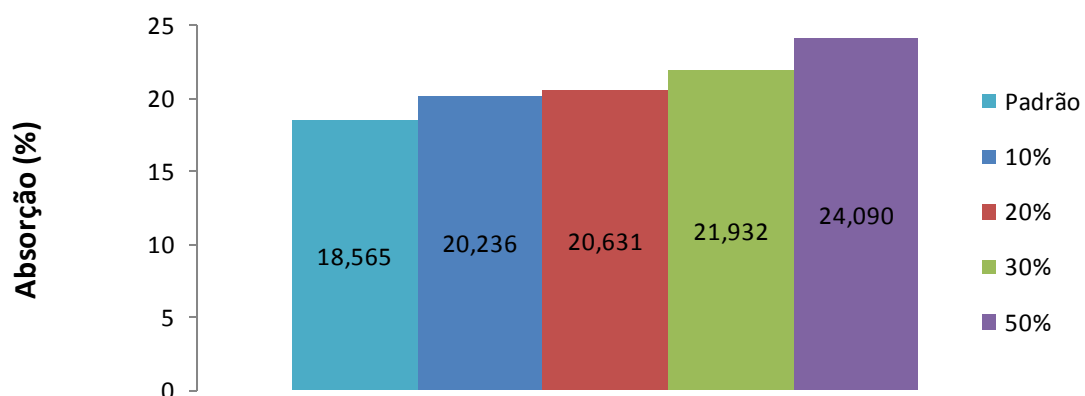


Figura 52 - Gráfico da Absorção por Imersão (Seca)

- ✓ Analisando o gráfico da Figura 52, pode-se dizer, que apresenta uma tendência de aumentar a absorção, consoante se aumenta a percentagem de Lama introduzida.
- ✓ Todas as argamassas apresentam valores de absorção superiores a argamassa Padrão.
- ✓ Comparativamente á Lama Húmida, a tendência é idêntica, reparando apenas, que de argamassa para argamassa a diferença do intervalo é substancialmente menor.

6.2.4.3 Cozida

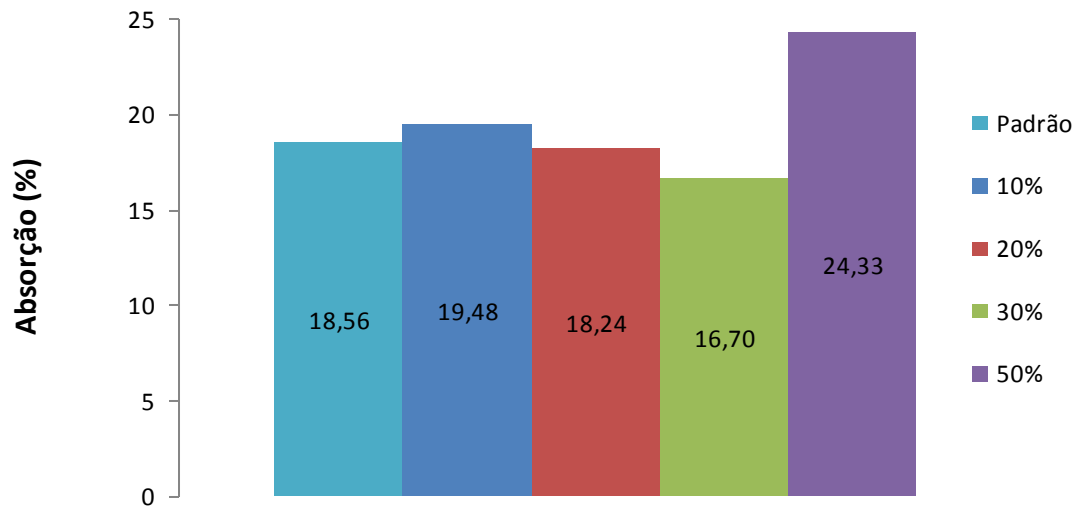


Figura 53 - Gráfico da Absorção por Imersão (Cozida)

- ✓ Visualizando o gráfico da Figura 53 e tendo como referência a argamassa Padrão, pode-se dizer que existem duas situações. Uma delas com valores superiores, a argamassa 10% e 50% e a outra situação com os valores inferiores, mais concretamente a argamassa de 20% e 30%.
- ✓ Conclui-se também, uma tendência decrescente do valor de absorção, para as argamassas de 10% a 30%. A argamassa 50% surge no fim com um valor elevado, quando comparada com as anteriores.

7 CONCLUSÕES

Como já foi referido, o acumular excessivo dos resíduos produzidos pela indústria da pedra natural pode originar um problema para a saúde pública e para o ambiente. Assim, procedeu-se à avaliação do efeito associado à incorporação de uma lama de pedreira granítica no desempenho de betões e argamassas. Para tal, procedeu-se à realização de uma campanha experimental que permitiu obter um conjunto de resultados. Após a análise dos resultados obtidos, é possível retirar algumas conclusões:

- De um modo geral, pode-se dizer que a mistura com incorporação de Lama que apresentou melhor comportamento foi a argamassa com Lama Cozida. Quer no ensaio à flexão, quer no ensaio à compressão, o desempenho da argamassa com Lama Cozida situou-se, sempre, próximo ou mesmo acima dos limites da argamassa Padrão.
- Relativamente à trabalhabilidade, observou-se que com o aumento da percentagem de incorporação de resíduo, a trabalhabilidade é afetada negativamente. Como a razão A/C não foi alterada ao longo do processo experimental, foi necessário recorrer à utilização de um superplastificante para obter o espalhamento próximo do determinado na argamassa padrão. Na sua aplicação, foi possível notar-se um aumento da gramagem, conforme o aumento da percentagem de incorporação do resíduo. A quantidade de superplastificante também variou conforme o estado da Lama a introduzir
- No ensaio de absorção de água por capilaridade, na argamassa húmida nota-se uma tendência no aumento da absorção, conforme o aumento da percentagem de incorporação. Por sua vez, para as argamassas com incorporação de lama, quer seca, quer cozida, constata-se uma tendência contrária. Este comportamento pode estar relacionado com quantidade de água presente na Lama, uma vez que a Lama húmida, quando aplicada já continha água, o que levou a um aumento da relação A/C real da composição.

- Fazendo referência ao ensaio de absorção de água por imersão, já se encontra um comportamento diferente do verificado nos ensaios de absorção por capilaridade. As argamassas com Lama húmida e seca têm um comportamento semelhante, em que todos os valores são superiores à da argamassa padrão e aumentam com o acréscimo da percentagem de resíduo. Isto indica uma porosidade aberta superior, e que aumenta com a percentagem de incorporação de resíduo. Por sua vez, a argamassa com introdução de Lama cozida apresentou um comportamento bastante diferente das restantes, em que os valores se encontram próximos da argamassa de referência.

- Falando novamente da argamassa com incorporação de Lama cozida, nos ensaios de caracterização mecânica (flexão e compressão), esta apresentou para as percentagens de 20% e 30%, valores iguais ou superiores à Padrão. Assim, sem ter em consideração outros factores, tais como a viabilidade económica da cozedura, pode-se dizer que este estado da Lama é o que se apresenta como melhor solução de substituição.

8 CONTRIBUIÇÃO PARA FUTUROS ESTUDOS

Durante a realização deste trabalho foram aparecendo algumas incógnitas e dificuldades, tendo algumas conseguido ser respondidas, total ou parcialmente, mas outras dúvidas ficaram sem resposta. Assim, com o intuito de contribuir para novos projectos semelhantes, fica aqui registado algumas dessas dificuldades.

- No caso da incorporação da Lama conforme recebida, ou seja húmida, deverá ser estudado um teor de humidade ótimo, que facilite a sua incorporação.
- Na Lama cozida deve-se estudar a viabilidade económica, pois para este fim será necessário uma cozedora industrial, o que pode implicar um investimento em fornos. Este investimento pode tornar esta opção inviável, apesar de ser a que apresentou melhores resultados de aplicação.
- Conforme o estado da aplicação da lama na argamassa, o processo de amassadura tem muita importância, pois este pode influenciar a homogeneidade da amassadura.
- A razão A/C é um fator muito importante neste estudo. Sendo assim, no início de outro trabalho, deve-se estudar vários cenários possíveis, para que, no caso de confronto com uma situação anormal, seja possível uma resolução sem o acréscimo de outros produtos, como no caso o superplastificante.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEP, 2003. *Rochas Ornamentais*. s.l:s.n.

Almeida, N. G. C. M. d., 2004. *Reutilização de Lamas de Tratamento de Rochas Ornamentais*. Lisboa: s.n.

Carvalho, E. A., Campos, A. R. & Peiter, C. C., 2004. *Mitigação do Empacto Ambiental Provocado por Efluentes de Serrarias de Rochas Ornamentais em Santo Antonio de Padua*. s.l:s.n.

Caxaria, A. A., 1995. *O Pólo de Industrias Transformadoras de ROchas Ornamentais de Pêro Pinheiro*. s.l:I congresso Internacional da Pedra.

Gestilamas Lda, 2001. *Ensaio de Caracterização Labotorial - subprodutos de Pedra Natural*. Pêro Pinheiro: s.n.

Gonçalves, J., 2000. *Utilização de Resíduos de Corte de Granito (RCG) como Adição para a Produção de Concreto*. Porto Alegre: s.n.

INETI, 2001. *Guia Técnico - Sector da Pedra Natuaral*. Lisboa: s.n.

Inspeção Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2004. *Temática das Pedreiras*. s.l:s.n.

Inspeção Geral do Ambiente e do ordenamento do Território, 2008. *MASSAS MINERAIS/PEDREIRAS*. s.l:s.n.

Instituto Geológico e Mineiro, 2000. *e-Geo - Sistema Nacional de Informação Geocientífica, Portugal- industria extractiva*. [Online] Available at: http://e-geo.ineti.pt/edicoes_online/diversos/ind_extractiva/parte1.htm#Elementos Estatísticos por

Regiões

[Acedido em 12 2011].

Instituto Geológico e Mineiro, 2002. *e-Geo - Sistema Nacional de Informação Geocientific.*

[Online]

Available at: <http://e-geo.ineti.pt/bds/pedreiras/estatisticas.aspx>

[Acedido em 22 12 2011].

Instituto Nacional de Estatística, 2009. *Estatísticas da Produção Industrial.* Edição 2012 ed.

s.l.s.n.

Lameiras, R. M., 2004. *Estudo do Potencial de Utilização do Residuo do Beneficiamento de Chapas de Granito (RBCG) como Material de Construção: Aplicação em Concreto.* Maceió:

s.n.

Martins, F. R., 2012. *Instituto Geográfico Português.* [Online]

Available at: http://www.igeo.pt/atlas/Cap3/Cap3b_8.html

[Acedido em 01 2012].

Nunes, P. J. d. O. M., 2010. *Recursos Geológicos não metálicos: Prospecção, Pesquisa, Exploração('rochas industriais, argilas, areias, ornamentais')*. Lisboa: s.n.

Nunes, P. J. d. O. M., 2010. *Recursos Geológicos não metálicos: Prospecção, Pesquisa, Exploração('rochas industriais, argilas, areias, ornamentais')*. Lisboa: s.n.

Pareek, S., s.d. *Gainful Utilization of Marble Wast: An Effort Towars Protection Of Ecology & Envirionment.* s.l.s.n.

Pereira, S. & Bonito, N., 2001. *Rewastetone.* s.l.s.n.

Roque, A. J., 2003. *Estudo da Viabilidade da Utilização Da Antiga Pedreira da Pedra Furada (Sintra) como Local de Deposição de Lamas Prduzidas a Partir de MArmores , Calccários e Granitos..* Lisboa: s.n.

Singh, S. & Vijayalakshim, V., 2004. *MARble Slurry - A New Building Material.* s.l.s.n.

Singh, S. & Vijayalakshmi, V., s.d. *Murple Slurry - A New Building Material.* s.l.s.n.

Soares, H. .. L. A., 1997. *Caracterização e Aplicabilidade na Industria dos Cimentos de LAmas de Rochas Ornamentais Transformadas na Regiao de Pêro Pinheiro*. Aveiro: s.n.

Soeiro, A., Veiga, M. R. & Branco, F. A., s.d. *Incorporação de Lamas de Serração de Marm.* s.l.s.n.

Tenorio, J. J. & Lima, L. A., 2004. *Desenvolvimento de Argamassas Através da Utilização do Resíduo do Beneficiamento de Chapas de Granito (RBCG)*. Maceió: s.n.

10 ANEXOS