



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Estudo experimental sobre o sistema modular GEOGREEN utilizando compósitos poliméricos com resíduos das minas da Panasqueira

João Luis Rocha Teixeira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor João Paulo de Castro Gomes
Co-orientador: Prof. Doutor Jorge Alberto Durán Suarez (Univ. Granada,
Espanha)

Covilhã, Outubro de 2013

À Bruna, aos meus pais e aos meus irmãos

Agradecimentos

A elaboração desta dissertação só foi possível com o apoio e colaboração de várias pessoas, às quais pretendo agradecer profundamente.

Em primeiro lugar, como não poderia deixar de ser, agradecer do fundo do coração à minha esposa Bruna Silva, pelo apoio e carinho demonstrado, pela compreensão da minha ausência ao longo de alguns meses e por ser a pessoa que me faz ser como sou.

De forma bastante vincada agradeço ao Prof. Doutor João Paulo de Castro Gomes e ao Prof. Doutor Jorge Alberto Durán Suarez (Univ. Granada, Espanha), orientador e coorientador científico, respetivamente, por toda a motivação, dedicação e disponibilidade, assim como, por todos os conhecimentos transmitidos.

Agradeço aos meus pais e irmãos, todo o carinho, incentivo, confiança e orgulho demonstrado em todos os momentos da minha vida, em particular ao meu pai por me transmitir valores e conhecimentos determinantes no meu processo de formação como homem.

Aos técnicos do laboratório, nomeadamente ao Jorge, pelo apoio e suporte técnico nos trabalhos laboratoriais.

Às empresas que participaram direta ou indiretamente, particularmente à empresa Mármore e Granitos José R. F. Melo, Lda. no desenvolvimento do programa experimental.

Expresso o meu agradecimento à Universidade da Beira Interior, pelos equipamentos e materiais disponibilizados, nomeadamente ao Centro de ótica da Universidade da Beira Interior, pelo apoio no ensaio de ótica. Agradeço também a todos os professores que participaram na minha formação académica.

Por último, mas não menos importante, agradeço a todos os amigos e colegas o incentivo e apoio, nos bons e nos maus momentos, da minha caminhada académica.

Resumo

Estudo experimental sobre o sistema modular GEOGREEN utilizando compósitos poliméricos com resíduos das minas da Panasqueira

O presente trabalho teve como objetivo principal explorar a possibilidade de criar uma opção ao sistema modular GEOGREEN. O sistema modular GEOGREEN é produzido com uma argamassa de ligante geopolimérico. Neste trabalho desenvolveu-se um estudo experimental do mesmo sistema, como opção, produzido com um compósito polimérico incorporando resíduos das Minas da Panasqueira.

O desenvolvimento da opção foi feita numa perspetiva de sustentabilidade ambiental, nomeadamente, pela incorporação de resíduos de minas e de resíduos de cortiça. É analisada a importância da sustentabilidade económica, e sociocultural na opção proposta, tirando partido da tecnologia moderna no âmbito dos compósitos poliméricos. É também apresentada a metodologia de escolha dos materiais utilizados e os procedimentos de produção realizados, de acordo com a finalidade do compósito polimérico a desenvolver.

Tendo em conta o custo de produção ser o mais reduzido possível, o aspeto visual da peça pretendida, assim como o bom desempenho para a sua finalidade, o desenvolvimento experimental deste estudo teve em conta os seguintes aspectos/fases: otimização da quantidade de resina, escolha da granulometria dos agregados(resíduos), incorporação de cortiça na mistura, obtenção de diferentes acabamentos superficiais, bem como, análise do seu comportamento mecânico e determinação de outras propriedades físicas, como a permeabilidade à água.

Palavras-chave

projeto GEOGREEN; resíduos de minas; compósitos poliméricos; sustentabilidade; aspeto visual;

Abstract

Experimental study about the modular GEOGREEN system using polymeric composites with Panasqueira mine waste

The present study had the main objective of explore the possibility to create an option to the modular GEOGREEN system. The modular GEOGREEN system is produced with a mortars geopolymeric binder. In this work was developed an experimental study of the same system, as an option, produced with a polymeric composite incorporating Panasqueira Mine wastes.

The development of option was made from a perspective of environmental sustainability, namely, by the incorporation of mine waste and cork waste. Is analyzed the importance of economic sustainability, and sociocultural in the proposed option, by taking advantage of modern technology in the context of polymeric composites. It also presented the method of choice of the materials used and production procedures performed, according to the purpose of developing polymeric composite.

Taking into consideration the production cost be the more reduced as possible, the visual aspect of the piece desired, as well as good performance for its purpose, the experimental development of this study took account the following aspects/phases: optimizing the amount of resin, choice of aggregates granulometry (residues), incorporation of cork in the mix, obtaining different surface finishes, as well as, analysis of the mechanical behavior and determination of other physical properties, such as the water permeability.

Keywords

GEOGREEN project; mine waste; polymeric composites; sustainability; visual aspect.

Resumen

Estudio experimental sobre el sistema modular GEOGREEN utilizando compuestos de polímeros con residuos de las minas de Panasqueira

El presente estudio tuvo como objetivo principal explorar la posibilidad de crear una opción al sistema modular GEOGREEN. El sistema modular GEOGREEN es producido con un mortero de aglutinante geopolimérico. En este trabajo se desarrolló un estudio experimental del mismo sistema, de forma opcional, fabricado con un compuesto polimérico, incorporando residuos de las minas de Panasqueira.

El desarrollo de la opción se hizo desde una perspectiva de sostenibilidad ambiental, esto es, con la incorporación de residuos mineros y residuos de corcho. Se analiza la importancia de la sostenibilidad económica y sociocultural en la acción propuesta, aprovechando la tecnología moderna en el contexto de los compuestos de polímeros. También se presenta la metodología de selección de materiales usados y los procedimientos de producción llevados a cabo, de acuerdo con el propósito del compuesto polimérico a desarrollar.

Teniendo en cuenta que el coste de producción es el más pequeña posible, el aspecto visual de la pieza deseada, así como un buen rendimiento para su finalidad, el desarrollo experimental de este estudio tuvo en cuenta los siguientes aspectos/fases: la optimización de la cantidad de resina, selección de la granulometría de los agregados (residuos), la incorporación de corcho en la mezcla, la obtención de diferentes acabados superficiales, bien como la análisis de su comportamiento mecánico y la determinación de otras propiedades físicas, tales como la permeabilidad al agua .

Palabras clave

Proyecto GEOGREEN; desechos de minas; compuestos de polímeros; la sostenibilidad, aspecto visual;

Índice Geral

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento do tema	1
1.2. Objetivos e justificação do tema	1
1.3. Organização da dissertação	2
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2. INTRODUÇÃO	4
2.1. Compósitos poliméricos	5
2.1.1. Polímeros	5
2.1.1.1. Combinação de monómeros	6
2.1.1.2. Estrutura dos polímeros	7
2.1.1.3. Reações de polimerização	8
2.1.1.4. Classificação dos polímeros	9
2.1.2. Compósitos poliméricos	10
2.2. Caraterísticas do compósito polimérico em estudo	12
2.2.1. Caraterísticas dos agregados das Minas da Panasqueira	12
2.2.2. Caraterísticas da resina Crystic 199	15
2.2.3. Propriedades mecânicas e físicas do compósito polimérico	18
CAPÍTULO 3 - SUPERFÍCIES AJARDINADAS - SISTEMA MODULAR GEOGREEN	19
3. INTRODUÇÃO	19
3.1. Superfícies ajardinadas	19
3.2. Sistema modular GEOGREEN	22
3.3. Sustentabilidade do sistema modular em estudo	23
3.4. Desenvolvimento experimental da peça modular estudada	24
CAPÍTULO 4 - PROGRAMA EXPERIMENTAL	27
4. INTRODUÇÃO	27
4.1. Otimização da mistura	27
4.2. Aspeto visual da base em estudo	29
4.2.1. Escolha da granulometria e incorporação de cortiça branca	29
4.2.2. Estudo do brilho e da cor	30
4.2.2.1. Experiências pré polimerização	31
4.2.2.2. Experiências pós polimerização	37
4.3. Comportamento mecânico e físico da peça modular em estudo	40
4.3.1. Ensaio de Ótica	40
4.3.2. Ensaio de resistência da aderência por tração (“Pull-off”)	47

4.3.3. Ensaio ao Choque Térmico	54
4.3.4. Ensaio de Permeabilidade	57
4.3.5. Ensaio à flexão e à compressão	66
4.4. Resultados e conclusões gerais do programa experimental	67
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	68
5. CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	68
5.1. Conclusões	68
5.2. Propostas de trabalhos futuros	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

Lista de Figuras

Capítulo 2

Figura 2.1 - A evolução dos materiais de engenharia. (Adaptado de Ashby, 1992, citado por Sant'anna, 2007)	4
Figura 2.2 - Representação esquemática de um homopolímero	6
Figura 2.3 - Representação esquemática de um copolímero	7
Figura 2.4 - Representação esquemática de um polímero amorfo	7
Figura 2.5 - Representação esquemática de cristalites num polímero semicristalino	8
Figura 2.6 - Esquema da classificação de polímeros	9
Figura 2.7 - Localização em Portugal (Google maps, 2013)	12
Figura 2.8 - Localização na Região Centro (Google maps, 2013)	12
Figura 2.10 - Escombreira Barroca Grande (Google maps, 2013)	13
Figura 2.11 - Escombreira do Rio (Google maps, 2013)	13
Figura 2.9 - Localização das escombreiras (Google maps, 2013)	13
Figura 2.12 - Efeito “montanha” das escombreiras da Barroca Grande (A terceira dimensão, 2013)	13
Figura 2.13 - Vista parcial da escombreira da Barroca Grande (Olhares, 2013)	13
Figura 2.14 - Curva granulométrica dos agregados das Minas da Panasqueira (retirado de Antunes, 2009)	14
Figura 2.15 - Cor e textura de resíduos grossos das Minas da Panasqueira (retirado de Castro Gomes, J.P. et al., 2011)	14
Figura 2.16 - Resíduo no estado natural - cor cinza	15
Figura 2.17 - Resíduos envelhecidos - cor ocre	15
Figura 2.18 - Resíduos calcinados - cor avermelhada	15
Figura 2.19 - Resina Crystic 199, Ativador A-101 e catalisador C-201 (retirado de Cano, 2007)	16

Capítulo 3

Figura 3.1 - Áreas de socialização - Meera Sky Garden House (Goods Home Design, 2013)	20
Figura 3.2 - Agricultura urbana (ADENE, 2011)	20
Figura 3.3 - Coberturas ajardinadas - Earth House Estate Lättenstrasse, Dietikon, Switzerland (Architizer, 2013)	21
Figura 3.4 - Coberturas ajardinadas - Hunting Lodge on a Game Preserve, Czech Republic (Architizer, 2013)	21
Figura 3.5 - Fachadas ajardinadas - Vent Vert, Tokyo, Japan (Architizer, 2013)	22
Figura 3.6 - Fachadas ajardinadas - House In Travessa Do Patricínio, Lisbon, Portugal (Architizer, 2013)	22
Figura 3.7 - Composição da peça modular (UBI, 2013)	23
Figura 3.8 - Esquema da peça modular com vegetação (Manso, M., June 2013)	23
Figura 3.9 - Recolha dos resíduos das Minas da Panasqueira	25

Figura 3.10 - Peneiração dos agregados	25
Figura 3.11 - Limpeza dos agregados	25
Figura 3.12 - Agregados de 4 a 8mm e de 2 a 4mm	25
Figura 3.13 - Preparação do molde	26
Figura 3.14 - Pesagem da resina e das suas componentes	26
Figura 3.15 - Mistura da resina com as suas componentes	26
Figura 3.16 - Envolvimento dos agregados e a cortiça com resina	26
Figura 3.17 - Base final após a desmoldagem	26
Figura 3.18 - Peça modular em várias perspetivas	26
Figura 3.19 - Peça modular final após colagem da base aos alvéolos de cortiça	26

Capítulo 4

Figura 4.1 - Provetes com diferentes composições	28
Figura 4.2 - Base da Peça modular em estudo	30
Figura 4.3 - Pormenor da base com visualização dos agregados e da cortiça	30
Figura 4.4 - Imagem preliminar da experiência a)	31
Figura 4.5 - Mistura no molde - experiência a)	32
Figura 4.6 - Mistura dos agregados em contacto com esferovite e vaselina - experiência a)	32
Figura 4.7 - Imagem preliminar da experiência b)	33
Figura 4.8 - Imagem preliminar da experiência c)	33
Figura 4.9 - Molde com geotêxtil seco	34
Figura 4.10 - Molde com geotêxtil impregnado em tolueno/acetona/água	34
Figura 4.11 - Molde com a mistura por cima do geotêxtil	34
Figura 4.12 - Desmolde da mistura	34
Figura 4.13 - Imagem preliminar da experiência d)	35
Figura 4.14 - Mistura com brilho (à esq.) e sem brilho (à dir.)	35
Figura 4.15 - Misturas de granulometria grande, brilhante (à esq.) e sem brilho (à dir.)	36
Figura 4.16 - Misturas de granulometria pequena, brilhante (à esq.) e sem brilho (à dir.)	36
Figura 4.17 - Comparação entre a mistura com brilho (à esq.) e sem brilho (à dir.)	36
Figura 4.18 - Polimento com disco abrasivo	37
Figura 4.19 - Mistura submetida ao polimento com disco abrasivo	38
Figura 4.20 - Mistura sem polimento (à esq.) e com o polimento (à dir.)	38
Figura 4.21 - Jateamento com areia	39
Figura 4.22 - Mistura submetida ao jato de areia	40
Figura 4.23 - Face da mistura com superfície sem brilho	41
Figura 4.24 - Face da mistura com superfície brilhante	41
Figura 4.25 - Amostra com a face brilhante	41
Figura 4.26 - Amostra com a face oposta sem brilho	41
Figura 4.27 - Aparelho de corte de precisão - Struers Minitom	42
Figura 4.28 - Zona de seccionamento da amostra	42

Figura 4.29 - Microscópio ótico Leica wild M3B	42
Figura 4.30 - Fronteira entre a zona de arrancamento e a resina	42
Figura 4.31 - Vista ao microscópio ótico da fronteira entre a zona de arrancamento e a resina (16x)	42
Figura 4.32 - Microscópio ótico Leica MEF4M	43
Figura 4.33 - Visualização da secção da amostra com superfície brilhante (200x)	43
Figura 4.34 - Visualização da secção da amostra com superfície sem brilho (200x)	43
Figura 4.35 - Medição da espessura de resina pelo microscópio ótico Leica MEF4M (200x)	44
Figura 4.36 - Microscópio eletrónico de varrimento	45
Figura 4.37 - Medição da espessura de resina pelo microscópio eletrónico de varrimento (200x)	45
Figura 4.38 - Imagem aumentada 150x	46
Figura 4.39 - Imagem aumentada 150x	46
Figura 4.40 - Imagem aumentada 350x	46
Figura 4.41 - Imagem aumentada 350x	46
Figura 4.42 - Imagem aumentada 1000x	46
Figura 4.43 - Imagem aumentada 1000x	46
Figura 4.44 - Peça modular em estudo	47
Figura 4.45 - Esquema do ensaio de arrancamento	48
Figura 4.46 - Rotura pela interface do disco com a resina	48
Figura 4.47 - Rotura pela interface da resina com a cortiça	48
Figura 4.48 - Rotura pela cortiça	48
Figura 4.49 - Rotura pela interface da cortiça com o compósito polimérico	48
Figura 4.50 - Rotura pelo compósito polimérico	48
Figura 4.52 - Provetes criados de raiz para ensaio de arrancamento	49
Figura 4.51 - Provetes reaproveitados para ensaio de arrancamento	49
Figura 4.53 - Composição dos provetes para ensaio de arrancamento	50
Figura 4.54 - a) Caroteamento da cortiça; b) Caroteamento do compósito polimérico; c) Proвете caroteado; d) Disco colado ao provete;	50
Figura 4.55 - Discos colados aos provetes	51
Figura 4.56 - Parafuso de alta resistência fixo ao disco	51
Figura 4.57 - Mecanismo alternativo de carregamento	51
Figura 4.58 - Resistência de aderência à tração	53
Figura 4.59 - Rotura pela cortiça (à esq.) e rotura pela interface do compósito polimérico com a cortiça (à dir.)	53
Figura 4.60 - Provetes para ensaio ao choque térmico	54
Figura 4.61 - Composição de um provete para ensaio ao choque térmico	54
Figura 4.62 - Provetes mergulhados em água	55
Figura 4.63 - Temperatura da água	55
Figura 4.64 - Provetes na mufla	55

Figura 4.65 - Temperatura da mufla	55
Figura 4.66 - Resistência de aderência à tração após ensaio ao choque térmico	57
Figura 4.67 - Esquema da permeabilidade vertical (à esq.) e permeabilidade horizontal (à dir.)	58
Figura 4.68 - Misturas de ensaio	60
Figura 4.69 - Provete impermeabilizado lateralmente	62
Figura 4.70 - Ensaio à permeabilidade vertical	62
Figura 4.71 - Saturação do provete	62
Figura 4.72 - Provete impermeabilizado na face inferior	64
Figura 4.73 - Coeficiente de permeabilidade vertical e horizontal das misturas estudadas	65

Lista de Tabelas

Capítulo 2

Quadro 2.1 - Matrizes poliméricas	10
Quadro 2.2 - Tipos de resina de poliéster mais utilizadas e suas aplicações	15
Quadro 2.3 - Propriedades físicas da Resina Crystic 199 em estado líquido	17
Quadro 2.4 - Propriedades físicas da Resina Crystic 199 polimerizada	17
Quadro 2.5 - Características mecânicas e físicas do compósito polimérico em estudo	18

Capítulo 3

Quadro 3.1 - Quantidade da mistura ideal da base - “D”	24
Quadro 3.2 - Quantidade dos diferentes componentes da mistura	24

Capítulo 4

Quadro 4.1 - Composição dos diferentes provetes	28
Quadro 4.2 - Misturas de estudo	29
Quadro 4.3 - Quantidades da mistura da experiência a)	31
Quadro 4.4 - Quantidades da mistura da experiência b) e c)	34
Quadro 4.5 - Quantidades da mistura da experiência d)	35
Quadro 4.6 - Quantidade das misturas poliméricas para ensaio de arrancamento	50
Quadro 4.7 - Resultados e tipos de rotura recolhidos no ensaio de arrancamento	52
Quadro 4.8 - Resultados finais e tipos de rotura do ensaio de arrancamento	52
Quadro 4.9 - Quantidade das misturas poliméricas para ensaio ao choque térmico	55
Quadro 4.10 - Resultados das pesagens com os provetes secos	56
Quadro 4.11 - Resultados finais e tipos de rotura do ensaio de arrancamento após ensaio ao choque térmico	56
Quadro 4.12 - Misturas de ensaio para permeabilidade vertical e para a permeabilidade horizontal	60
Quadro 4.13 - Características dos provetes a ensaiar	60
Quadro 4.14 - Resultados do ensaio à permeabilidade vertical	62
Quadro 4.15 - Coeficiente de permeabilidade vertical	63
Quadro 4.16 - Resultados do ensaio à permeabilidade horizontal	64
Quadro 4.17 - Coeficiente de permeabilidade horizontal	65
Quadro 4.18 - Características mecânicas e físicas do compósito polimérico (Antunes, 2009).	66
Quadro 4.19 - Resultados gerais dos ensaios	67

Capítulo 5

Quadro 5.1 - Resultados gerais dos ensaios	68
--	----

Lista de Acrónimos

ADENE	Agência para a energia
COUBI	Centro de ótica da Universidade da Beira Interior
FCT	Fundação para a Ciência e Tecnologia
LCS	Laboratório Caminos de Santander
UBI	Universidade da Beira Interior

Capítulo 1 - Introdução

1. Introdução

1.1. Enquadramento do tema

O tema deste trabalho baseia-se em duas áreas consideradas “verdes”, a reutilização de resíduos de minas e a incorporação dos resíduos no projeto GEOGREEN.

A indústria de minas e pedreiras na Europa produz mais de metade do total de resíduos industriais, que são, na maioria, depositados em aterros sanitários ou em escombros a céu aberto, pondo em risco o ambiente e a saúde pública. Em Portugal, verifica-se o mesmo panorama. A urgência na reutilização desses resíduos tem vindo a manifestar-se cada vez mais. A dificuldade está na existência de projetos que valorizem os resíduos e os reutilizem de forma sustentável.

Em Portugal, a reabilitação do edificado existente é posta de parte, exibindo-se uma expansão urbana assente maioritariamente na construção nova. Deste modo, compreende-se o porquê da reabilitação no país ficar muito aquém da média europeia. Atualmente, a par da promoção da reabilitação urbana em oposição à construção nova, surgem medidas urbanísticas que incentivam a utilização de revestimentos ajardinados. As superfícies ajardinadas podem constituir um elemento diferenciador de uma determinada construção, quer por questões funcionais, ambientais, estéticas, económicas ou sociais (Manso, M. et al., 2013). O sistema modular GEOGREEN tem como conceito a execução de um sistema de peças modulares para a formação de coberturas e fachadas ajardinadas, adaptáveis a edifícios novos ou a reabilitar.

O estudo sobre o sistema modular GEOGREEN utilizando compósitos poliméricos com resíduos das minas da Panasqueira, valorizando-os na produção de uma peça modular, constitui o objetivo deste trabalho.

1.2. Objetivos e justificação do tema

Em Portugal, cerca de 20% dos resíduos industriais provem de minas e pedreiras, particularmente das Minas da Panasqueira, sendo esta considerada uma das maiores minas de tungsténio do mundo. Na década de 80 as Minas da Panasqueira produziam cerca de 300 toneladas de resíduos de rocha por dia, atualmente produzem cerca de 100 toneladas diárias (Castro Gomes, J.P et al., 2011).

Para além da finalidade deste trabalho apresentar uma alternativa ou uma opção no momento da execução do projeto por parte do arquiteto relativamente às superfícies ajardinadas,

nunca foi excluído um interesse mais abrangente na sustentabilidade ambiental, económica e sociocultural, em todos as vertentes do mesmo.

Se por um lado a opção de realizar este estudo para contribuir num projeto como o GEOGREEN, que por si só, é um projeto com preocupações de sustentabilidade (Manso, M. et al, 2012), por outro, os procedimentos, os materiais, assim como todos os aspetos na produção da peça modular proposta, ostentam as mesmas preocupações.

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo principal explorar a possibilidade de criar uma opção ao sistema modular GEOGREEN. O sistema modular GEOGREEN é produzido com uma argamassa de ligante geopolimérico. Neste trabalho desenvolveu-se um estudo experimental do mesmo sistema, como opção, produzido com um compósito polimérico incorporando resíduos das Minas da Panasqueira.

1.3. Organização da dissertação

A presente dissertação terá 5 capítulos, incluindo este, na sua estrutura. Esses capítulos serão organizados da forma seguinte:

No capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica, que apresenta um breve esclarecimento sobre compósitos de matriz polimérica. Inicialmente descreve o impacto da tecnologia moderna na manipulação dos polímeros. São analisadas as propriedades dos polímeros sintéticos, assim como, apresentados vários exemplos dos mesmos. Neste capítulo são também explorados os compósitos de maior interesse na área da construção. Por último, é feita uma revisão da informação existente sobre compósitos poliméricos com resíduos das Minas da Panasqueira.

O capítulo 3 demonstra a importância das superfícies ajardinadas, numa introdução ao sistema modular GEOGREEN estudado no presente trabalho. São apresentadas as vantagens, em várias vertentes, para os edifícios que são portadores destes sistemas quer em fachadas ou em coberturas. Encontra-se também neste capítulo a metodologia utilizada na produção da peça em estudo, assim como, o interesse dessa produção ser sustentável.

O capítulo 4 apresenta todo o trabalho laboratorial realizado no estudo e produção de uma peça modular que se apresenta como opção à peça modular GEOGREEN. Este capítulo é apresentado de forma faseada, inicia com o estudo da otimização da mistura, explora o aspeto visual da base da peça modular e caracteriza, recorrendo a ensaios, a peça final.

O capítulo 5 expõe os resultados obtidos no programa experimental e finda com a apresentação de propostas para trabalhos futuros.

No fim do trabalho apresentam-se as referências bibliográficas.

Capítulo 2 - Revisão bibliográfica

2. Introdução

Desde a Antiguidade, o desenvolvimento e os avanços da humanidade sempre estiveram intimamente ligados à capacidade do homem em explorar, produzir e manipular materiais para suprir as suas necessidades. Com objetivos muito concretos, como o conforto, a segurança contra os inimigos, a proteção aos fenómenos naturais, etc., levaram o homem a desenvolver, cada vez mais, os materiais que lhes eram disponíveis. Compreende-se assim a maneira como se denominam as Eras ao longo da história.

O primeiro material a ser utilizados pelo homem foi a madeira, de seguida a pedra, posteriormente os metais, a cerâmica, o vidro e finalmente os polímeros. (Molinari, 2007)

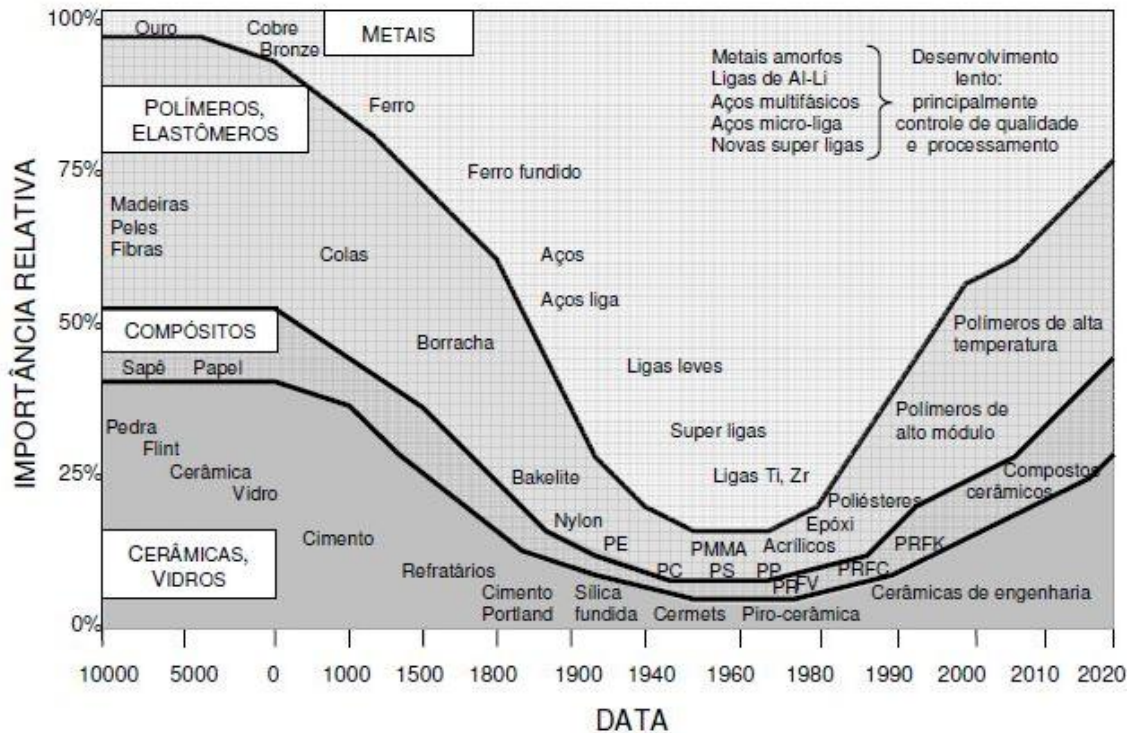


Figura 2.1 - A evolução dos materiais de engenharia. (Adaptado de Ashby, 1992, citado por Sant'anna, 2007)

Os polímeros são denominados também por macromoléculas porque as suas moléculas são muito maiores que as de qualquer outro material. Até os anos 20 do século passado não foi reconhecido nem aceite, pela comunidade científica, a estrutura macromolecular dos polímeros. Estes podem-se classificar por materiais naturais e sintéticos.

Tal como os materiais recolhidos diretamente da natureza são designados naturais, também os polímeros que podem ser extraídos da natureza são designados polímeros naturais (Educa, 2013). São exemplos de polímeros naturais a madeira, o amido, algodão, borracha, lã, cabelo, couro, entre outros (Antunes, 2009).

Com o passar do tempo surgiu a necessidade de se encontrar outros materiais que se comportassem de forma semelhante aos polímeros naturais, daí o aparecimento dos polímeros sintéticos. Os primeiros polímeros sintéticos de natureza orgânica denominaram-se por “plásticos”. Os plásticos, o nylon, elastómeros, entre outros são exemplo de polímeros sintéticos.

A ciência dos polímeros revolucionou bastante o conceito tradicional da ciência dos materiais. Normalmente estuda-se em primeiro lugar a estrutura e as propriedades de um material, para depois modificar a sua forma física no sentido de satisfazer determinadas necessidades. A ciência dos polímeros permite combinar a composição química de um material sintético para produzir um material com as propriedades pretendidas.

Na atualidade surge a necessidade de se produzir materiais com propriedades melhoradas que superem as limitações existentes, exemplo desses são os materiais reforçados ou compósitos. Os compósitos são uma combinação dos mais variados materiais constituídos por uma matriz (fase continua) e por um possível reforço (fase discreta). A matriz (metálica, polimérica ou cerâmica) é o material maioritário que contém o reforço que pode estar sobre a forma de partículas, lâminas ou fibras (Barrera, et al., 2012).

Os exemplos de compósitos de maior interesse são as argamassas e os betões poliméricos, também conhecidos por PM e PC, abreviações da denominação técnica em língua inglesa (Polymer Mortar e Polymer Concrete).

No presente trabalho irá ser apresentado um compósito polimérico específico, constituído por agregados das Minas da Panasqueira e como ligante a utilização de uma resina de poliéster insaturado.

2.1. Compósitos poliméricos

O objetivo deste ponto passa por apresentar sucintamente a informação existente sobre os polímeros e os compósitos mais importantes e sobre o compósito polimérico em estudo.

2.1.1. Polímeros

Possivelmente não existe um tipo de material mais característico do impacto da tecnologia moderna no dia-a-dia que os polímeros. Tanto no mundo industrial, assim como os não profissionais denominam os polímeros de uma forma genérica de “plásticos”.

Concretamente, pode-se afirmar que é a partir de 1945 que se começa a fabricar estes novos materiais os “plásticos”, em produções crescentes (Bilurbina, et al., 1990) Na construção inicia-se também o uso e o desenvolvimento de “plásticos”, tanto como materiais novos individualizados como em melhoria de outros materiais da construção convencional.

A palavra “plástico” abrange muitos significados. Representa uma classe de materiais que podem ser moldados; como adjetivo, “plástico” pode significar a capacidade de ser moldado; Outro uso de “plástico” como adjetivo é a descrição da deformação permanente sem rutura, como a “deformação plástica” (Smith, 2003). Neste sentido a denominação “plástico” pode ser pouco precisa.

Os polímeros, como material complexo, podem ser objeto de estudo em várias vertentes, deste modo serão apresentadas algumas características dos mesmos.

2.1.1.1. Combinação de monómeros

A palavra polímero têm origem do grego “*poli*” que significa muitos e “*mero*” que significa partes. A estas partes são chamadas as unidades de repetição, isto é, o polímero é composto por moléculas que são construídas a partir da repetição de pequenas unidades químicas chamadas monómeros (Santa’anna, 2007).

Quando os polímeros são obtidos por reações entre monómeros da mesma natureza designam-se homopolímeros, contudo, se forem obtidos por reações de mais que um tipo de monómero designa-se copolímero. Representando-se os monómeros por “A” e “B” os polímeros podem ser exemplificados como nas Figuras 2.2 e 2.3. Estas reações que originam os polímeros designam-se reações de polimerização.

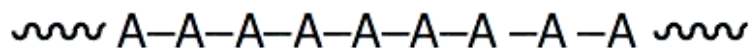


Figura 2.2 - Representação esquemática de um homopolímero

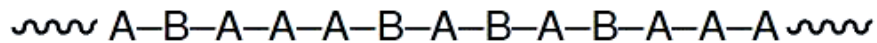


Figura 2.3 - Representação esquemática de um copolímero

2.1.1.2. Estrutura dos polímeros

Pode-se classificar os materiais poliméricos pela sua estrutura, como sendo amorfos ou cristalinos.

Os polímeros amorfos apresentam uma baixa ou nenhuma ordenação de curto alcance das cadeias poliméricas (Santa'anna, 2007).

A forma macromolecular dos polímeros amorfos aproxima-se muito de um fio de novelo, sendo a distância entre as extremidades da cadeia muito menor que o seu comprimento caso se estendesse o fio em linha reta. Uma estrutura molecular amorfa apresenta uma inexistência de qualquer ordem estrutural (Fig. 2.4). Pode-se caracterizar os polímeros amorfos como transparentes e possuem uma rigidez e fragilidade semelhantes às do vidro. O poliestireno e o poli (metacrilato de metilo) são alguns exemplos de polímeros amorfos (Educa, 2013).

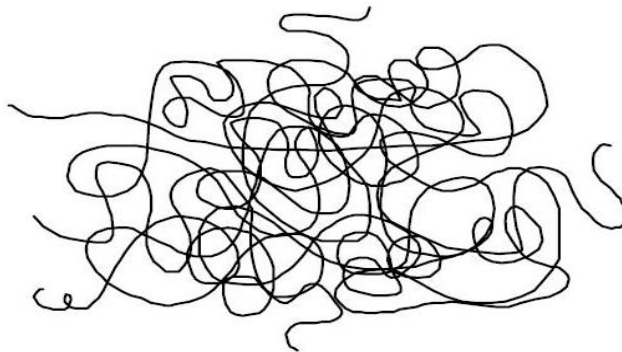


Figura 2.4 - Representação esquemática de um polímero amorfo

Os polímeros cristalinos apresentam áreas onde há uma ordenação das cadeias polímeras de modo que elas formem estruturas regulares denominadas cristais ou cristalites (Fig. 2.5) (Santa'anna, 2007). A cristalinidade confere aos polímeros maior densidade, maior resistência e menor dureza, resultado da conjugação das moléculas. Exemplos de polímeros semicristalinos são o polietileno, o polipropileno e as poliamidas (Educa, 2013).

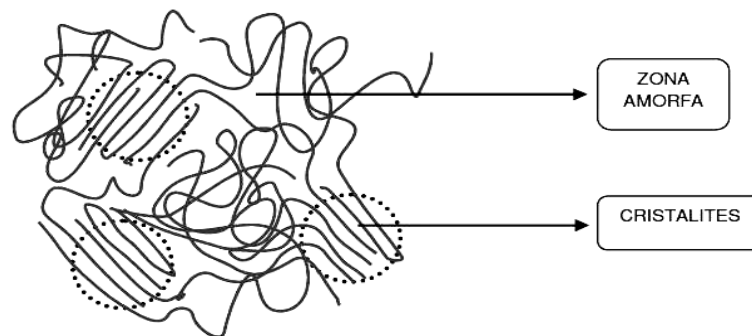


Figura 2.5 - Representação esquemática de cristalites num polímero semicristalino

2.1.1.3. Reações de polimerização

As reações químicas que conduzem os monómeros aos polímeros designam-se por reações de polimerização. Em termos gerais, podem-se considerar três mecanismos fundamentais de polimerização: polimerização por adição ou poliadição, polimerização por condensação ou policondensação e polimerização.

Denomina-se por poliadição quando se produz uma reação química previa entre substâncias diferentes, resultando como produto da reação um monómero de alto peso molecular. A policondensação é semelhante, pois também se produz uma reação prévia, mas obriga a eliminação de produtos não monoméricos, geralmente sobre a forma de água. Por último a polimerização propriamente dita, é a variante mais frequente e onde as cadeias se formam com moléculas de monómeros, unidos por fortes ligações covalentes sem necessidade de reações químicas convencionais.

Logo que formadas as cadeias poliméricas lineares, com ou sem ramificações, podem-se unir entre si mediante ligações tipo Van der Waals ou pontes de hidrogénio, que se rompem com certa facilidade (aumentando ou diminuindo a temperatura) desta forma aumenta-se a facilidade de moldagem dos polímeros sólidos. Nestes casos formam-se os denominados termoplásticos.

2.1.1.4. Classificação dos polímeros

Nos polímeros sintéticos, a morfologia e a disposição das cadeias polímeras podem variar bastante, e precisamente por essas distintas disposições, assim como pela maneira que são unidas as suas cadeias polímeras, pode-se diferenciar os “plásticos” em três tipos: a) Elastoplastos (a), Termoplastos (b) e Duroplastos (c) (Fig. 2.6).

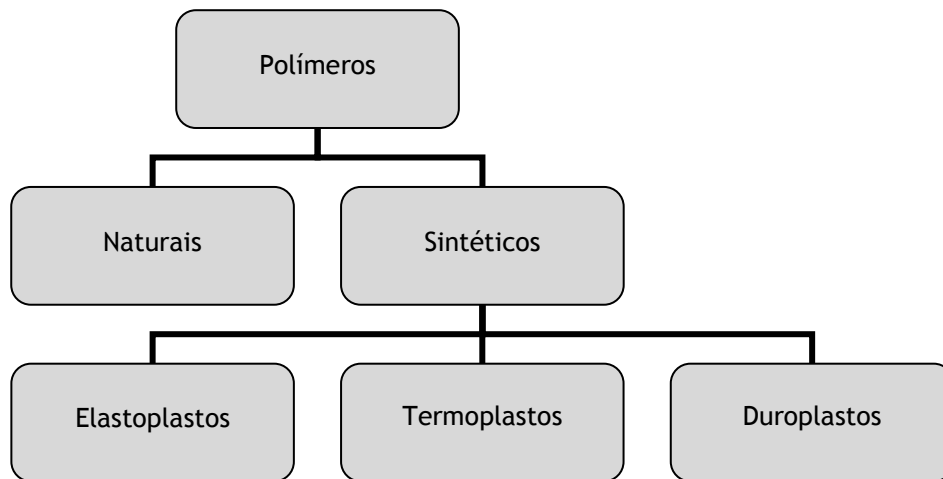


Figura 2.6 - Esquema da classificação de polímeros

a) Elastoplastos

Os elastoplastos são também conhecidos por elastômeros e elastoplásticos.

Contrariamente aos duroplastos, os elastoplastos apresentam longas cadeias lineares com pequenas ramificações, suficientemente espaçadas, de maneira a que estas tendem a entrelaçar-se, formando enlaces suficientemente fortes para manter a estrutura e lhes conferir uma grande flexibilidade. Mas o que define realmente os elastoplastos é a sua característica elastomérica (deformação e recuperação) mediante a aplicação de calor. Devido à sua estrutura molecular, as dimensões destes materiais poliméricos podem alterar consideravelmente na presença de uma tensão e retomar as suas dimensões originais após retirar a mesma tensão (Cano, 2007). Pode-se verificar alguns exemplos de elastoplastos no Quadro 2.1.

b) Termoplastos

Os termoplastos são também conhecidos por termoplastómeros e termoplásticos.

Os polímeros termoplastos são constituídos por moléculas monodimensionais e filiformes, separadas entre si. É característica dos termoplastos que ao aumentar a temperatura e ultrapassar o ponto de amolecimento pode moldar-se plasticamente, e voltar ao estado sólido quando arrefece. Em teoria, os materiais termoplastos são recuperáveis indefinidamente, já que podem repetir o processo sempre que necessário tendo a atenção de não provocar perda da sua plasticidade com os aumentos de temperatura. (Cano, 2007). Pode-se verificar alguns exemplos de termoplastos no Quadro 2.1.

c) Duroplastos

Os duroplastos são também conhecidos por duroplastómeros e termoendurecíveis.

Os polímeros duroplastos, são resinas sintéticas reticuladas, que durante a sua formação sofrem reações químicas formando as macromoléculas definitivas. Após reticulada a sua estrutura interna, já não pode alterar o seu estado. Por este motivo, em maioria dos casos se polimeriza in situ no local da aplicação. (Cano, 2007). Pode-se verificar alguns exemplos de duroplastos no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 - Matrizes poliméricas

Elastoplastos	Termoplastos	Duroplastos
Poliuretano (PU)	Polipropileno (PP)	Poliéster insaturado (UP)
Silicones (SI)	Poliéster saturados (PET-PBT)	Vinilester (VE)
	Policarbonato (PC)	Epoxi (EP)
	Poliacetato	Fenólicas (PF)
	Poliamida (PA)	Polyimidas (PI)
	Poliéster-Éter Ketona (PEEK)	
	Polisulfonato (PSUL)	

2.1.2. Compósitos poliméricos

Materiais compósitos podem definir-se como a combinação de dois ou mais materiais diferentes em um único material, para aproveitar as características positivas de cada um resultando em propriedades superiores e possivelmente únicas, em algum aspeto específico, impossíveis de alcançar com os materiais separados.

Materiais compósitos de matriz polimérica são materiais em constante desenvolvimento. Tendo em conta as vantagens destes materiais o estudo sobre os mesmos intensificam-se. Produtos inovadores com diferentes aplicações e características podem-se encontrar nos mais

variados sectores, na indústria automóvel, mecânica, aeronáutica, naval, construção civil, entre outros.

Atualmente a utilização de materiais poliméricos nas áreas da engenharia civil e mesmo nas artes tornaram-se fulcrais pelas suas diversas aplicações. As características vantajosas destes materiais possibilitam o desenvolvimento alargado de novos materiais, o aperfeiçoamento das metodologias de fabrico, permitindo o aparecimento de materiais com aplicações cada vez mais específicas ao objetivo pretendido.

Os materiais poliméricos têm sido muito procurados por artistas para trabalhos de escultura e mesmo conservação e restauro (Cano, 2007).

Em engenharia civil pode-se encontrar materiais poliméricos em diversas formas, desde canalizações, revestimentos, tintas, etc. Mas quando os requisitos passam por materiais com elevada resistência e durabilidade, os polímeros são combinados com outros materiais, como exemplo as argamassas poliméricas ou mais recentemente os betões poliméricos.

Nos países desenvolvidos verifica-se definitivamente, um crescente interesse pela aplicação das resinas sintéticas na execução e melhoramento de argamassas e betões poliméricos, através de três metodologias que definem os “novos betões”:

- Betões impregnados com polímeros, PIC (Polymer Impregnated Concrete);
- Betões de cimento e polímeros, PCC (Polymers and Cement Concrete);
- Betões aglomerados apenas com polímeros, PC (Polymer Concrete).

Devido ao baixo custo, as matrizes poliméricas mais utilizadas em PC são à base de poliéster insaturado. A resina poliéster tem uma boa resistência mecânica, a adesão relativamente boa a materiais e boa resistência química ao gelo e degelo (Tavares, C.M.L. et al., 2002)

Outro exemplo de um compósito polimérico são os aglomerados de agregados de vários tipos de rochas com resinas poliméricas. Este compósito polimérico tem vindo a ser estudado por alguns autores de forma a ter aplicação quer no âmbito artístico quer na construção civil (Cano, 2007), (Antunes, 2009).

Sendo este compósito polimérico recente, é interessante analisar possíveis aplicações, diferentes metodologias de fabrico, diferentes granulometrias de agregado, diferentes texturas e cores de forma a criar outros tipos de materiais compósitos de matriz polimérica.

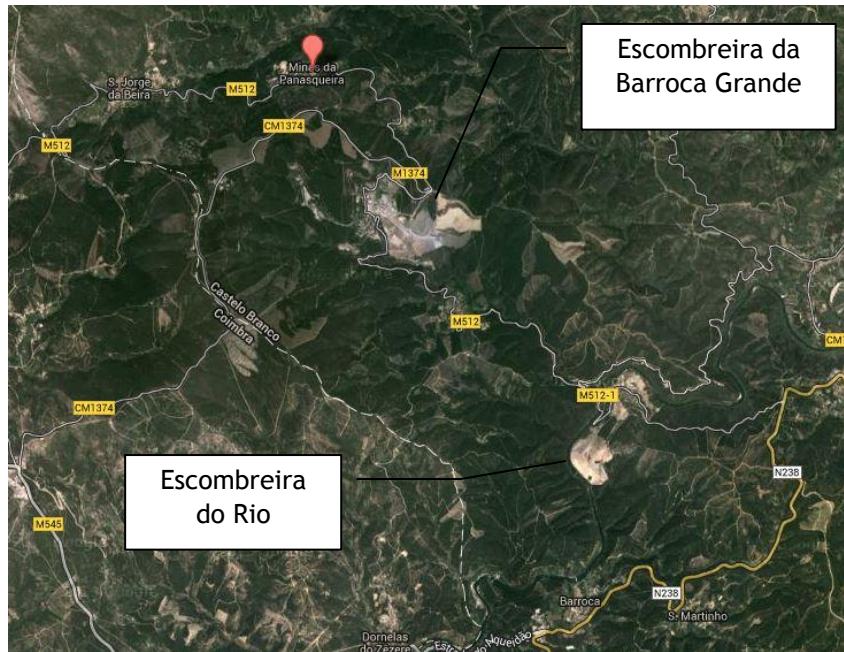


Figura 2.11 - Localização das escombreiras (Google maps, 2013)



Figura 2.9 - Escombreira Barroca Grande (Google maps, 2013)



Figura 2.10 - Escombreira do Rio (Google maps, 2013)



Figura 2.12 - Efeito “montanha” das escombreiras da Barroca Grande (A terceira dimensão, 2013)



Figura 2.13 - Vista parcial da escombreira da Barroca Grande (Olhares, 2013)

A extração das minas produz, como já referido anteriormente, dois tipos de resíduos de acordo com as dimensões das partículas: resíduos de fração grossa (estéreis grossos), e lamas residuais (rocha esmagada e moída). O estudo da sua granulometria apresenta-se na Figura 2.14 (Antunes, 2009).

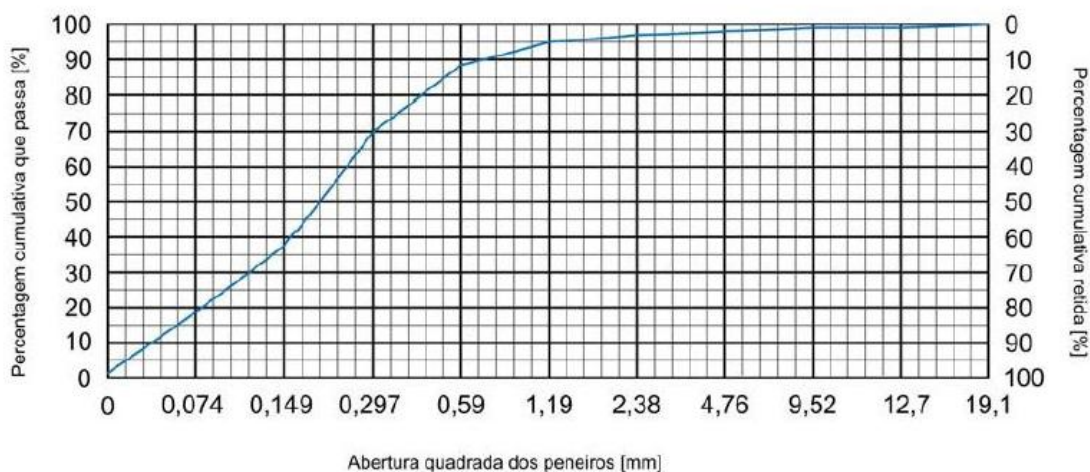


Figura 2.14 - Curva granulométrica dos agregados das Minas da Panasqueira (retirado de Antunes, 2009).

Os resíduos das minas da Panasqueira são constituídos essencialmente por xisto-grauvaque e uma pequena percentagem de quartzo. Sendo a composição química do xisto-grauvaque composta maioritariamente por sílica e alumina e pequenas percentagens de ferro, potássio e outros pequenos constituintes. Os resíduos apresentam propriedades mecânicas de muito boa qualidade equiparadas às propriedades de agregados de um granito (Fig. 2.15) (Castro Gomes, J.P. et al., 2011).



Figura 2.15 - Cor e textura de resíduos grossos das Minas da Panasqueira (retirado de Castro Gomes, J.P. et al., 2011)

Dos todos os atrativos para a construção que estes resíduos apresentam, a cor é dos que mais sobressai. Após a extração e depósito os resíduos apresentam cor cinza do xisto-grauvaque que se apresenta em maioria (Fig. 2.16). No entanto a cor que mais atrai, é aquando a exposição destes às condições ambientais, adquire a cor ocre. Devido à sua composição mineralógica e expostos em escomboreiras a céu aberto, envelhecem e sofrem oxidação, adquirindo tonalidades de cor de ferrugem, ou seja cor ocre, que lhe confere um alto valor estético (Fig. 2.17). Quando calcinados, submetidos a altas temperaturas, adquirem uma cor avermelhada (fig. 2.18) (Fig. 2.16, 2.17 e 2.18 retirados de Antunes, 2009).



Figura 2.16 - Resíduo no estado natural - cor cinza



Figura 2.17 - Resíduos envelhecidos - cor ocre



Figura 2.18 - Resíduos calcinados - cor avermelhada

2.2.2. Caraterísticas da resina Crystic 199

As resinas de poliéster são as mais utilizadas hoje em dia, muito por causa das boas propriedades e do seu baixo custo em comparação com outros tipos de resinas. Apresentam uma boa relação qualidade/preço. Pode-se encontrar uma considerável variedade de resinas de poliéster, apresentadas no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 - Tipos de resina de poliéster mais utilizado e suas aplicações

Tipos	Aplicações
Ortoftálicas	Semirrígidas: barcos, estratificados industriais. Rígidas: vernizes, impregnados.
Isoftálicas	Depósitos, engenharia química.
Tereftálicas	Engenharia química, estratificados com alta resistência química.
Tetrahidroftálicas	Vernizes, depósitos de alimentos, cubas.
Biesfenólicas	Aplicações anticorrosivas, alta resistência química.
Resinas ac. Tetracloroftálico	Comportamento ao fogo melhorado.
Resinas de ac. Het	Resistência ao fogo, anticorrosivo.
Resinas ao MMA	Estratificados para transportes, placas, cúpulas.

No desenvolvimento da peça pretendida foi utilizado como ligante a resina Crystic 199 (Resina da Scott Bader, Barcelona, Espanha) (Fig. 2.19). Trata-se de uma resina de poliéster insaturada, não acelerada e não tixotrópica.

A polimerização da resina acontece adicionando dois aditivos, ativador ou acelerador e o catalisador (Fig. 2.19). A quantidade destes dois aditivos é fornecida pelo fabricante, 2% da quantidade de resina de ativador e 3% da quantidade de resina de catalisador. A mistura destes dois aditivos requer algum cuidado, caso sejam misturados diretamente entre si podem provocar reações explosivas. O procedimento correto é juntar à resina, em primeiro lugar o ativador, misturar bem sem formar bolhas, e de seguida o catalisador, misturando novamente. O ativador tem a função de fornecer a energia inicial de ativação da resina, influenciando na temperatura e tempo de cura, apesar a resina poder ser polimerizada tanto a frio como a quente. O catalisador tem a função de aumentar a velocidade de polimerização da resina.



Figura 2.19 - Resina Crystic 199, Ativador A-101 e catalisador C-201 (retirado de Cano, 2007)

Pela informação fornecida do fabricante verifica-se que a resina tem ótimas propriedades físicas tais como resistência à tração, resistência à flexão, resistência ao corte, e é indicada a aplicações de alto rendimento como exemplo a indústria aeronáutica e automóvel, onde se exige propriedades térmicas e elétricas superiores, pode ser também utilizada em colagens de variadas aplicações do dia-a-dia (Cano, 2007). Pode-se verificar as propriedades da resina nos Quadros 2.3 e 2.4.

Quadro 2.3 - Propriedades físicas da Resina Crystic 199 em estado líquido

Resina Crystic 199 em estado líquido	
Viscosidade a 25°C dPas Rhéomat a 37.35 sec-1 [poise]	5-6,5
Densidade a 25°C	1.10
Índice de acidez [mgKOH/g]	23-29
Conteúdo volátil [%]	36-39
Aspetto	Claro, ligeiramente amarelo
Estabilidade, abrigada da luz e a 20°C [meses]	6
Tempo de gelificação a 25°C [min]	16

Quadro 2.4 - Propriedades físicas da Resina Crystic 199 polimerizada

Resina Crystic 199 polimerizada	
Dureza Barcol (Modelo GYZJ 934-1)	50
Absorção de água (24h a 23°C) [mg]	25
Temperatura de deformação, de baixa carga - HDT (1,8MPa) [°C] ¹	130
Índice de refração 20/D	1,554
Densidade a 20°C	1,19
Fissuração a 25°C [%]	2,5
Resistência à tração [MPa]	62
Módulo de tração [MPa]	3600
Perda dielétrica (a 1000Hz)	0,005
Constante dielétrica (a 1000Hz)	3,1

¹ Para temperatura de deformação, de baixa carga - HDT a polimerização é de 24h a 20°C, 3h a 80°C. Para HDT: 24h a 20°C, 5h a 80°C e 3h a 120°C.

2.2.3. Propriedades mecânicas e físicas do compósito polimérico

As características mecânicas e físicas do compósito polimérico em estudo foram já abordadas por outros autores, como é o caso de Cláudia Antunes que na sua tese de Mestrado, estudou o desenvolvimento de unidades de revestimento de base polimérica com resíduos das Minas da Panasqueira. A autora, de forma a caracterizar o compósito polimérico fez vários ensaios que resultaram no Quadro 2.5 (Antunes, 2009).

Quadro 2.5 - Características mecânicas e físicas do compósito polimérico em estudo

Ensaio realizado		Resultado obtido
Resistência à Flexão		$f_{cf}=2,19\text{MPa}$
Resistência à Compressão		$f_c=7,74\text{MPa}$
Resistência ao	Método do disco largo de abrasão	$V_{AD}=24,8\text{mm}$
Desgaste por Abrasão	Método de Böhme	$\Delta V = 3,90\text{cm}^3/50\text{cm}^2$
Resistência ao Escorregamento/Deslizamento		$C_R=45$
Resistência às Intempéries	Absorção de Água	$W_{h,24}=0,12\text{g/cm}^3$
	Resistência ao Gelo/Degelo	Nulo

Capítulo 3 - Superfícies ajardinadas - Sistema modular GEOGREEN

3. Introdução

Quase dois terços das habitações portuguesas apresentam um enorme potencial de reabilitação urbana, sobretudo aquelas que foram construídas nas décadas de 70 e 80, podendo melhorar a sua eficiência energética em média entre 25% e 50% (ADENE, 2011).

Paralelamente com a promoção da reabilitação urbana em oposição à construção nova, surgem medidas urbanísticas que incentivam a utilização de revestimentos ajardinados. A revisão do Plano Diretor Municipal de Lisboa apela às ações de intervenção urbana que privilegiem não só a eficiência energética das edificações e a reciclagem das águas, mas também as coberturas verdes (Manso, M. et al, 2012).

A utilização de coberturas verdes, seja em climas quentes ou frios, é conhecida desde os primórdios da humanidade. A sua utilização, nos dias de hoje, tem sobretudo a ver com uma questão de poupança de energia e de redução da poluição ambiental. Coberturas e fachadas verdes criam um ambiente moderno, uma estética única e uma envolvente de edifícios que se altera com o passar do tempo. Permitem melhorar a eficiência energética de edifícios, oferecendo sombreamento natural e arrefecimento no verão e proteção térmica adicional no inverno (UBI, 2013).

3.1. Superfícies ajardinadas

As coberturas e fachadas ajardinadas aplicam-se cada vez mais nos edifícios, pois trazem a natureza, integrando a vegetação, para as zonas onde se passa mais tempo. Utilizando os elementos ajardinados pode-se simplesmente criar áreas privadas ou públicas de socialização e recreio ou mesmo criar espaços para horticultura ou agricultura (Fig. 3.1 e 3.2), (QUERCUS, 2013).



Figura 3.1 - Áreas de socialização - Meera Sky Garden House (Goods Home Design, 2013)



Figura 3.2 - Agricultura urbana (ADENE, 2011)

As coberturas e fachadas ajardinadas abraçam vários aspetos que beneficiam os edifícios e para o meio urbano apresentados (QUERCUS, 2013):

- Melhoram o isolamento térmico e acústico dos edifícios, contribuindo para reduzir o consumo energético;
- Protegem as estruturas dos edifícios, contribuindo para um aumento do tempo de vida dos sistemas de impermeabilização;
- Ajudam a reduzir a poluição sonora e contribuem para a melhoria da qualidade do ar;
- Contribuem para a redução do efeito “ilha de calor” das cidades;
- Contribuem para reter a água da chuva, reduzindo o caudal que é encaminhado para os coletores de águas pluviais, ajudando a diminuir o risco de inundações;
- Retardam, em caso de incêndio, a propagação do fogo na cobertura.

No caso das coberturas (Fig. 3.3 e 3.4), existem três tipos superfícies ajardinadas (QUERCUS, 2013):

- Intensivos: São concebidos para neles se instalar um jardim ou uma plantação para uso humano (incluindo agrícola) devendo estar dimensionados para suportar a carga a que ficam sujeitos, dada a espessura de solo. Requerem instalação de sistema de rega por profissionais e manutenção regular. Existem mesmo já restaurantes com hortas no telhado. Neste tipo de cobertura com vegetação intensiva podem ser construídos lagos com diversas formas e tamanhos. Um lago oferece um elemento visual extra, constitui uma fonte de água para os pássaros se saciarem e são um habitat natural para os peixes.

- Extensivos: Núcleos naturais que replicam espaços geológicos utilizando plantas resistentes à seca e com pouca necessidade de irrigação. São bastante leves e dispensam estruturas complexas para proliferarem. A colocação deste género de coberturas e os seus custos de manutenção são residuais. O tipo de plantas selecionadas é mais natural e auto-suficiente, geralmente adaptando-se a espessuras de solo ou de substrato pequenas. Quando comparado com o intensivo, este sistema permite reduções no peso global do sistema e é encarado normalmente como uma solução ligeira de coberturas ajardinadas, podendo inclusive ser um espaço não visitável.
- Semi-intensivas: este é um sistema intermédio entre os sistemas anteriores em que se tem um espaço visitável, mas em que se tem uma solução de meio-termo entre o sistema extensivo que não requer manutenção (ou esta é residual) e o sistema intensivo que requer um acompanhamento permanente. São utilizados perfis de substrato superiores aos do sistema extensivo, que permitem uma mais vasta escolha de espécies a utilizar, mas que também representam uma maior manutenção e maior custo que o sistema extensivo.



Figura 3.3 - Coberturas ajardinadas - Earth House Estate Lättenstrasse, Dietikon, Switzerland (Architizer, 2013)



Figura 3.4 - Coberturas ajardinadas - Hunting Lodge on a Game Preserve, Czech Republic (Architizer, 2013)

No caso das fachadas (Fig. 3.5 e 3.6), estas podem funcionar como espaços verdes, com todas as vantagens, exceto a possibilidade de utilização do espaço. Os sistemas de fachadas ajardinadas podem ser classificadas como fachadas verdes ou paredes vivas (na nomenclatura Inglesa “green façades” ou “living walls” respetivamente) (Manso, M. et al., 2013).



Figura 3.5 - Fachadas ajardinadas - Vent Vert, Tokyo, Japan (Architizer, 2013)



Figura 3.6 - Fachadas ajardinadas - House In Travessa Do Patricínio, Lisbon, Portugal (Architizer, 2013)

Devido ao peso que estas componentes podem ter, a sua aplicação em edifícios já existentes deve ser devidamente avaliada para não introduzir problemas na estrutura do mesmo, uma vez que este não foi projetado tendo em conta essa aplicação.

3.2. Sistema modular GEOGREEN

O acrónimo GEOGREEN representa um projeto de I&D em curso, financiado pela FCT, que tem como objetivo execução de um sistema de peças modulares para a formação de coberturas e fachadas ajardinadas, adaptáveis a edifícios novos ou a reabilitar.

O sistema modular GEOGREEN é um estudo concebido para simplificar os processos de montagem e manutenção. A solução de peças modulares caracteriza-se por ser adaptável a diversas configurações de superfícies, quer sejam horizontais, verticais, inclinadas ou curvas. Estas peças são constituídas por camadas de diferentes materiais, combinando propriedades como a baixa densidade, porosidade, retenção de água, isolamento térmico, resistência, durabilidade, e resistência ao fogo (Manso, M. et al., 2013).

Esta solução baseia-se no desenvolvimento de um painel de revestimento, com ecomateriais, incorporando vegetação resistente às condições do clima mesomediterrâneo seco, procurando minimizar os problemas de adaptação das espécies de plantas e as necessidades de rega (UBI, 2013).

A composição dos ecomateriais que constituem a peça modular, passa pelo reaproveitamento de resíduos industriais. Cada módulo é composto por uma placa base de geopolímero e uma placa de aglomerado negro de cortiça, contendo, a vegetação (Fig. 3.7 e 3.8).



Figura 3.7 - Composição da peça modular (UBI, 2013)



Figura 3.8 - Esquema da peça modular com vegetação (Manso, M., June 2013)

3.3. Sustentabilidade do sistema modular em estudo

Para além deste trabalho ter a finalidade de apresentar uma alternativa ou uma opção no momento da execução do projeto por parte do arquiteto relativamente às superfícies ajardinadas, nunca foi excluído o interesse mais abrangente na sustentabilidade ambiental, económica e sociocultural, em todos as vertentes do mesmo.

Se por um lado a opção de trabalhar para contribuir num projeto como o GEOGREEN, que por si só, é um projeto com preocupações de sustentabilidade (Manso, M. et al, 2012), por outro, os procedimentos, os materiais, assim como todos os aspetos na produção da base, ostentam preocupações de sustentabilidade.

A metodologia de baixa tecnologia e sem utilização de água, a reutilização de um resíduo de minas no seu estado natural e a escolha da resina de poliéster considerada a de menor custo no mercado e com cura a temperatura ambiente permite obter um produto a custos reduzidos, garantindo a sustentabilidade económica. O procedimento utilizado envolvendo, de forma segura, os agregados com resina permite o encapsulamento dos metais perigosos contidos nestes impedindo a sua lixiviação para o exterior e a reutilização em larga escala dos resíduos das escombrelas da mina da Panasqueira, possibilitará minimizar o impacto visual e ambiental da zona garantindo a sustentabilidade ambiental e sociocultural.

3.4. Desenvolvimento experimental da peça modular estudada

A produção da peça modular em estudo requer alguns cuidados de forma a possuir as características desejadas. O processo de produção divide-se em dois momentos, a produção da base e a colagem da mesma aos alvéolos de aglomerado negro de cortiça. Deste modo, o seu correto processamento é exemplificado de forma sintetizada.

Produção da base (1un) - Quantidades e metodologia:

As quantidades a utilizar baseiam-se nas percentagens ideais sobre o volume do molde ($v=1900\text{cm}^3$).

Quadro 3.1 - Quantidade da mistura ideal da base - "D"

Quantidade	Granulometria de 2 a 4 mm	Granulometria de 4 a 8 mm	Cortiça 1,6 a 2 mm
(%)	25	70	5
(g)	700	1960	13,25

Quadro 3.2 - Quantidade dos diferentes componentes da mistura

Quantidade	Agregados + Cortiça	Resina	Acelerador	Catalisador
(%)	100	5	2	3
(g)	2673,25	133,66	2,67	4,00

- Recolher os agregados (resíduos) das Minas da Panasqueira (Fig. 3.9);
- Peneirar 700 g de agregado de 2 a 4 mm (Fig. 3.10);
- Peneirar 1960 g de agregados de 4 a 8 mm (Fig. 3.10);
- Peneirar 13,25 g de granulado de cortiça de 1,6 a 2 mm (Fig. 3.10);
- Limpar os finos e as impurezas dos agregados apenas com a pressão de ar (Fig. 3.11);
- Colocar produto desmoldante no molde (Fig. 3.13);
- Pesar 133,66 g de resina (Fig. 3.14);
- Pesar 2,67 g de acelerador (Fig. 3.14);
- Juntar o acelerador à resina e mexer bem sem produzir bolhas de ar (Fig. 3.15);
- Pesar 4,00 g de catalisador (Fig. 3.14);
- Juntar o catalisador à resina e mexer bem (Fig. 3.15);
- Envolver num recipiente os agregados a cortiça e a resina, de forma a distribuir bem todos os componentes (Fig. 3.16);
- Colocar os agregados no molde e compactar bem;
- Desmoldar após a polimerização da resina (aconselhável 24H) (Fig. 3.17);

Colagem da base ao aglomerado negro de cortiça - Quantidades e metodologia:

- Produzir cerca de 15g de resina pelo mesmo método referido na produção da base, ou seja, a suficiente para cobrir toda a face dos alvéolos de cortiça;
- Espalhar a resina pela face dos alvéolos de cortiça uniformemente;
- Colocar a base por cima dos alvéolos pressionando com ajuda de algum peso (Fig. 3.19);

Imagens exemplificativas da metodologia.



Figura 3.9 - Recolha dos resíduos das Minas da Panasqueira



Figura 3.10 - Peneiração dos agregados



Figura 3.11 - Limpeza dos agregados

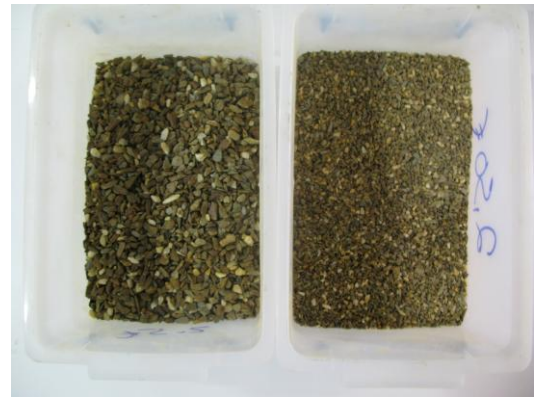


Figura 3.12 - Agregados de 4 a 8mm e de 2 a 4mm



Figura 3.13 - Preparação do molde



Figura 3.14 - Pesagem da resina e das suas componentes



Figura 3.15 - Mistura da resina com as suas componentes



Figura 3.16 - Envolvimento dos agregados e a cortiça com resina



Figura 3.17 - Base final após a desmoldagem



Figura 3.19 - Peça modular final após colagem da base aos alvéolos de cortiça



Figura 3.18 - Peça modular em várias perspetivas

Capítulo 4 - Programa experimental

4. Introdução

O programa experimental teve como objetivo explorar a possibilidade de criar uma base como opção à base do sistema modular GEOGREEN. Este trabalho desenvolveu-se assente numa premissa de um produto de matriz polimérica com resíduos das Minas da Panasqueira e com intuito de valorizar os resíduos das Minas da Panasqueira.

O trabalho laboratorial teve como pontos fulcrais o baixo custo de produção, o aspeto visual da peça pretendida, assim como o bom desempenho para a sua finalidade. Neste sentido o desenvolvimento experimental passou por três fases: otimização da quantidade de resina; escolha da granulometria dos agregados, a incorporação de cortiça na mistura e a obtenção de diferentes acabamentos superficiais; comportamento mecânico e físico da base, assim como da peça modular.

4.1. Otimização da mistura

Numa fase inicial pretendeu-se obter uma peça de baixo custo. Desse modo, a exigência de utilização da menor quantidade de material possível e das metodologias de fabrico simples e práticas foi uma prioridade. Para isto foi necessário encontrar a formulação adequada para a mistura, tendo por base um fácil manuseamento das ferramentas e dos materiais utilizados. A quantidade de resina foi já estudada por outros autores (Antunes, 2009) que chegaram à dosagem ótima de 3,5% de resina sobre o volume de agregados. Esse trabalho foi realizado com misturas sem quaisquer requisitos de granulometria, ou seja, as misturas foram realizadas com a granulometria em que se encontravam os resíduos.

Tendo em conta que no presente trabalho optou-se por uma mistura com granulometria específica e possibilidade de incorporar cortiça (ponto 4.2.1), foi necessário otimizar a mistura pretendida, e verificar o seu comportamento. A formulação ótima da mistura obteve-se por experimentação, ou seja, realizaram-se vários provetes com diferentes composições (Fig. 4.1) (Quadro 4.1) na tentativa de encontrar a percentagem ideal de resina. A otimização da mistura verificou-se quando esta apresentou ótimas características físicas e mecânicas.

A dosagem ideal de resina foi de 4% sobre o peso da mistura, quando constituída apenas por agregados das Minas, e de 5% do peso da mistura, quando constituída por agregados das Minas e cortiça até 15% do volume total.



Figura 4.1 - Provetes com diferentes composições

Quadro 4.1 - Composição dos diferentes provetes

Provete	Agregados (%)	Cortiça (%)	Resina (%)	Observações
A1	50	50	20	Boa quantidade de resina
A2	50	50	15	Pouca quantidade de resina
B1	75	25	15	Muita quantidade de resina
B2	75	25	10	Boa quantidade de resina
C1	90	10	10	Muita quantidade de resina
C2	90	10	5	Quantidade de resina ideal
D1	100	0	4	Quantidade de resina ideal
D2	100	0	3	Pouca quantidade de resina

Como foi referido anteriormente, a resina é misturada tendo em conta os procedimentos do fabricante, o que permite trabalhar a frio sendo mais fácil o seu manuseamento. Os agregados são usados como se encontram nas escombrelas, sem qualquer tratamento, apenas são peneirados para a obtenção da granulometria pretendida e com o cuidado de estarem secos e limpos de poeiras e impurezas superficiais. No processo de limpeza apenas se utiliza a pressão de ar. Estes procedimentos traduzem-se numa redução de energia, tempo, materiais e mão-de-obra, resultando num material de custo reduzido.

4.2. Aspeto visual da base em estudo

O aspeto visual é bastante importante, tendo em conta que é uma das vantagens que se pretende apresentar. Numa segunda fase, o trabalho desenvolvido neste âmbito passou pela escolha da granulometria dos agregados, a possibilidade de incorporar granulado de cortiça, e o estudo da cor e do brilho da base.

4.2.1. Escolha da granulometria e incorporação de cortiça branca

Na intenção de obter um aspeto mais uniforme, com arestas bem definidas e agradável à vista optou-se por uma granulometria pequena. A granulometria escolhida para a mistura passa por uma composição de agregados entre 2 a 4mm, 4 a 8mm e a possibilidade de incorporar granulado de cortiça de 1,6 a 2mm. Esta granulometria escolhida, para além de ir ao encontro dos requisitos pretendidos, também se encontra em percentagem considerável na granulometria dos resíduos das Minas da Panasqueira (ponto 2.2.1) (Antunes, 2009), que possibilita um maior aproveitamento dos mesmos. A junção da cortiça permite, por um lado, fazer o reaproveitamento de outro resíduo como também preencher os espaços vazios da mistura e não aumentar de forma significativa o peso da mesma. A cor branca da cortiça enquadra-se bem na cor da mistura mantendo uma aspeto agradável.

Realizaram-se várias misturas de estudo, para a obtenção da peça ideal, apresentadas no Quadro 4.2. As percentagens ideais de cada componente da mistura foram encontradas pelo melhor desempenho mecânico e físico da mesma. A mistura que demonstrou melhores comportamentos foi a “D” (Fig. 4.2 e 4.3).

Quadro 4.2 - Misturas de estudo

Mistura	Granulometria de 2 a 4 mm (%)	Granulometria de 4 a 8 mm (%)	Cortiça 1,6 a 2 mm (%)
A	100	0	0
B	0	100	0
C	30	70	0
D	25	70	5
E	20	70	10
F	15	70	15



Figura 4.2 - Base da Peça modular em estudo



Figura 4.3 - Pormenor da base com visualização dos agregados e da cortiça

4.2.2. Estudo do brilho e da cor

Tendo em conta a ausência de trabalhos semelhantes o estudo do brilho e da cor foi obtido experimentalmente. Estas experiências tiveram a finalidade de encontrar diferentes acabamentos superficiais e possibilitar a visualização da parte tardoz da peça modular. A mistura resultante dos agregados envelhecidos com a resina apresenta uma cor ocre brilhante e a mistura resultante dos agregados recém-extraídos com a resina apresenta uma cor cinza brilhante. Partiu-se do princípio destacar a cor ocre por ser uma cor em voga e com várias aplicações que valoriza os agregados, e retirar o brilho de forma a obter um acabamento rustico. As experiências realizadas foram divididas em dois tipos: experiências com a superfície do compósito em contacto com materiais e substâncias antes da polimerização da resina e experiências com processos mecânicos aplicados na superfície do compósito após a polimerização da resina.

4.2.2.1. Experiências pré polimerização

A quantidade de resina está diretamente relacionada com o brilho. Se aumentar a dosagem de resina, esta traduz-se num aumento do brilho (Antunes, 2009). As experiências antes da polimerização surgiram na possibilidade da superfície da mistura, em contacto com determinados materiais ou substâncias, não sofrer da mesma forma a polimerização da resina. Nesse sentido foram realizadas algumas experiências tais como:

- a) Superfície da mistura em contacto com granulado de esferovite fino envolto de vaselina (Fig. 4.4).

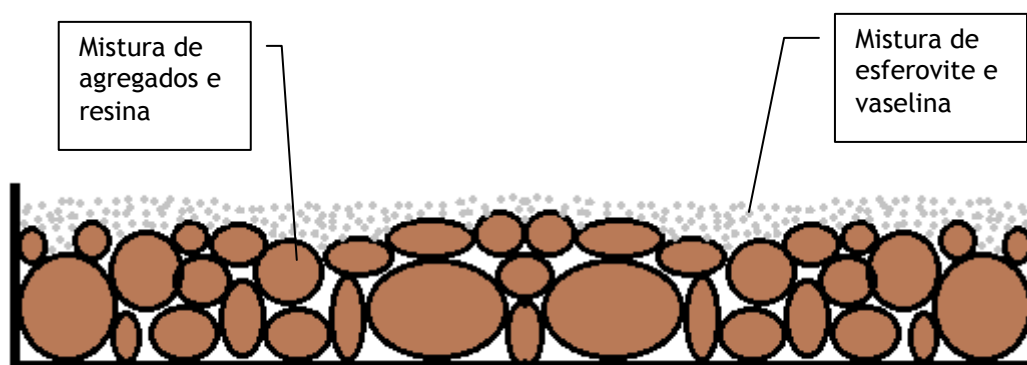


Figura 4.4 - Imagem preliminar da experiência a)

Esta experiência consiste em fazer uma mistura de agregados e resina, sem cortiça para facilitar o trabalho, tendo em conta a sua percentagem reduzida e não influenciar no objetivo da experiência. As dosagens usadas foram as estudadas no ponto 4.1 e descritos no Quadro 4.3. Colocou-se a mistura num molde (Fig. 4.5) e, antes de a resina começar a polimerizar, cobriu-se com o esferovite previamente misturado com vaselina. O esferovite fino serve para possibilitar o contacto da vaselina com toda a superfície irregular (Fig. 4.6).

Quadro 4.3 - Quantidades da mistura da experiência a)

Molde 18x14x3cm (un)	Agregado (g)	Resina a 4% (g)	Acelerador a 2% (g)	Catalisador a 3% (g)
1	1000	40	0,8	1,2



Figura 4.5 - Mistura no molde - experiência a)



Figura 4.6 - Mistura dos agregados em contacto com esferovite e vaselina - experiência a)

O resultado da experiência a) não confirmou o aspeto pretendido. A superfície da mistura apresentou menos brilho que a polimerização ao natural mas não o aspeto rustico que se pretendia. Além disso, verificou-se algumas zonas com brilho. Conclui-se então que os materiais utilizados não serão os apropriados a um acabamento uniforme sem brilho.

b) Superfície da mistura em contacto com acetona (Fig. 4.7).

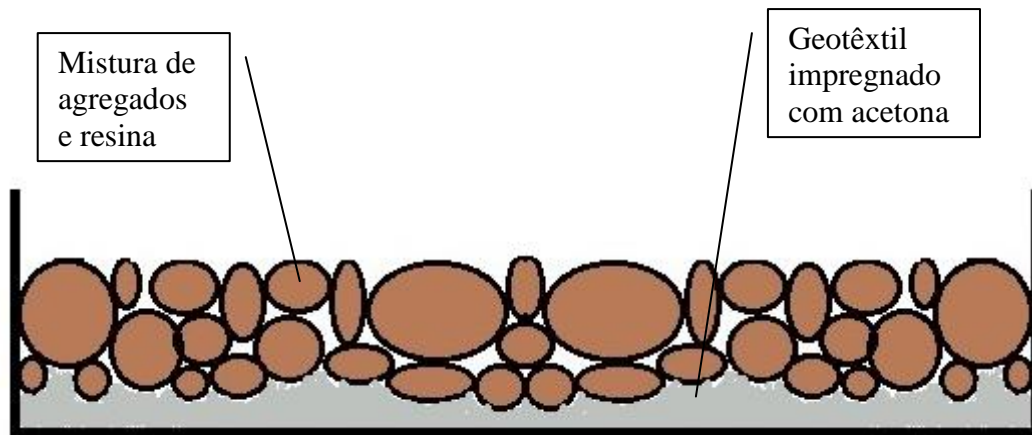


Figura 4.7 - Imagem preliminar da experiência b)

c) Superfície da mistura em contacto com tolueno (Fig. 4.8).

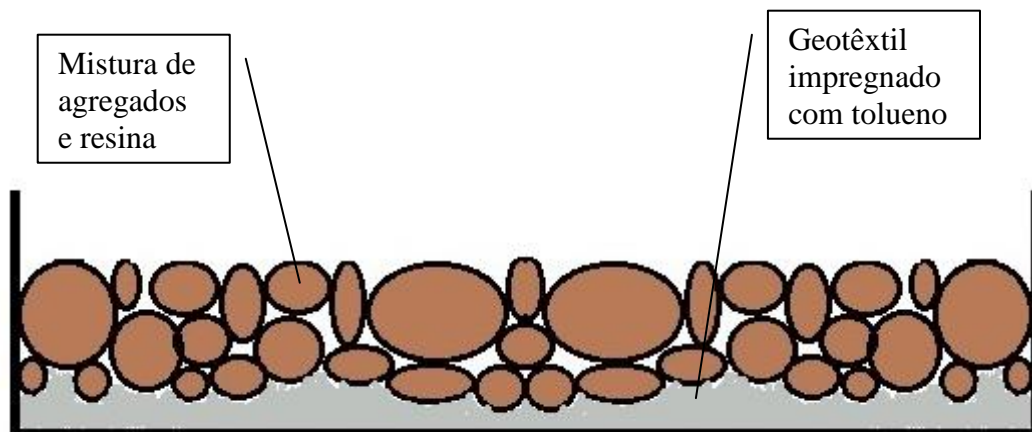


Figura 4.8 - Imagem preliminar da experiência c)

Estas experiências consistem em colocar no molde o geotêxtil (Fig. 4.9) impregnado com acetona no caso da experiência b) e tolueno na experiência c) (Fig. 4.10). Posteriormente fez-se uma mistura de agregados e resina, novamente sem cortiça. As dosagens usadas foram as estudadas no ponto 4.1 e descritos no Quadro 4.4, seguidamente colocou-se a mistura no molde (Fig. 4.11) antes de a resina começar a polimeriza. O geotêxtil tem de espessura cerca de 1cm e a função de reter o vazamento pelo molde dos líquidos utilizados, assim como permitir o contacto entre as irregularidades da superfície da mistura. (Fig. 4.7 e 4.8).

Quadro 4.4 - Quantidades da mistura da experiência b) e c)

Molde 18x14x3cm (un)	Agregado (g)	Resina a 4% (g)	Acelerador a 2% (g)	Catalisador a 3% (g)
1	1000	40	0,8	1,2



Figura 4.9 - Molde com geotêxtil seco



Figura 4.10 - Molde com geotêxtil impregnado em tolueno/acetona/água



Figura 4.11 - Molde com a mistura por cima do geotêxtil



Figura 4.12 - Desmolde da mistura

As experiências b) e c) não apresentaram resultados satisfatórios. Tanto a acetona como o tolueno não permitiram a polimerização da resina. No momento da desmoldagem da mistura, a superfície em contacto com as substâncias desagregou-se (Fig. 4.12).

d) Superfície da mistura em contacto com água (Fig. 4.13).

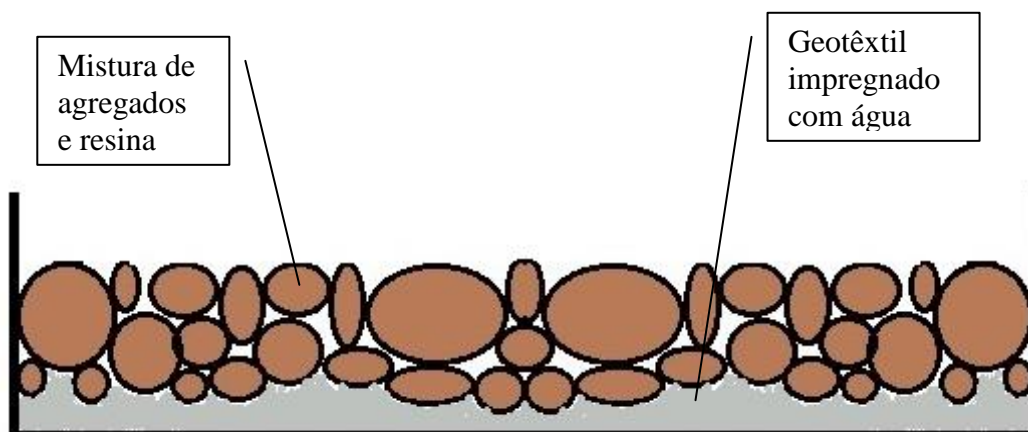


Figura 4.13 - Imagem preliminar da experiência d)

Esta experiência consiste em colocar no molde o geotêxtil (Fig. 4.9) impregnado com água (Fig. 4.10). Posteriormente fez-se uma mistura de agregados e resina, novamente sem cortiça. As dosagens usadas foram as estudadas no ponto 4.1 e descritos no Quadro 4.5, seguidamente colocou-se a mistura no molde (Fig. 4.11) antes de a resina começar a polimeriza. O geotêxtil tem de espessura cerca de 1cm e a função de reter o vazamento pelo molde da água, assim como permitir o contacto entre as irregularidades da superfície da mistura. (Fig. 4.13).

Quadro 4.5 - Quantidades da mistura da experiência d)

Molde 18x14x3cm (un)	Agregado (g)	Resina a 4% (g)	Acelerador a 2% (g)	Catalisador a 3% (g)
1	1000	40	0,8	1,2



Figura 4.14 - Mistura com brilho (à esq.) e sem brilho (à dir.)

A experiência d) obteve bons resultados. A água em contacto com a resina impediu a formação da película superficial de resina e consequentemente inibiu o aparecimento do brilho característico da resina (Fig. 4.14). Por outro lado, não interferiu com a resistência da resina entre agregados o que permitiu manter as características físicas e mecânicas da mistura. No sentido de se comprovar os resultados, realizaram-se várias experiências iguais à experiência d). Alterou-se apenas a granulometria dos agregados para verificar se o resultado era comum em qualquer granulometria (Fig. 4.15 e 4.16).



Figura 4.15 - Misturas de granulometria grande, brilhante (à esq.) e sem brilho (à dir.)

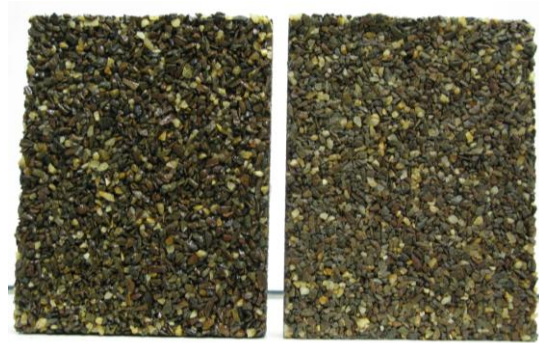


Figura 4.16 - Misturas de granulometria pequena, brilhante (à esq.) e sem brilho (à dir.)



Figura 4.17 - Comparação entre a mistura com brilho (à esq.) e sem brilho (à dir.)

As experiências realizadas revelaram bons resultados, a superfície das misturas, independentemente da granulometria, ficaram sem brilho após o contacto com a água. Desta forma encontrou-se um processo de retirar o brilho e a possibilidade de um acabamento de cor ocre rustico de uma forma simples e pouco dispendiosa.

4.2.2.2. Experiências pós polimerização

Em inúmeros materiais a forma de retirar o brilho e permitir um acabamento mate ou baço é através de processos mecânicos como o polimento. Neste sentido, com o objetivo de obter um acabamento sem brilho após a polimerização da resina, realizaram-se algumas experiências tais como:

- e) Polimento com discos abrasivos.

Esta experiência realizou-se partindo da premissa que o compósito polimérico se comporta de forma similar a um granito. Para a realização da experiência recorreu-se a uma empresa² de transformação e comercialização de mármore e granitos que disponibilizou meios técnicos e humanos especializados. Esta experiência consiste na utilização de uma mistura e submete-la a um polimento com disco abrasivo apropriado aos granitos (Fig. 4.18).



Figura 4.18 - Polimento com disco abrasivo

² Mármore e Granitos José R. F. Melo, Lda.



Figura 4.19 - Mistura submetida ao polimento com disco abrasivo

A experiência e) não revelou um acabamento satisfatório. Verificaram-se duas situações desfavoráveis ao acabamento pretendido. Por um lado o polimento retirou a resina superficial mas também a cor ocre, característica que se quer manter, por outro, como o disco é bastante duro e a mistura porosa, verificou-se que o disco não poliu de forma uniforme, deixando visíveis zonas com resina e de cor ocre e zonas polidas de cor cinza. Para além destas desvantagens é um processo que necessita de energia, o qual vai contra ao requisito de um produto de baixo custo. (Fig. 4.19).

f) Polimento com disco de panos.

Esta experiência realizou-se partindo da premissa que o compósito polimérico se comporta de forma similar a um metal. Esta consiste na utilização de uma mistura e submete-la a um polimento com disco de panos apropriados para retirar o brilho em metais e o apoio de um berbequim (Fig. 4.20).



Figura 4.20 - Mistura sem polimento (à esq.) e com o polimento (à dir.)

A experiência f) revelou um acabamento com menos brilho, mas que não vai de encontro ao pretendido. Para além de ser difícil o controlo do disco na superfície, que com alguma pressão, passa rapidamente a um aspeto queimado, o disco sofre muito desgaste (Fig. 4.20). Pode resumir-se que a experiência f) apresenta várias desvantagens, não apresenta o acabamento ideal, é um processo de difícil execução e pelo desgaste do material e da energia necessária torna o produto mais caro, indo contra aos requisitos de um produto de baixo custo.

g) Jato de areia.

A ideia do jato de areia surgiu com a necessidade de um processo mecânico atuar no interior dos poros superficiais na tentativa de remover a resina nesses poros. Para a realização da experiência recorreu-se à mesma empresa de transformação e comercialização de mármore e granitos que disponibilizou meios técnicos e humanos especializados. Esta experiência consiste na utilização de uma mistura e submete-la a um jato de areia com uma pressão máxima na ordem dos 10 Kgf/cm² equivalente a 10 bar mas que pode ser regulada de acordo com o material utilizado (Fig. 4.21).



Figura 4.21 - Jateamento com areia



Figura 4.22 - Mistura submetida ao jato de areia

A experiência g) revelou um acabamento de cor cinza (Fig. 4.22). O jato de areia penetrou nas irregularidades da superfície e removeu toda a resina assim como a cor ocre característico dos agregados envelhecidos, expondo a cor natural dos agregados aquando a sua extração visto que são compostos maioritariamente por xisto-grauvaque. Dado este aspeto ser facilmente conseguido pela utilização de agregados recém-extraídos, a utilização deste processo não demonstra vantagens na sua utilização. Além de que o seu procedimento requer meios técnicos e humanos especializados, assim como a necessidade de energia para a sua realização.

4.3. Comportamento mecânico e físico da peça modular em estudo

A terceira e última fase do programa experimental consiste em verificar se a base da peça modular em estudo, assim como a própria peça modular, são dotadas de características específicas ao bom desempenho da função pretendia, nesse sentido realizaram-se vários ensaios.

4.3.1. Ensaio de Ótica

O ensaio de ótica tem como objetivo compreender melhor a ligação entre a resina e o brilho ou ausência dele no compósito. Sendo o brilho um dos âmbitos de estudo do aspeto visual realizou-se o estudo a nível microscópico dos compósitos com e sem brilho. Para a realização do ensaio foi necessário uma amostra retirada de uma mistura com agregados grandes submetida à experiência d) (experiência da superfície em contacto com água) (Fig. 4.23 e 24). Ou seja, a amostra é composta por uma face de superfície brilhante e outra face sem brilho (Fig. 4.25 e 26).



Figura 4.23 - Face da mistura com superfície sem brilho



Figura 4.24 - Face da mistura com superfície brilhante



Figura 4.25 - Amostra com a face brilhante



Figura 4.26 - Amostra com a face oposta sem brilho

Depois de se obter a amostra, e já no centro de ótica³, seccionou-se transversalmente a amostra com um aparelho de corte de precisão (Fig. 4.27) para retirar uma amostra mais pequena e compatível à visualização que se pretende.

³ Centro de ótica da Universidade da Beira Interior - COUBI.

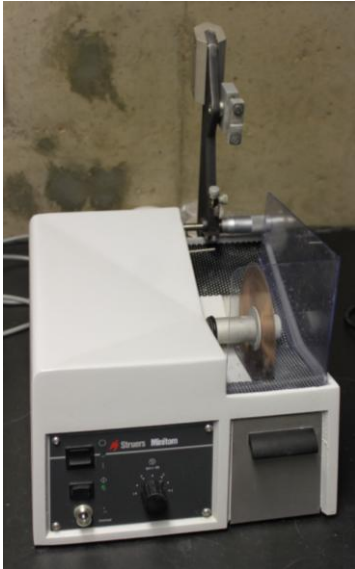


Figura 4.27 - Aparelho de corte de precisão - Struers Minitom



Figura 4.28 - Zona de seccionamento da amostra

Posteriormente, a amostra seccionada, foi visualizada ao microscópio ótico. Primeiramente visualizou-se pelo microscópio Leica wild M3B (Fig. 4.29) a zona de arrancamento da amostra à mistura (Fig. 4.30), para se compreender melhor a fronteira entre a zona da resina e a zona de contacto entre agregados (Fig. 4.31).

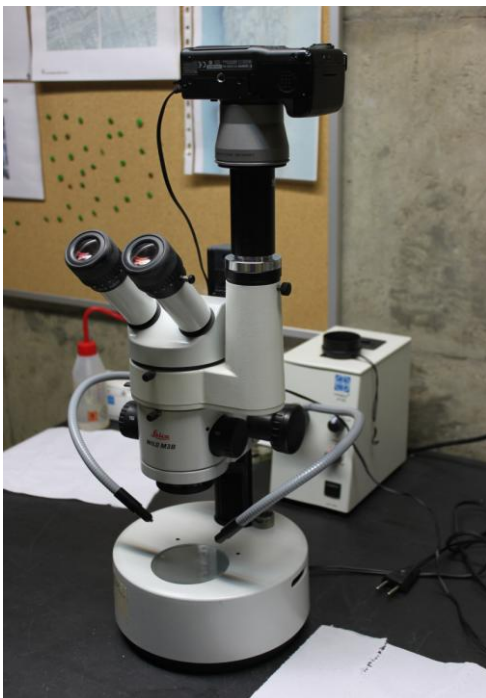


Figura 4.29 - Microscópio ótico Leica wild M3B

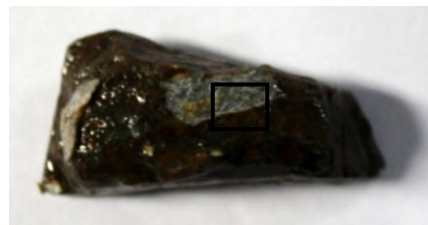


Figura 4.30 - Fronteira entre a zona de arrancamento e a resina

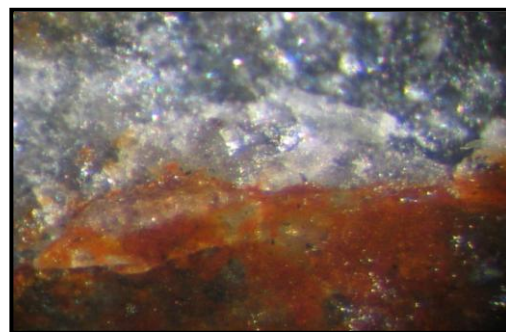


Figura 4.31 - Vista ao microscópio ótico da fronteira entre a zona de arrancamento e a resina (16x)

Seguidamente visualizou-se a amostra seccionada pelo microscópio Leica MEF4M (Fig. 4.32), no qual foi possível identificar e medir a espessura da resina na superfície da amostra e se comparou com a superfície submetida à experiência d).

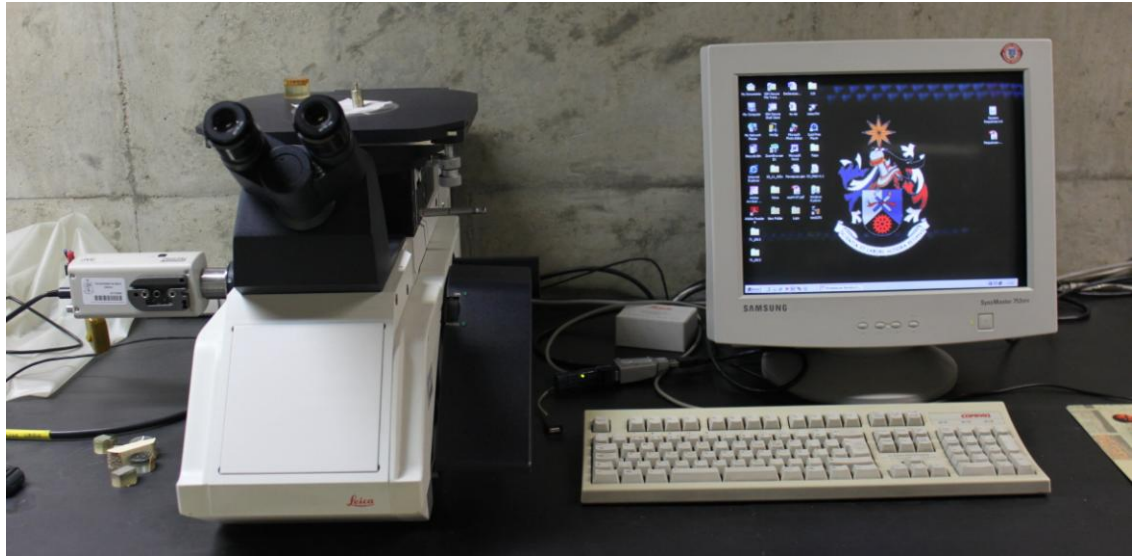


Figura 4.32 - Microscópio ótico Leica MEF4M

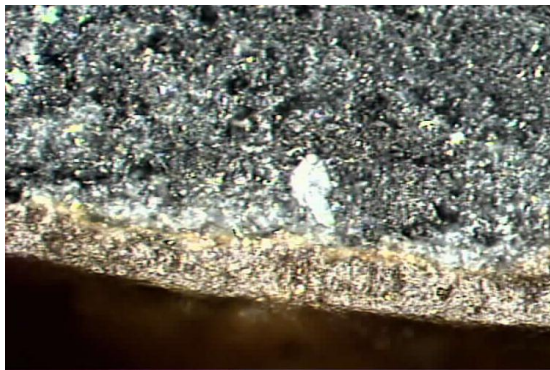


Figura 4.33 - Visualização da secção da amostra com superfície brilhante (200x)

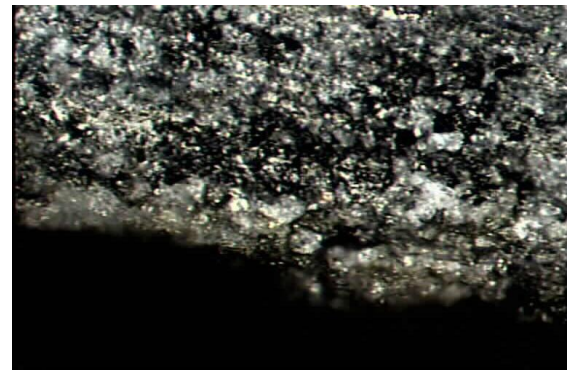


Figura 4.34 - Visualização da secção da amostra com superfície sem brilho (200x)

Na Fig. 4.33 é possível identificar o recobrimento da resina na superfície da amostra contrariamente à Fig. 4.34 onde não se verifica a espessura da resina impossibilitando o estudo da mesma. O próximo passo consistiu na medição da espessura de resina através do programa de medição do microscópio ótico Leica MEF4M (Fig. 4.35).

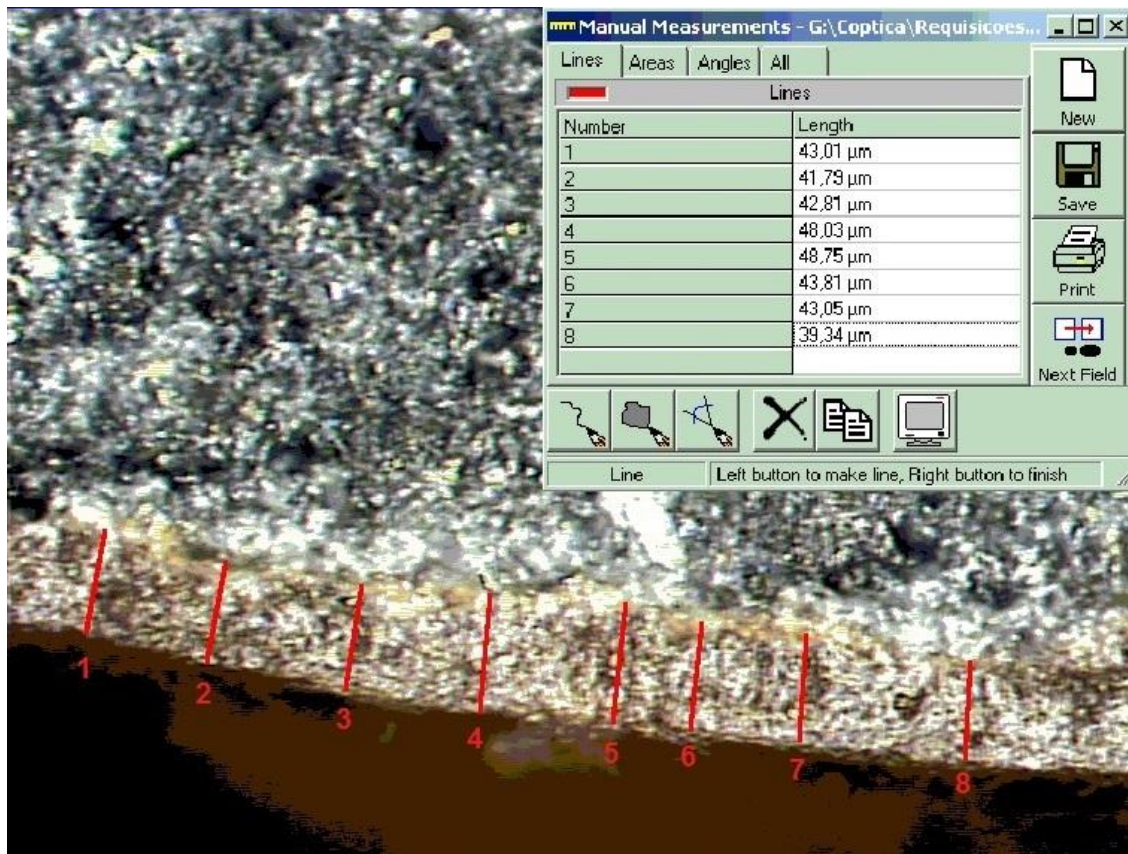


Figura 4.35 - Medição da espessura de resina pelo microscópio ótico Leica MEF4M (200x)

Como não é laboratorialmente possível envolver os agregados com a espessura exata de resina por toda a superfície, procedeu-se a várias medições para obter o resultado mais aproximado através de uma média aritmética calculada pela seguinte expressão:

$$\bar{e} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 e_i = \frac{e_1 + e_2 + \dots + e_8}{8} = \quad (1)$$

$$= \frac{(43,01 + 41,79 + 42,81 + 48,03 + 48,75 + 43,81 + 43,05 + 39,34)}{8} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \bar{e} = 43,82 \mu\text{m}$$

Sendo:

\bar{e} - Média da espessura de resina, (μm);

e - Espessura de resina, (μm);

Verificou-se que a espessura de resina no seu estado natural é em média $\bar{e} = 43,82 \mu\text{m}$.

No sentido de apresentar uma contraprova das medições efetuadas e de aprofundar o estudo do aspeto da resina visualizou-se as amostras e procedeu-se à medição através do microscópio eletrónico de varrimento (Fig. 4.36).



Figura 4.36 - Microscópio eletrónico de varrimento

O objetivo pretendido com a medição a microscópio eletrónico de varrimento foi comprovar a espessura com uma medida compreendida entre o máximo e o mínimo da amostra para o cálculo da média, visto não ser possível fazer medições no local exato das realizadas para o cálculo da média com o microscópio ótico.

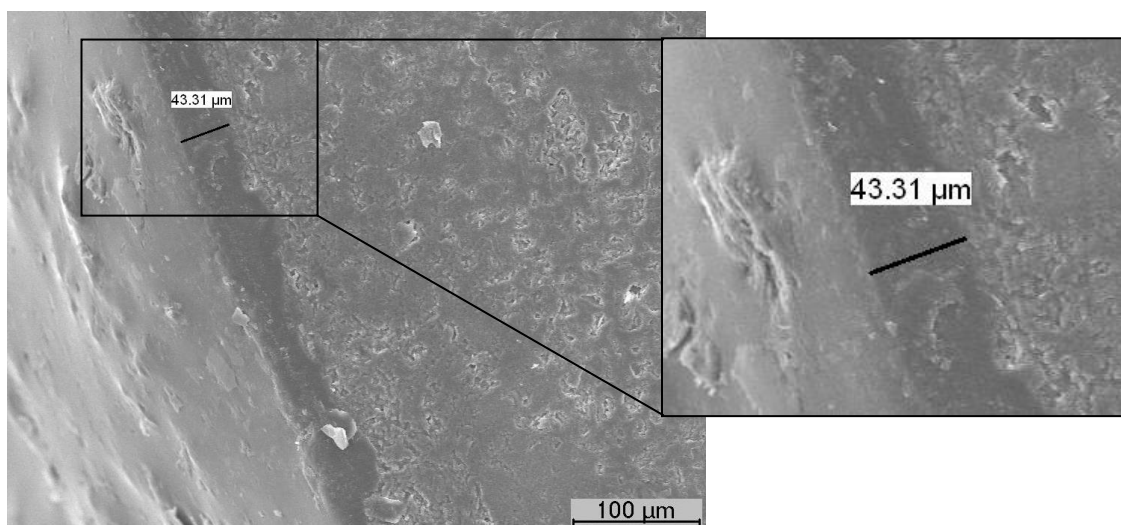


Figura 4.37 - Medição da espessura de resina pelo microscópio eletrónico de varrimento (200x)

A medida verificada no microscópio eletrônico de varrimento encontra-se entre o mínimo e o máximo verificado no microscópio ótico, $39,34\mu\text{m} < 43,31\mu\text{m} < 48,75\mu\text{m}$ (Fig. 4.37). O valor medido aproxima-se consideravelmente da média calculada ($\bar{e}=43,82\mu\text{m} \approx e=43,31\mu\text{m}$), comprovando-se assim, através de um aparelho de maior precisão, a espessura da resina. O aspecto superficial da resina foi também um ponto de estudo com o microscópio eletrônico, permitiu assim compreender melhor a influência da espessura na ausência ou presença do brilho.

Amostras sem brilho

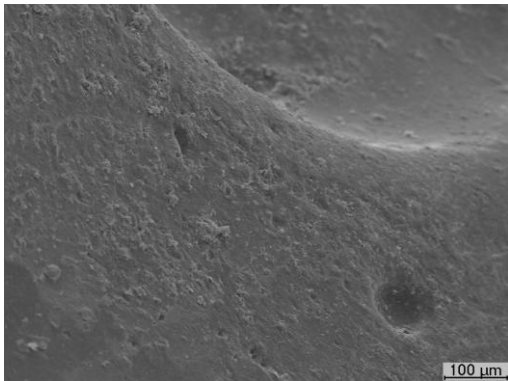


Figura 4.38 - Imagem aumentada 150x

Amostras com brilho

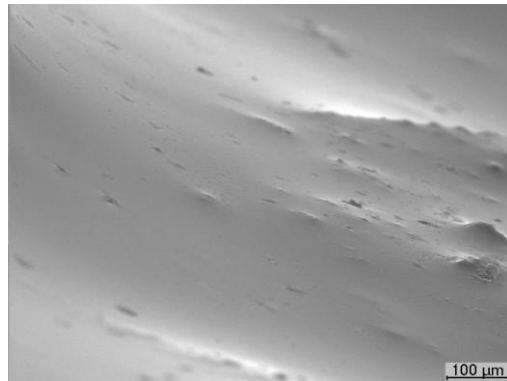


Figura 4.39 - Imagem aumentada 150x

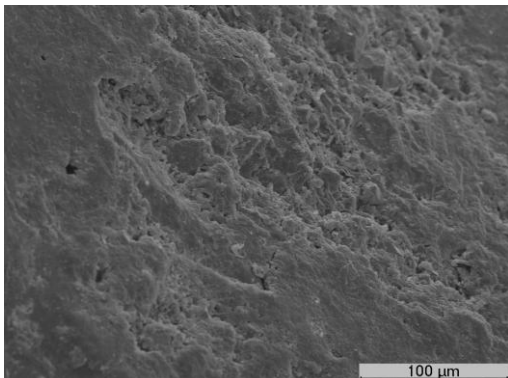


Figura 4.40 - Imagem aumentada 350x

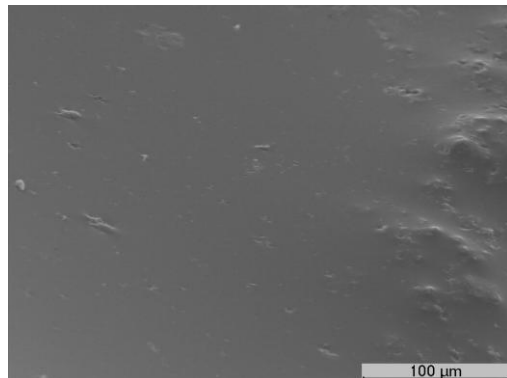


Figura 4.41 - Imagem aumentada 350x

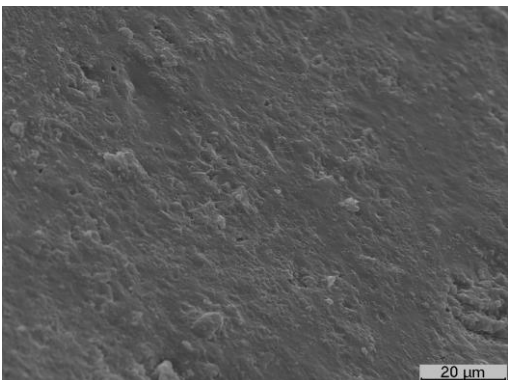


Figura 4.42 - Imagem aumentada 1000x

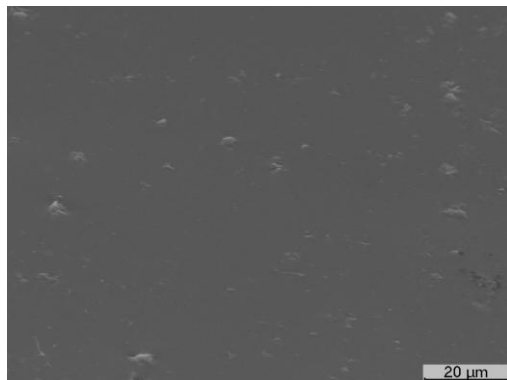


Figura 4.43 - Imagem aumentada 1000x

Em forma de síntese, o ensaio de ótica permitiu concluir que, após a polimerização da resina, arrancando um agregado à mistura original este perde da sua superfície a cor ocre deixando visível a cor original cinza (Fig. 4.31), ou seja, a cor ocre do agregado envelhecido apenas é superficial. Pode-se concluir também que a experiência d) retira ou reduz, dos agregados, a espessura de resina de tal forma que esta é impossível de se visualizar a microscópio, ou seja, a presença de água inibe a polimerização da resina de forma a esta não ser suficientemente espessa para apresentar o brilho característico da resina (Fig. 4.34). O ensaio de ótica permitiu também realizar a medição da espessura de resina presente nas misturas realizadas laboratorialmente, esta apresenta em média $\bar{e} = 43,82 \mu\text{m}$. Por último conclui-se que os agregados com brilho apresentam um aspeto mais liso, uniforme e com menos poros que os agregados sem brilho resultado da espessura de resina.

4.3.2. Ensaio de resistência da aderência por tração (“Pull-off”)

O ensaio de resistência da aderência por tração ou de arrancamento (“pull-off”) tem como objetivo caracterizar a peça modular em estudo (Fig. 4.44) relativamente à união entre a base de matriz polimérica e os alvéolos de cortiça.

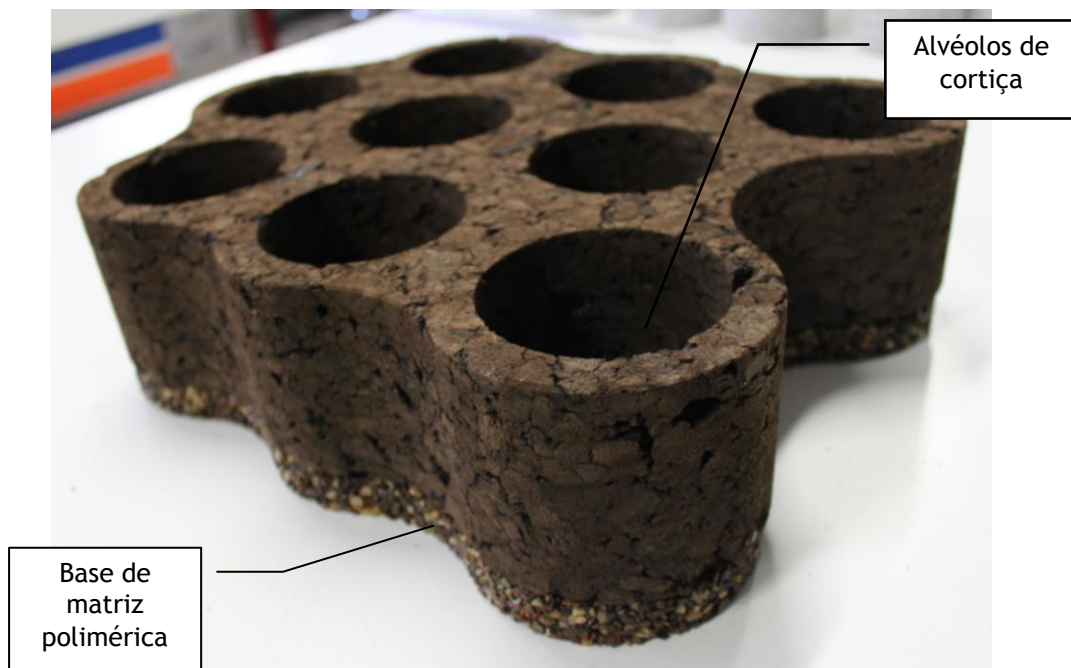


Figura 4.44 - Peça modular em estudo

O ensaio de arrancamento foi realizado de acordo com a norma EN 1015-12:2000. Para a realização do ensaio recorreu-se a alguns dos mecanismos do sistema “Bond-test” comercializado pela “Germann Instruments A/S”. Neste ensaio podem ocorrer diferentes tipos de rotura apresentados nas Figuras 46, 47, 48, 49 e 50.

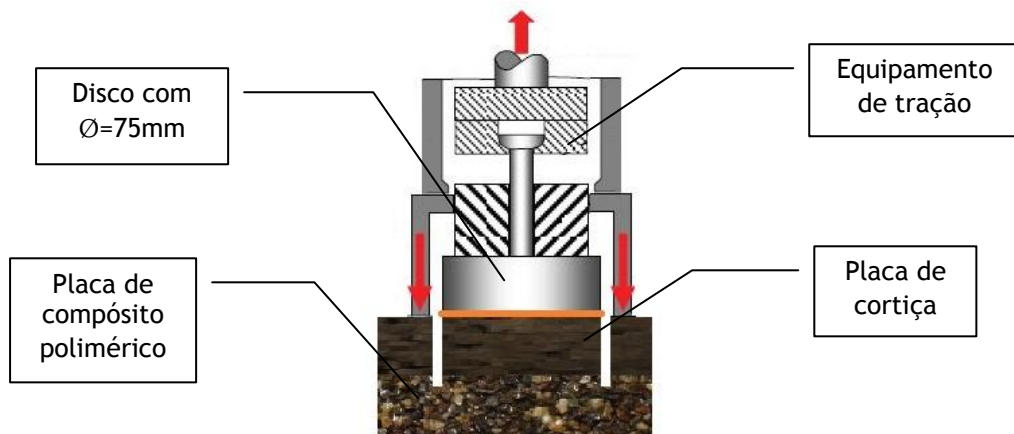


Figura 4.45 - Esquema do ensaio de arrancamento

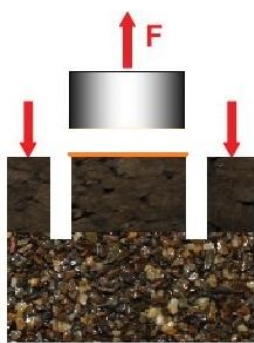


Figura 4.46 - Ruptura pela interface do disco com a resina

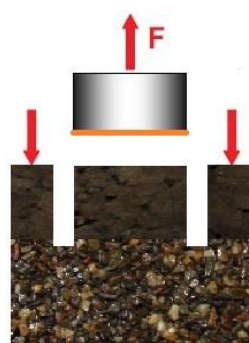


Figura 4.47 - Ruptura pela interface da resina com a cortiça

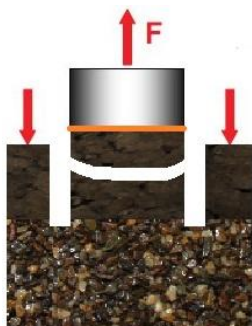


Figura 4.48 - Ruptura pela cortiça



Figura 4.49 - Ruptura pela interface da cortiça com o compósito polimérico

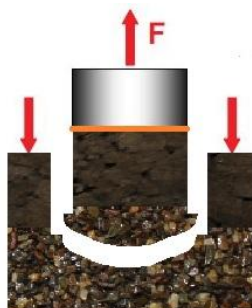


Figura 4.50 - Ruptura pelo compósito polimérico

Como foi já referido anteriormente a base de matriz polimérica é colada aos alvéolos de cortiça pelo mesmo ligante que se usa na formação da base, ou seja, é utilizado a resina Crystic 199. Neste sentido, e de forma a ser fiel às características físicas da própria peça, de utilizar a menor diversidade possível de materiais e à elevada resistência à tração a cola utilizada no ensaio para a fixação dos discos foi a resina Crystic 199.

Visto que peça modular possui características próprias que dificultam o ensaio, foi necessário adaptar a peça já que o objetivo deste ensaio é verificar a capacidade de resistência à tração da interface da cortiça com o compósito polimérico. Sendo assim, realizaram-se seis provetes de ensaio com as características apropriadas. Os provetes a ensaiar são compostos por uma placa de compósito polimérico e uma placa de cortiça colados pela resina Crystic 199 (Fig. 4.53). Em três dos provetes foram reaproveitadas as misturas poliméricas e as placas de cortiça utilizadas em outros ensaios (Fig. 4.51), estas apresentavam dimensões aceitáveis para o ensaio, mas notava-se algum empeno nas placas de cortiça. Os outros três provetes (Fig. 4.52) foram criados de raiz com as quantidades das misturas poliméricas apresentadas no Quadro 4.6 e a granulometria dos agregados foi de 2 a 8mm. Posteriormente as seis misturas foram coladas às placas de cortiça com dimensões 15x15x3cm. A quantidade de resina utilizada na interface das duas placas foi a suficiente para cobrir toda a área de contacto.



Figura 4.51 - Provetes reaproveitados para ensaio de arrancamento



Figura 4.52 - Provetes criados de raiz para ensaio de arrancamento

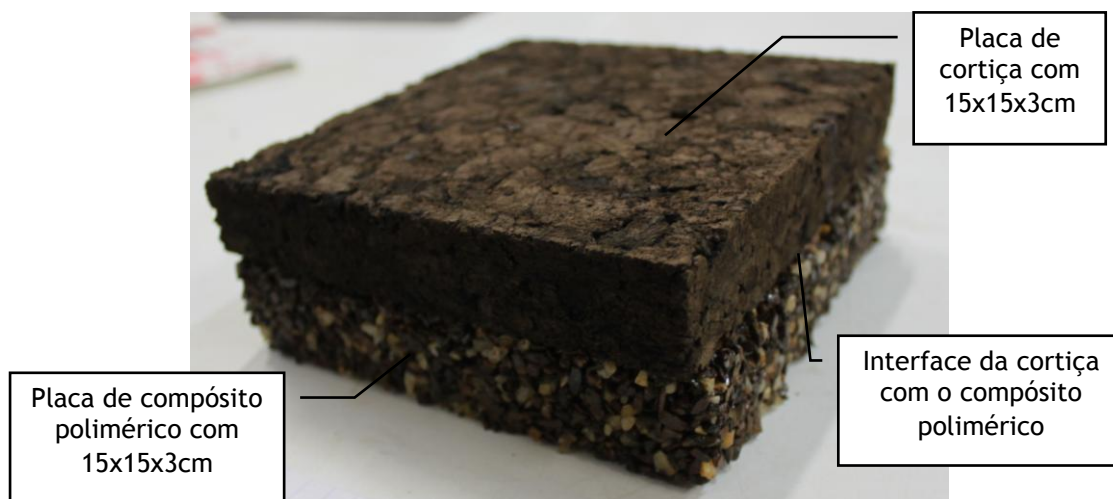


Figura 4.53 - Composição dos provetes para ensaio de arrancamento

Quadro 4.6 - Quantidade das misturas poliméricas para ensaio de arrancamento

Molde 15x15x3cm (un)	Agregado (g)	Resina a 4% (g)	Acelerador a 2% (g)	Catalisador a 3% (g)
1	800	32	0,64	0,96
3	2400	96	1,92	2,88

Os provetes de ensaio foram preparados com base no procedimento do sistema “Bond-Test”, a carotagem dos provetes sofreu uma pequena adaptação visto a cortiça ser um dos materiais em estudo. Inicialmente fez-se o caroteamento da cortiça com uma broca craniana para madeira (Fig. 4.54-a)) e depois fez-se o caroteamento normal do compósito polimérico (Fig. 4.54-b)) de forma a penetrar neste cerca de 3 a 4 mm garantindo assim a exatidão da área tracionada. Posteriormente colou-se os discos à cortiça caroteada (Fig. 4.54-d) e 55).

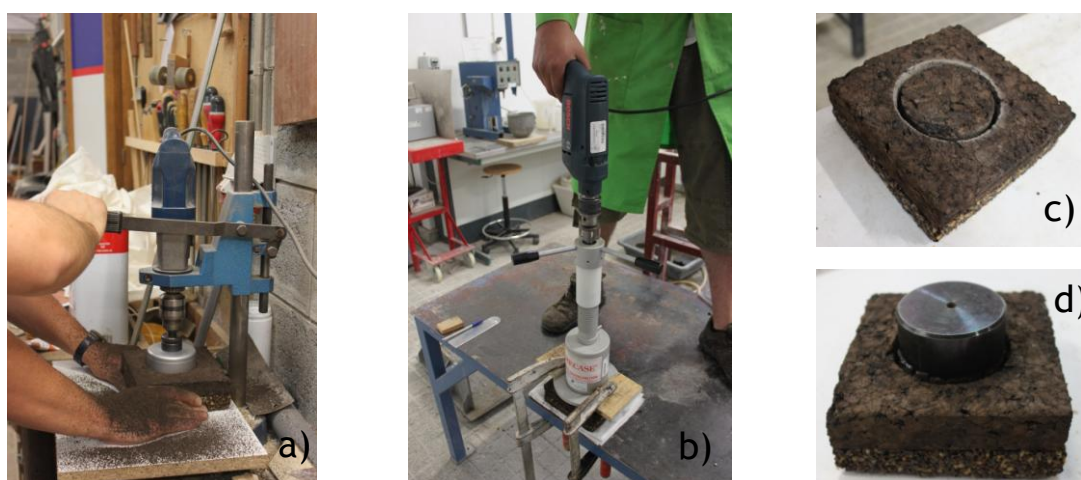


Figura 4.54 - a) Caroteamento da cortiça; b) Caroteamento do compósito polimérico; c) Provette caroteado; d) Disco colado ao provete;

Relativamente ao ensaio, deve-se referir que o equipamento de tração disponível tem capacidade para 60 kN com a menor divisão de escala de 5 kN, pois é indicado para forças de tração muito superiores aos esperados neste estudo. Consequentemente foi necessário encontrar um mecanismo alternativo com uma leitura de valores mais sensível, capaz de registar gradualmente valores de carga até 1 kN.

O mecanismo alternativo (Fig. 4.57) encontrado baseia-se no carregamento, utilizando objetos de massas conhecidas, de um ponto de equilíbrio assente unicamente no parafuso de alta resistência estando este fixo no disco de ensaio. Os discos e o parafuso de alta resistência são complementos do sistema “Bond-Test” (Fig. 4.55 e 56). Para a realização deste mecanismo recorreu-se a uma estrutura que permitisse fixar os provetes de ensaio libertando a zona inferior para o carregamento. O ensaio termina no momento em que o provete atinge a máxima resistência à tração e entra em rotura, contabilizando-se os pesos colocados e registando-se o tipo de rotura.

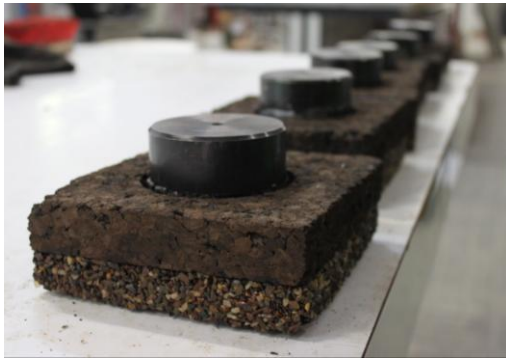


Figura 4.55 - Discos colados aos provetes



Figura 4.56 - Parafuso de alta resistência fixo ao disco



Figura 4.57 - Mecanismo alternativo de carregamento

Inicialmente não se previu os resultados do ensaio de resistência da aderência à tração, visto não se conhecer a realização de outros ensaios com estes materiais. Como já referido, existem alguns tipos de rotura teóricos, dos quais se previa e ambicionava a rotura pela cortiça, pois, sendo o material menos resistente à aderência por tração e a rotura dando-se pela cortiça obter-se-ia uma peça com as ligações resistentes e com resistência máxima conhecida, ou seja, a resistência da aderência à tração máxima da peça modular seria a resistência da cortiça. Pelo ensaio encontrou-se valores esclarecedores e bastante positivos, tendo em conta o objetivo da peça modular, apresentados no Quadro 4.7 e 4.8.

Quadro 4.7 - Resultados e tipos de rotura recolhidos no ensaio de arrancamento

Provetes	Carga (Kg)	F (N)	Tipo de rotura
1*	19,14	191,4	Rotura pela interface da cortiça com o compósito polimérico
2*	10,80	108,0	Rotura pela interface da cortiça com o compósito polimérico
3*	38,14	381,4	Parte da rotura pela interface da cortiça com o compósito polimérico e parte pela cortiça
4	51,96	404,2	Rotura pela cortiça
5	40,42	519,6	Rotura pela cortiça
6	48,10	481,0	Rotura pela cortiça

* Provetes com materiais reutilizados

O cálculo da resistência da aderência à tração é feito pela seguinte expressão:

$$f_u = \frac{4F}{\pi d^2} \quad (2)$$

Sendo:

f_u - Resistência à tração, MPa;

F - Força de arrancamento, N;

d - Diâmetro do disco, 75mm;

Quadro 4.8 - Resultados finais e tipos de rotura do ensaio de arrancamento

Provetes	Resistência à tração, f_u (MPa)	Tipo de rotura
1*	0.04	Rotura pela interface da cortiça com o compósito polimérico
2*	0.02	Rotura pela interface da cortiça com o compósito polimérico
3*	0.09	Rotura pela cortiça
4	0.12	Rotura pela cortiça
5	0.09	Rotura pela cortiça
6	0.11	Rotura pela cortiça

* Provetes com materiais reutilizados

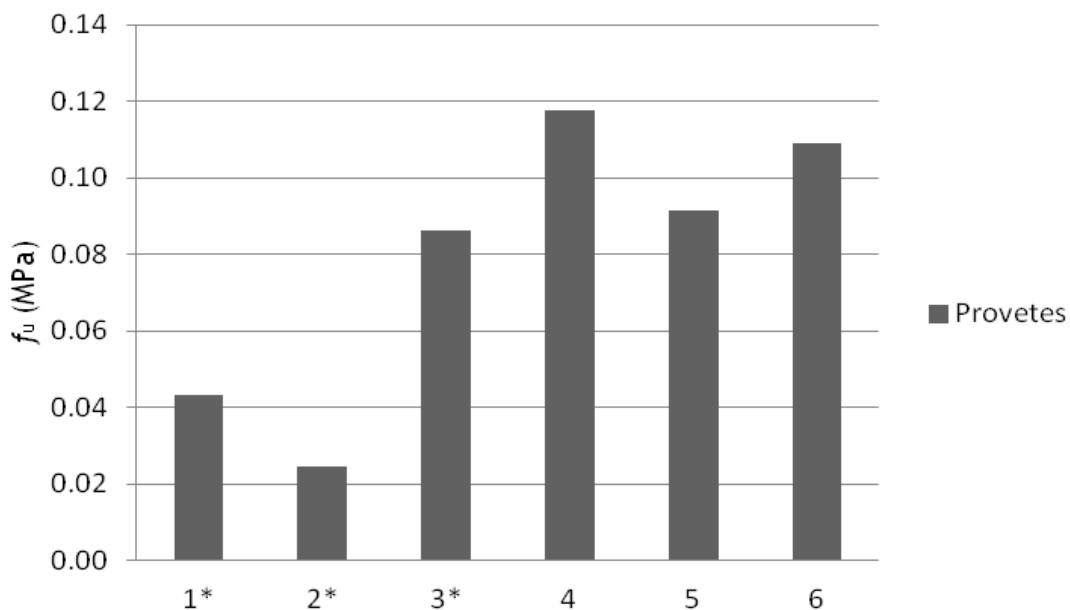


Figura 4.58 - Resistência de aderência à tração



Figura 4.59 - Rotura pela cortiça (à esq.) e rotura pela interface do composto polimérico com a cortiça (à dir.)

Conforme se verifica, os provetes com materiais reutilizados, influenciaram nos resultados finais. Estes resultados devem-se ao fato da cortiça reutilizada apresentar a superfície ondulada ou empenada, que não permitiu um contacto total entre placas. Apesar deste fato, o problema deixa de ser considerado relevante, pois, por um lado é fácil de resolver no momento da escolha da cortiça e por outro os alvéolos de cortiça utilizados na peça modular apresentam uma espessura tal, que não permite o referido empeno.

No geral o ensaio foi positivo, as roturas deram-se maioritariamente pela cortiça e obtiveram-se valores médios de 0,08 MPa de resistência da aderência à tração, valores bastante bons tendo em conta o objetivo da peça modular.

4.3.3. Ensaio ao Choque Térmico

O ensaio ao choque térmico tem como objetivo caracterizar a peça modular (Fig. 4.44) relativamente à durabilidade quando submetida a diferenças de temperatura. O ensaio foi realizado com base na norma EN 1367-5. Este ensaio tende a recriar as diferentes temperaturas ambientais e avaliar a peça em dois pontos, nomeadamente a perda de massa e a resistência da aderência à tração da peça modular.

Para a realização do ensaio foram criados seis provetes (Fig.60 e 61) da mesma forma que os criados no ensaio de arrancamento não só para facilitar a realização do ensaio mas também porque os provetes serão submetidos ao ensaio de arrancamento, as quantidades das misturas poliméricas estão apresentadas no Quadro 4.9.



Figura 4.60 - Provetes para ensaio ao choque térmico

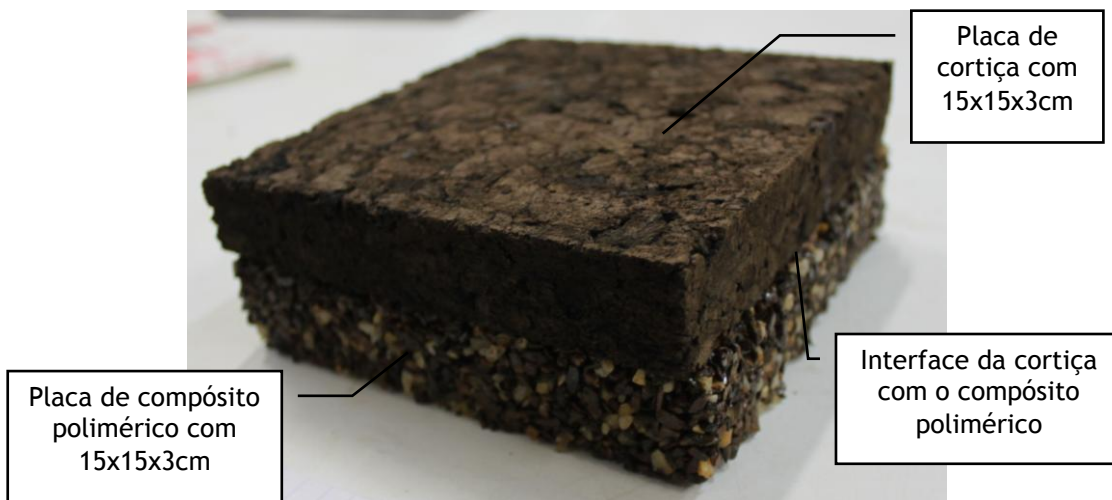


Figura 4.61 - Composição de um provete para ensaio ao choque térmico

Quadro 4.9 - Quantidade das misturas poliméricas para ensaio ao choque térmico

Molde 15x15x3cm (un)	Agregado (g)	Resina a 4% (g)	Acelerador a 2% (g)	Catalisador a 3% (g)
1	1000	40	0,8	1,2
6	6000	240	4,8	7,2

O ensaio consiste na realização de um ciclo composto por mergulhar os provetes 3 horas em água à temperatura ambiente ($\approx 20^{\circ}\text{C}$) (Fig. 4.62 e 63) e seguidamente coloca-los 4 horas na mufla a uma temperatura aproximada de 80°C (Fig. 4.64 e 65). Como a maior diferença de temperatura ambiental se dá nas épocas mais quentes, o ensaio visa recriar essa diferença de temperatura. A temperatura mais alta é limitada pela cortiça, pois acima dos 80°C existe a possibilidade desta sofrer alterações físicas a mais baixa é limitada pela semelhança com chuva na época alta. A realização do ensaio passou pela repetição de 4 ciclos com o registo do peso à saída da mufla a cada ciclo.



Figura 4.62 - Provetes mergulhados em água



Figura 4.63 - Temperatura da água



Figura 4.64 - Provetes na mufla



Figura 4.65 - Temperatura da mufla

A avaliação do ensaio ao choque térmico realiza-se em dois critérios distintos. Um dos critérios consiste na perda de massa dos provetes após o ensaio, o outro critério consiste na influência do ensaio na união da base polimérica com os alvéolos de cortiça. A expectativa dos valores do ensaio era positiva, apesar de não se conhecer valores teóricos com estes materiais. Os resultados do ensaio apresentam-se separadamente consoante os critérios em estudo.

Relativamente à perda de massa apresenta-se no Quadro 4.10 os resultados obtidos.

Quadro 4.10 - Resultados das pesagens com os provetes secos

Provetes	Peso inicial (g)	Peso ao 2º ciclo (g)	Peso final (g)	Diferença do peso inicial e o final (g)
1	1135,8	1133,7	1132,7	3,1
2	1136,2	1134,0	1132,8	3,4
3	1143,7	1141,3	1139,8	3,9
4	1185,2	1184,5	1183,9	1,3
5	1192,6	1191,8	1191,8	0,8
6	1170,0	1169,0	1168,5	1,5

No que diz respeito à resistência da aderência à tração, os resultados obtidos apresentam-se no Quadro 4.11. Os valores apresentados foram analisados e calculados da mesma forma que o ensaio ao arrancamento realizado no ponto anterior.

Quadro 4.11 - Resultados finais e tipos de rotura do ensaio de arrancamento após ensaio ao choque térmico

Provetes	Resistência à tração, f_u (MPa)	Tipo de rotura
1	0.11	Rotura pela cortiça
2	0.07	Rotura pela cortiça
3	0.09	Rotura pela cortiça
4	0.08	Rotura pela cortiça
5	0.06	Rotura pela cortiça
6	0.08	Rotura pela cortiça

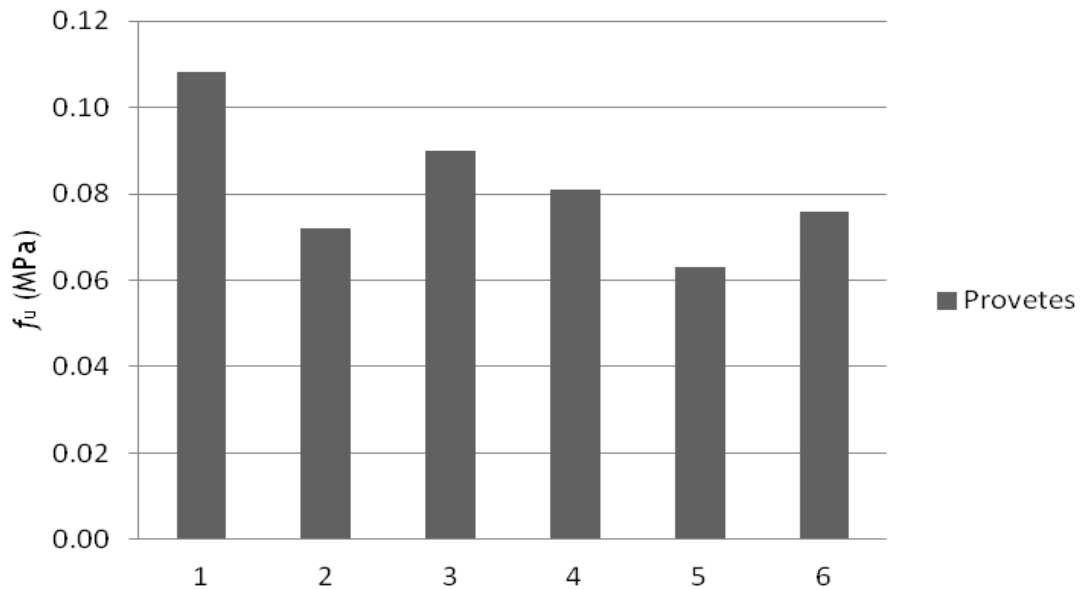


Figura 4.66 - Resistência de aderência à tração após ensaio ao choque térmico

Como se pode verificar os valores de perda de massa não são significativos, em média os provetes perderam aproximadamente 2,3g, que corresponde a cerca de 0,2% de perda da massa inicial. Pode-se considerar que o ensaio ao choque térmico não influenciou a perda de massa da peça modular.

Quanto ao segundo critério de avaliação, pode-se verificar que, após o ensaio do choque térmico, os valores são equivalentes aos apresentados no ensaio de resistência da aderência à tração no ponto anterior. Isto é, o ensaio do choque térmico não influenciou nos valores do ensaio ao arrancamento. Comprova-se pela realização da média que é 0,08 MPa a mesma que no ensaio do ponto anterior.

No geral pode-se considerar que o ensaio ao choque térmico revelou resultados muito bons, visto que a peça modular em estudo comporta-se muito bem, quer à perda de massa quer à união da base com os alvéolos de cortiça. A peça modular caracteriza-se como resistente à diferença de temperatura ambiental, logo apresenta boa durabilidade nestes parâmetros.

4.3.4. Ensaio de Permeabilidade

A base da peça modular deve caracterizar-se por dificultar o escoamento da água, minimizando a necessidade de rega, mas possibilitando a saída de água de forma a esta não ficar alojada dentro dos alvéolos. Este ensaio foi importante para a escolha da granulometria ideal na produção da base polimérica.

O ensaio de permeabilidade foi realizado com recurso ao permeâmetro LCS, desenvolvido em Espanha pelo Laboratório de Caminos de Santander, este processo é o mais usual em Portugal e mesmo noutros países. Para misturas abertas, compactas em laboratório, utilizou-se o

permeâmetro LCS de carga variável para misturas drenantes. Este ensaio consiste na medição do tempo, em segundos, que demora a escoar através da mistura um certo volume de água (Oliveira, 1995). O ensaio foi determinado com base na norma europeia EN 12697-19, 2004 e na norma espanhola NLT327/00, mas com algumas adaptações.

Determinaram-se dois tipos de permeabilidade: permeabilidade vertical e horizontal (Fig. 4.67). A permeabilidade vertical representa um escoamento unidirecional vertical (Dinis-Almeida, 2003) com a peça modular na horizontal, a permeabilidade horizontal representa o escoamento da entrada da água pelos alvéolos com a peça modular na vertical.

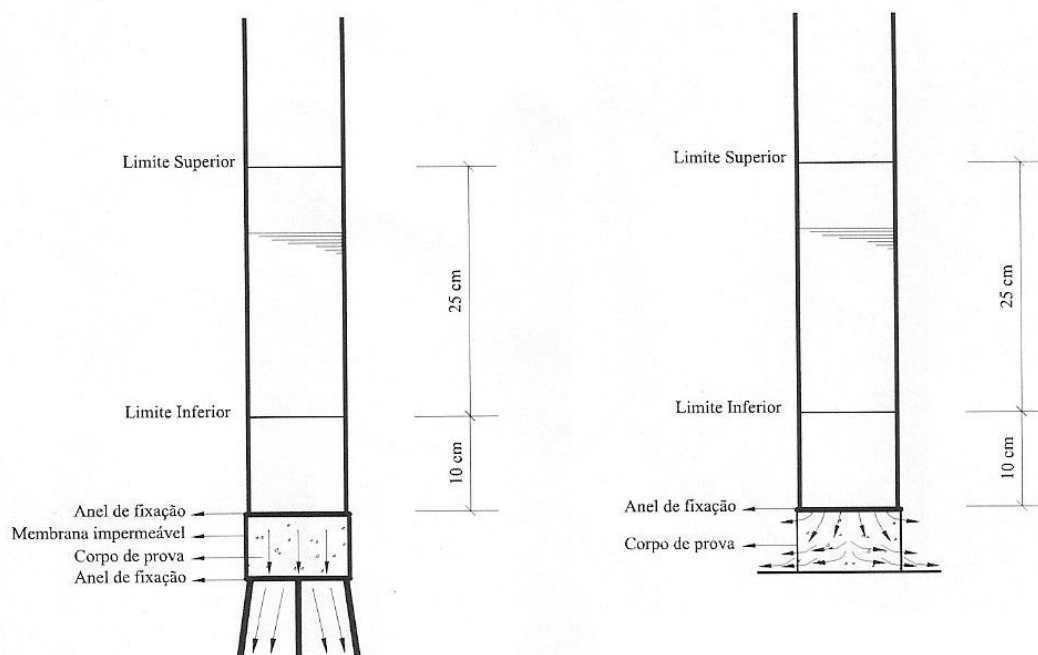


Figura 4.67 - Esquema da permeabilidade vertical (à esq.) e permeabilidade horizontal (à dir.)

O permeâmetro utilizado no ensaio resultou de uma adaptação ao permeâmetro LCS com a intenção de se contabilizar mais facilmente o tempo de escoamento da água. Neste sentido reduziu-se a área de secção do permeâmetro que consequentemente reduziu o volume de escoamento. Optou-se pela adaptação do permeâmetro tendo em conta que o cálculo do coeficiente de permeabilidade foi determinado pela lei de Darcy através de uma expressão que apresenta o volume escoado como variável. A expressão desenvolvida pela lei de Darcy, parte da hipótese que a amostra foi saturada e o fluxo é homogéneo laminar, só assim se justifica a aplicabilidade da lei de Darcy no cálculo do coeficiente de permeabilidade (Bear J., 1972 citado por HamZah et al., 2011^a).

O relacionamento da permeabilidade medida com o permeâmetro LCS com o coeficiente de permeabilidade de Darcy tem sido procurado por vários autores, sendo através do escoamento unidirecional que se determina as medições mais corretas (Oliveira, 1995).

A expressão determinada pela lei de Darcy para o cálculo do coeficiente de permeabilidade apresenta-se da seguinte forma:

$$K = 2,303 * \frac{a * h}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2} \quad (3)$$

Sendo:

K - Coeficiente de permeabilidade, cm/s;

a - Área da secção do permeâmetro, cm²;

A - Área de escoamento no corpo de prova, cm²;

h - Altura do corpo de prova, cm;

t - Tempo de escoamento de 363cm³, s;

h₁ - Altura de água acima da face inferior do corpo de prova no início do ensaio, cm;

h₂ - Altura de água acima da face inferior do corpo de prova no fim do ensaio, cm.

Tendo em conta a alteração realizada do permeâmetro que passou a um diâmetro interior de 4,3cm, foi necessário encontrar o volume de escoamento, pois pela lei de Darcy faz-se o relacionamento entre o volume de escoamento e o tempo necessário para escoar esse mesmo volume através de uma mistura. Neste sentido o volume calcula-se pela seguinte expressão:

$$V = a * h = \pi * r^2 * h = \pi * \left(\frac{4,3}{2}\right)^2 * 25 = 363\text{cm}^3 \quad (4)$$

Sendo:

V - Volume de escoamento, cm³;

r - Raio interno do permeâmetro, cm;

h - Altura de ensaio do permeâmetro, cm;

Os provetes a ensaiar foram criados tendo em consideração o permeâmetro adaptado. Realizaram-se seis misturas distintas para a permeabilidade vertical e seis para a permeabilidade horizontal denominadas de “A” a “F”, diferenciadas pela composição e granulometria, e dentro de cada mistura realizaram-se três provetes iguais apresentados no Quadro 4.12 e na Figura 4.68. Assim para cada mistura, obteve-se uma média de três valores do tempo de escoamento.

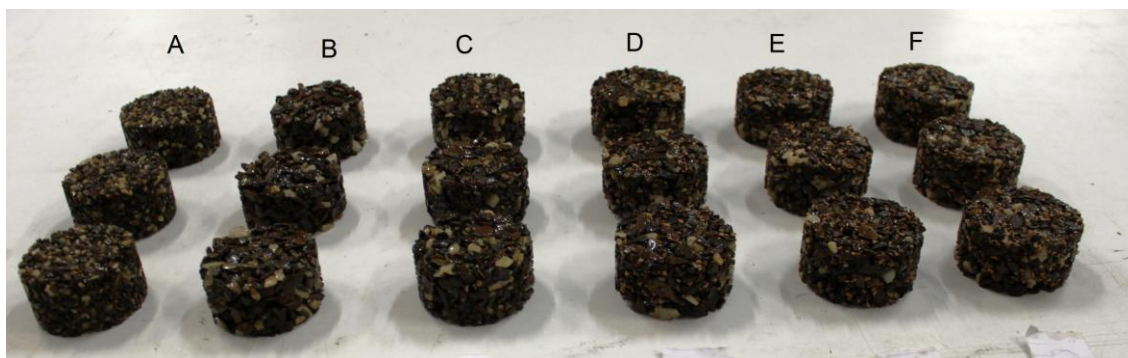


Figura 4.68 - Misturas de ensaio

Quadro 4.12 - Misturas de ensaio para permeabilidade vertical e para a permeabilidade horizontal

Mistura (provetes)	Granulometria de 2 a 4 mm (%)	Granulometria de 4 a 8 mm (%)	Cortiça 1,6 a 2 mm (%)
A (123)	100	0	0
B (123)	0	100	0
C (123)	30	70	0
D (123)	25	70	5
E (123)	20	70	10
F (123)	15	70	15

Os provetes a ensaiar tiveram de respeitar determinadas características para possibilitar a realização do ensaio. Estas características passam pelo cuidado com o diâmetro e altura. Dado que a área de escoamento no corpo de prova é necessária à expressão para o cálculo do coeficiente de permeabilidade, esta apresenta-se no Quadro 4.13.

Quadro 4.13 - Características dos provetes a ensaiar

Mistura (provetes)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área de escoamento vertical (cm ²)	Área de escoamento horizontal (cm ²)
A (123)	3,3	6,0	28,27	62,20
B (123)				
C (123)				
D (123)				
E (123)				
F (123)				

Determinaram-se dois tipos de permeabilidade como referido anteriormente, neste sentido o ensaio de permeabilidade realizou-se por dois procedimentos, o primeiro corresponde à permeabilidade vertical e o segundo à permeabilidade horizontal.

O cálculo do coeficiente de permeabilidade vertical realiza-se pela seguinte expressão:

$$K = 2,303 * \frac{a * h}{A * t_v} * \log \frac{h_1}{h_2} \quad (5)$$

Sendo,

K - Coeficiente de permeabilidade, cm/s;

a - Área da secção do permeâmetro, cm²;

A - Área de escoamento vertical no corpo de prova, cm²;

h - Altura do corpo de prova, cm;

t_v - Tempo de escoamento vertical de 363cm³, s;

h₁ - Altura de água acima da face inferior do corpo de prova no início do ensaio, cm;

h₂ - Altura de água acima da face inferior do corpo de prova no fim do ensaio, cm.

Onde,

$$h_1 = 35 + h \text{ cm} \Leftrightarrow h_1 = 35 + 3,3 = 38,3 \text{ cm}$$

$$h_2 = 10 + h \text{ cm} \Leftrightarrow h_2 = 10 + 3,3 = 13,3 \text{ cm}$$

Através das características dos provetes e dos dados retirados do permeâmetro foi possível simplificar a expressão que resultou na seguinte:

$$K = \frac{1,793}{t_v} \quad (6)$$

Com a simplificação obtém-se uma expressão com apenas uma variável, ou seja, a expressão depende apenas dos tempos de escoamento e estes são encontrados recorrendo ao ensaio.

A realização do ensaio à permeabilidade vertical consiste na colocação do provete no permeâmetro; o provete deve estar impermeabilizado lateralmente e livre nas faces forçando o escoamento a ser unidirecional (Fig. 4.69); encheu-se o permeâmetro 10 a 15cm acima do limite superior como apresenta a Figura 66, deixando-se escoar no sentido de saturar o provete (Fig. 71); tornou-se a encher o permeâmetro acima do limite superior e cronometrou-se o tempo, em segundos, qua a água demorou a descer desde o limite superior ao limite inferior, resultando no tempo necessário para escoar um volume de 363cm³ (Fig. 4.70). Os valores dos tempos obtidos no ensaio apresentam-se no Quadro 4.14.



Figura 4.69 - Provete impermeabilizado lateralmente



Figura 4.71 - Saturação do provete



Figura 4.70 - Ensaio à permeabilidade vertical

Quadro 4.14 - Resultados do ensaio à permeabilidade vertical

Mistura	Provetes	Tempo de escoamento Vertical - t_v (s)	Médias dos tempos de escoamento - t_v (s)
A	1	2,20	2,25
	2	2,23	
	3	2,31	
B	1	1,81	1,17
	2	1,81	
	3	1,68	
C	1	2,08	2,10
	2	2,11	
	3	2,12	
D	1	2,20	2,41
	2	2,40	
	3	2,63	
E	1	2,02	2,04
	2	2,08	
	3	2,03	
F	1	2,58	2,36
	2	2,38	
	3	2,13	

Após a substituição dos valores médios obtidos na expressão 6, obtemos os valores de coeficiente de permeabilidade vertical apresentados no Quadro 4.15.

Quadro 4.15 - Coeficiente de permeabilidade vertical

Mistura	Médias dos tempos de escoamento - t_v (s)	Coeficiente de permeabilidade vertical - K (cm/s)
A	2,25	0,80
B	1,77	1,01
C	2,10	0,85
D	2,41	0,74
E	2,04	0,88
F	2,36	0,76

O cálculo do coeficiente de permeabilidade horizontal realiza-se pela seguinte expressão:

$$K = 2,303 * \frac{a * h}{A * t_h} * \log \frac{h_1}{h_2} \quad (7)$$

Sendo,

K - Coeficiente de permeabilidade, cm/s;

a - Área da secção do permeâmetro, cm²;

A - Área de escoamento horizontal no corpo de prova, cm²;

h - Altura do corpo de prova, cm;

t_h - Tempo de escoamento horizontal de 363cm³, s;

h_1 - Altura de água acima da face inferior do corpo de prova no início do ensaio, cm;

h_2 - Altura de água acima da face inferior do corpo de prova no fim do ensaio, cm.

Onde,

$$h_1 = 35+h \text{ cm} \Leftrightarrow h_1 = 35+3,3 = 38,3 \text{ cm}$$

$$h_2 = 10+h \text{ cm} \Leftrightarrow h_2 = 10+3,3 = 13,3 \text{ cm}$$

Através das características dos provetes e dos dados retirados do permeâmetro foi possível simplificar a expressão que resultou na seguinte:

$$K = \frac{0,815}{t_h} \quad (8)$$

Com a simplificação obtém-se uma expressão com apenas uma variável, ou seja, a expressão depende apenas dos tempos de escoamento e estes são encontrados recorrendo ao ensaio.

A realização do ensaio à permeabilidade horizontal tem o mesmo procedimento que o ensaio à permeabilidade vertical apenas se altera a impermeabilização do provete. Neste ensaio o provete apenas é impermeabilizado na face inferior deixando toda a lateral livre (Fig. 4.72). Os valores dos tempos obtidos no ensaio apresentam-se no Quadro 4.16.



Figura 4.72 - Provete impermeabilizado na face inferior

Quadro 4.16 - Resultados do ensaio à permeabilidade horizontal

Mistura	Provetes	Tempo de escoamento horizontal - t_h (s)	Médias dos tempos de escoamento - t_h (s)
A	1	1,41	1,38
	2	1,31	
	3	1,43	
B	1	1,18	1,17
	2	1,11	
	3	1,21	
C	1	1,01	1,18
	2	1,13	
	3	1,41	
D	1	1,14	1,49
	2	2,13	
	3	1,21	
E	1	1,21	1,17
	2	1,11	
	3	1,19	
F	1	1,13	1,05
	2	1,01	
	3	1,01	

Após a substituição dos valores médios obtidos na expressão 8, obtemos os valores de coeficiente de permeabilidade horizontal apresentados no Quadro 4.17.

Quadro 4.17 - Coeficiente de permeabilidade horizontal

Mistura	Médias dos tempos de escoamento - t_h (s)	Coeficiente de permeabilidade horizontal - K (cm/s)
A	1,38	0,59
B	1,17	0,70
C	1,18	0,69
D	1,49	0,55
E	1,17	0,70
F	1,05	0,78

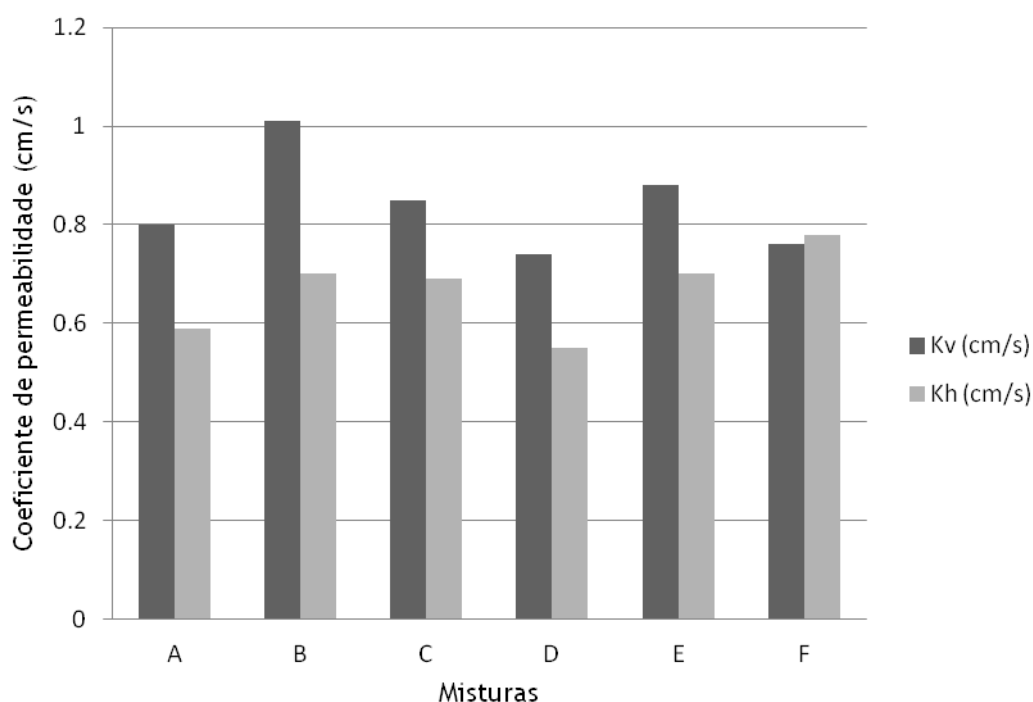


Figura 4.73 - Coeficiente de permeabilidade vertical e horizontal das misturas estudadas

O coeficiente de permeabilidade indica que quanto maior for o coeficiente maior a permeabilidade, e o tempo de escoamento é inversamente proporcional ao coeficiente de permeabilidade.

Tendo em consideração que não existem valores ou limites para o coeficiente de permeabilidade deste tipo de misturas, procedeu-se à comparação dos valores aos existentes para misturas drenantes.

Todavia encontra-se recomendações de valores bastante variáveis. Por exemplo Jimenez em 1981 sugere valores entre $0,1 \times 10^{-2}$ cm/s e 20×10^{-2} cm/s. O mesmo investigador, numa jornada técnica sobre misturas drenantes em 1987, em Pamplona, sugere limites mínimos de 1×10^{-2}

cm/s e o desejável de 5×10^{-2} cm/s. Apesar destes valores, apresenta resultados medidos em trechos experimentais entre 35×10^{-2} cm/s e 40×10^{-2} cm/s (Oliveira, 1995).

Comparando os valores obtidos pela mistura “D” no ensaio de $K_v = 74 \times 10^{-2}$ cm/s e $K_h = 55 \times 10^{-2}$, pode-se concluir que a mistura apresenta características semelhantes a uma mistura drenante.

Pelos resultados obtidos pode-se concluir que a permeabilidade horizontal tem, na generalidade, um menor coeficiente de permeabilidade. Pode ser contraditório olhando para os tempos de escoamento, visto a permeabilidade horizontal apresentar valores mais baixos. Este fato explica-se pela área de escoamento da permeabilidade horizontal ser bastante maior que o da permeabilidade vertical, isto é, era de esperar que com a área de escoamento maior os tempos de escoamento diminuíssem mas não foram o suficiente para aumentar o coeficiente de permeabilidade.

Verifica-se também que a mistura com menor coeficiente de permeabilidade quer vertical quer horizontal é a “D”, razão principal pela escolha da composição desta mistura na base da peça modular final.

4.3.5. Ensaio à flexão e à compressão

O ensaio à flexão e à compressão é um dos requisitos importantes a verificar na caracterização da base da peça modular. Visto que estes ensaios assim como outros foram já estudados por Cláudia Antunes não existiu necessidade de os realizar (Antunes, 2009). Os valores obtidos apresentam-se no Quadro 4.18.

Quadro 4.18 - Características mecânicas e físicas do compósito polimérico (Antunes, 2009).

Ensaio realizado		Resultado obtido
Resistência à Flexão		$f_{cf}=2,19\text{MPa}$
Resistência à Compressão		$f_c=7,74\text{MPa}$
Resistência ao Desgaste por Abrasão	Método do disco largo de abrasão	$V_{AD}=24,8\text{mm}$
	Método de Böhme	$\Delta V = 3,90\text{cm}^3/50\text{cm}^2$
Resistência ao Escorregamento/Deslizamento		$C_R=45$
Resistência às Intempéries	Absorção de Água	$W_{h,24}=0,12\text{g/cm}^3$
	Resistência ao Gelo/Degelo	Nulo

4.4. Resultados e conclusões gerais do programa experimental

Este capítulo consistiu na apresentação do trabalho experimental desenvolvido. O Trabalho experimental dividiu-se em três partes, a otimização da mistura, o estudo do aspeto visual da base em estudo e o comportamento mecânico e físico da peça modular.

Relativamente à otimização da mistura verificou-se que a dosagem ideal de resina foi de 4% sobre o peso da mistura, quando constituída apenas por agregados das Minas, e de 5% do peso da mistura, quando constituída por agregados das Minas e cortiça até 15% do volume total.

O estudo do aspeto visual consistiu em desenvolver um processo, simples e pouco dispendioso, que permitisse retirar o brilho característico da resina nos compósitos de matriz polimérica. Deste estudo concluiu-se que a resina, num estado de pré polimerização, em contacto com água não polimeriza da mesma forma, possibilitando retirar o brilho da superfície do composto polimérico. Em suma, o estudo do aspeto visual da base resultou em quatro acabamentos distintos, cor ocre brilhante, cor ocre rustico, cor cinza brilhante e cor cinza mate.

A base da peça modular assim como a própria peça modular, devem ser dotadas de características específicas ao bom desempenho da função pretendia. Nesse sentido realizou-se vários ensaios que se iniciou pelo ensaio de ótica onde foi possível recolher as seguintes informações: a água no momento da polimerização da resina inibe a formação da espessura natural desta; a espessura natural da resina é em média $\bar{e} = 43,82 \mu\text{m}$; os agregados com brilho apresentam um aspeto mais liso, uniforme e com menos poros que os agregados sem brilho resultado da espessura de resina. De seguida realizou-se o ensaio de resistência da aderência por tração (“Pull-off”) verificando-se valores bastante bons dentro do objetivo da peça modular, obtiveram-se valores médios de 0,08 MPa dando-se a rotura pela cortiça. Realizou-se também o ensaio ao choque térmico obtendo-se uma perda de massa, não significativa, de 0,2% da massa inicial, com este ensaio verificou-se que o choque térmico não tem influência na resistência da aderência por tração. Por último realizou-se o ensaio de permeabilidade encontrando-se a composição da mistura ideal para a base da peça modular, sendo esta a mistura “D”.

Quadro 4.19 - Resultados gerais dos ensaios

Ensaio	Resultados	Observações
Ótica	$\bar{e} = 43,82 \mu\text{m}$	Espessura média de resina
Arrancamento	$f_u = 0,08 \text{ MPa}$	Rotura pela cortiça
Choque térmico	$f_u = 0,08 \text{ MPa}$	Perda de massa de 0,2%
Permeabilidade	$K_v = 0,74 \text{ cm/s}$ $K_h = 0,55 \text{ cm/s}$	-

Capítulo 5 - Conclusões e propostas de trabalhos futuros

5. Conclusões e propostas de trabalhos futuros

5.1. Conclusões

Este trabalho teve como objetivo principal explorar a possibilidade de criar uma opção ao sistema modular GEOGREEN. O sistema modular GEOGREEN é produzido com uma argamassa de ligante geopolimérico. Neste trabalho desenvolveu-se um estudo experimental do mesmo sistema, como opção, produzido com um compósito polimérico incorporando resíduos das Minas da Panasqueira. Deste modo, o programa experimental teve um peso muito significativo neste trabalho.

Pode considerar-se que este estudo mostrou resultados satisfatórios, visto apresentar um produto que se engloba num projeto como o sistema GEOGREEN, que reutiliza resíduos de minas e de cortiça de forma simples e segura para o meio ambiente, o seu custo de produção é baixo e apresenta uma visualização estética bastante atual e variada.

O programa experimental dividiu-se em três partes, a otimização da mistura, o estudo do aspeto visual da base e o comportamento mecânico e físico da peça modular estudada. Relativamente à otimização da mistura verificou-se que a dosagem ideal de resina foi de 4% sobre o peso da mistura, quando constituída apenas por agregados das Minas, e de 5% do peso da mistura, quando constituída também por cortiça até 15% do volume total. O desenvolvimento do aspeto visual da base do sistema em estudo resultou em quatro acabamentos distintos, cor ocre brilhante, cor ocre rustico, cor cinza brilhante e cor cinza mate.

Os valores dos ensaios realizados, no sentido de caracterizar a peça modular, apresentam-se na seguinte tabela:

Quadro 5.1 - Resultados gerais dos ensaios

Ensaio	Resultados	Observações
Ótica	$\bar{e} = 43,82 \mu\text{m}$	Espessura média de resina
Arrancamento	$f_u = 0,08 \text{ MPa}$	Rotura pela cortiça
Choque térmico	$f_u = 0,08 \text{ MPa}$	Perda de massa de 0,2%
Permeabilidade	$K_v = 0,74 \text{ cm/s}$ $K_h = 0,55 \text{ cm/s}$	Semelhante a misturas drenantes

5.2. Propostas de trabalhos futuros

Este trabalho demonstrou grande viabilidade na produção da peça estudada. No entanto, seria importante determinar outras propriedades que não foram possíveis determinar neste trabalho.

Um estudo interessante seria verificar o comportamento da peça com a incorporação da vegetação, no sentido de explorar as vantagens de um sistema modular que tanto pode ser drenante, como, com a colocação na zona tardoz da base, de uma ou várias películas impermeáveis (aspeto a estudar), pode reduzir essa permeabilidade, de forma controlada.

Poderá também ser objeto de estudo o desenvolvimento de mais acabamentos superficiais da base da peça modular, de forma a possibilitar maior diversidade de materiais, no momento da escolha por parte do projetista.

Referências bibliográficas

- A Terceira Dimensão - Fotografia Aérea. Acedido a 17 de outubro de 2013 em <http://portugalfotografiaaerea.blogspot.pt/2012/06/minas-da-panasqueira.html>
- ADENE - Agência para a energia (abril, 2011). Tirone, L. Coberturas eficientes - Guias para reabilitação energético-ambiental do edificado. Acedido a 17 de outubro de 2013 em http://www.adene.pt/pt-pt/Publicacoes/Documents/guia_coberturas_eficientes.pdf.
- Dinis-Almeida, Marisa S.F. (2003) - Pavimentos rodoviários de baixo custo com emulsões betuminosas e resíduos das Minas da Panasqueira, Dissertação de mestrado, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2003.
- Antunes, C. S. (2009) - Desenvolvimento de unidades de revestimento de base polimérica com resíduos das minas da Panasqueira. Dissertação de Mestrado, UBI, Covilhã.
- Architizer - It's Alive! 8 Buildings With Green Walls For Earth Day. Acedido a 23 de abril de 2013 em <http://www.architizer.com/blog/its-alive-8-buildings-with-green-walls-for-earth-day/#.UXWYrsvD0U>
- Barrera, G. M., Cruz, E. M., & López, M. M. (Septiembre 2012). Concreto polimérico reforzado con fibras: efecto de la radiación gamma. Revista Iberoamericana de Polímeros, Volume 13 (4) , pp. 169-178.
- Bilurbina, L., y Liesa, F. (1990) - Materiales no metálicos resistentes a la corrosión. Polímeros termoestables, Marcombo, Barcelona. http://bibciv.ucla.edu/ve/cgi-win/be_alex.exe?Autor=Bilurbina,+Luis&Nombrebd=BIBCIIV
- Cano, R. P. (2007) - Aplicaciones técnico-escultóricas de hormigones y morteros. Caracterización y normalización. Tesis Doctoral, Universidad de Granada, Granada, España.
- Castro Gomes, J. P., Albuquerque, A., Silva, A. P., Cano, R. P., & Suarez, J. D. (2011) - Valorização de resíduos de minas em compósitos poliméricos. Revista Materiais de Construção - Dossier Novos Materiais e Tecnologias, artigo tecnico, Ed. online nº 158, Novembro, Dezembro de 2011, pp. 40-46. Acedido a 23 de janeiro em http://www.apcmc.pt/publicacoes/revista/2011/Revista_158/dossier_art_tecnico.pdf.
- Educa - cultura científica e ensino/aprendizagem da Química (2013) - Polímeros e Materiais Poliméricos - Manual do professor, Cristina Lima. Acedido a 20 de março de 2013 em

<http://educa.fc.up.pt/ficheiros/noticias/69/documentos/108/Manual%20Pol%20A1meros%20e%20Materiais%20polimericos%20NV.pdf>

European Committee of Standardization EN 1015-12 - Methods of test for mortar for masonry. Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates, Bruxelas, Fevereiro, 2000.

Goods Home Design - Architecture, Meera Sky Garden House. Acedido a 23 de abril de 2013 em <http://www.goodshomedesign.com/meera-sky-garden-house/>

Google Maps - Imagens das Minas da Panasqueira. Acedido a 17 de outubro de 2013 em https://maps.google.pt/maps?q=Minas+da+Panasqueira&ie=UTF-8&ei=_ddhUpmPCLH07Ab64oFo&ved=0CAgQ_AUoAg

Hamzah, Meor O. et al. (2011^a) - Permeability loss in porous asphalt due to binder creep, in constructions and building materials, pp. 10-15.

Jimenez, F. Perez - Estado actual y desarrollo de las mezclas drenantes - Gobierno de Navarra. Departamento de Obras Públicas, Transportes e Comunicaciones. Servicio de Caminos - Jornada Técnica. Pamplona, outubro de 1987.

Jimenez, F. Perez, Kraemer, C., Muñoz, A. Lacleta (1981) - Enrobés drainants. Étude de leurs caractéristique en laboratoire et constrction des premiers tronçons d'essai espagnols. (Espanha) Eurobitume Symposium. Cannes, 7-9 outubro 1981.

Manso, M., Castro Gomes, J. P., & Virtudes, A. (2012) - Potencialidades dos revestimentos ajardinados em edifícios: desenvolvimento de um sistema modular. Congresso construção 2012, pp.1-8. Coimbra.

Manso, M., Castro Gomes, J. P., Silva, P. D., Virtudes, A., & Delgado, F. (June, 2013) - Modular System design for vegetated surfaces. BESS-SB13 California. Pomona, California, USA.

Manso, M., Virtudes, A., & Castro Gomes, J. P. (2013) - As superfícies ajardinadas como sistema diferenciador na habitação. Congresso Internacional da Habitação no Espaço Lusófono - 2º CHIEL - LNEC, 13 a 15 de março de 2013, pp.1-12. Lisboa.

Molinari, É. J. (2007) - Reutilização dos resíduos de rochas naturais para o desenvolvimento de compósitos poliméricos com matriz termofixa na manufatura de pedras industriais. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

Olhares - Fotografia online. Acedido a 17 de outubro de 2013 em <http://olhares.uol.com.br/minas-da-panasqueira-foto64847.html>

Oliveira, I. M. (dezembro de 1995). *Misturas betomiosas drenantes, Estudo da influência de alguns parâmetros da composição*. U.C., coimbra.

Quercus - Ecocasa - Energia e Clima, Construção Sustentável, Elementos ajardinados. Acedido a 17 de outubro de 2013 em http://ecocasa.pt/construcao_content.php?id=89

Sant'anna, J. A. (2007) - Subsídios para seleção de materiais poliméricos termoplásticos. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Smith, W. F. (2003) - *Fundamentos de la Ciencia e Igeneria de Materiales*. Traducido por Alicia Larena Pellejero. 3ª Ed. Madrid: McGraw-Hill. Interamericana de España, 2003.

Tavares, C. M., Ribeiro, M. C., Ferreira, A. J., & Guedes, R. M. (2002) - Creep Behaviour of FRP - reinforced polymer concrete. *Composite & Structures*, Ed. 57 , pp. 47-51.

UBI - Laboratórios Engenharia Civil - Facebook adicionado a 7 de maio de 2013. Acedido a 18 de maio de 2013 em <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=591176667567035&set=a.590533124298056.1073741825.203168719701167&type=1&theater>