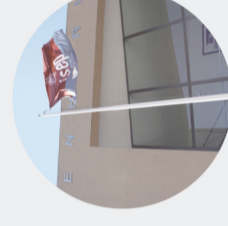




Comportamento Mecânico do Betão Reforçado com Fibras

INÊS SOFIA CRUZ MOREIRA

novembro de 2018



Comportamento Mecânico do Betão Reforçado com Fibras



COMPORTAMENTO MECÂNICO DO BETÃO REFORÇADO COM FIBRAS

INÊS SOFIA CRUZ MOREIRA

Relatório de Estágio submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE CONSTRUÇÕES

Orientador: Maria da Luz do Vale Garcia

Supervisor: Francisco Quintas Araújo (EUROMODAL – Sociedade de Representações, Lda.)

OUTUBRO DE 2018

ÍNDICE GERAL

Índice Geral	iii
Resumo.....	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice de texto.....	xi
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas.....	xix
Abreviaturas	xxi
CAPÍTULO 1 Introdução.....	1
CAPÍTULO 2 Estado da Arte.....	5
CAPÍTULO 3 Composições Elaboradas e Ensaios Realizados no Estado Fresco	21
CAPÍTULO 4 Ensaios no Estado Endurecido e Respetivas Conclusões	43
CAPÍTULO 5 Considerações Finais.....	71
Referências Bibliográficas	75
Anexos	81

RESUMO

O betão é um material de baixa ductilidade, apresentando uma diminuição da mesma com o aumento de tensões de rotura à compressão, no entanto, devido à sua enorme versatilidade, é muito utilizado na construção. Ao ser reforçado com fibras é possível ultrapassar essa fragilidade, garantir uma redução de custos associados à mão de obra necessária, além de uma possível redução do aparecimento de fissuras e consequentes aberturas no próprio betão.

No âmbito deste estágio, realizado na empresa EUROMODAL, foram desenvolvidas uma série de atividades com o primordial objetivo da avaliação do comportamento mecânico do betão quando reforçado com fibras. Deste modo, foram efetuadas uma série de produções de betão e argamassa em ambiente laboratorial tendo estas sido analisadas tanto no estado fresco como endurecido.

Assim, este relatório descreve todos os procedimentos efetuados no âmbito do seu tema central, focando também a importância de cada ensaio realizado, quer para os mais habituais como avaliação das resistências à flexão e compressão, passando por outros não tão comuns como módulo de elasticidade, capacidade da absorção de energia e CMOD – Crack Mouth Open Displacement. São também apresentados os equipamentos utilizados, resultados obtidos e conclusões retiradas, mantendo sempre a conformidade com as Normas em vigor.

Com a realização destes ensaios de componente destrutiva, é possível avaliar e comparar a respetiva resistência mecânica do betão quando reforçado com diferentes tipos de fibras. Pretende-se que a adição de fibras possibilite a redução da diferença entre a capacidade resistente do betão e a consequente melhoria de resultados a nível de outros fatores como capacidade de absorção de energia e resistência à tração.

Palavras-chave: betão reforçado com fibras; argamassa reforçada com fibras; ensaios destrutivos; resistências mecânicas; EUROMODAL; betão fresco; betão endurecido

ABSTRACT

Concrete is a material of low ductility, presenting some decrease with the increase of tensions of rupture in compression. Nevertheless, due to its enormous versatility, is very used in the construction. When reinforced with fibers it is possible to overcome this fragility, guarantee a reduction of costs associated with the necessary labor, besides a possible reduction of the appearance of cracks and consequent openings in the concrete.

With this internship, carried out in the company EUROMODAL, a series of activities were developed with the main goal of evaluating the mechanical behavior of the concrete when reinforced with fibers. In this way, a series of concrete and mortar productions were carried out in a laboratory environment and analyzed both in the fresh and hardened state.

Therefore, this report describes all the procedures performed within its central theme, also focusing on the importance of each test performed, either for the most usual ones such as evaluation of the resistance to flexion and compression, passing through others not as common as modulus of elasticity, energy absorption capacity and CMOD – Crack Mouth Open Displacement. The equipment used, results obtained and conclusions drawn are also presented, always maintaining compliance with the Rules in force.

By performing these destructive component tests, it is possible to evaluate and compare the mechanical strength of the concrete when reinforced with different types of fibers. It is intended that the addition of fibers will allow the reduction of the difference between the resistant capacities of the concrete and consequent improvement of results in other factors such as energy absorption capacity and tensile strength.

Keywords: fibers reinforced concrete; fiber reinforced mortar; destructive tests; mechanical endurance; EUROMODAL; fresh concrete; hardened concrete

AGRADECIMENTOS

A realização do relatório de estágio não se traduz unicamente pela conclusão de mais uma unidade curricular, mas pelo culminar de todo um percurso académico. Como tal, gostaria de manifestar o meu mais sincero agradecimento aos que, de uma forma ou outra, contribuíram para que tudo isto fosse possível.

Agradeço a toda a equipa da EUROMODAL – Sociedade de Representações, Lda. por me terem acolhido tão bem e me terem feito sentir em casa desde o primeiro dia, sem dúvida que irei guardar esta experiência com todo o carinho.

Um agradecimento especial à Eng.^a Ana Gomes por todo o apoio, paciência, disponibilidade e partilha de conhecimento, fatores fundamentais não só para a concretização deste trabalho, mas também para a minha aprendizagem.

Ao meu supervisor, Eng.^o Francisco Araújo, agradeço a oportunidade, espírito crítico, contribuição e coorientação na elaboração deste relatório e por todos os ensinamentos transmitidos.

À minha orientadora, Eng.^a Maria da Luz Garcia, tenho que agradecer a sua disponibilidade e apoio prestado ao longo da realização deste estágio e respetivo relatório.

A todos os que se cruzaram comigo durante esta caminhada, tenho que deixar uma palavra de apreço pela entajuda, partilha de conquistas e compreensão constante. Todo este percurso não seria memorável se não estivesse rodeada de pessoas fantásticas.

Agradeço ao Henrique pelo apoio incondicional, incentivo, paciência, companheirismo e carinho demonstrados neste ano de maior agitação.

Por último, mas não menos importante, tenho que agradecer aos meus pais pelo apoio incansável ao longo de todo este percurso, por me terem incentivado sempre a dar o melhor de mim e me motivarem em todos os momentos. Este sonho só é possível graças a vocês.

ÍNDICE DE TEXTO

CAPÍTULO 1	Introdução.....	1
1.1	Considerações Iniciais.....	1
1.2	A Entidade de Acolhimento.....	2
1.3	Organização do Relatório.....	3
CAPÍTULO 2	Estado da Arte.....	5
2.1	O Betão.....	5
2.2	Especificidades do Betão.....	11
2.2.1	Betão autocompactável.....	11
2.2.2	Betão de elevado desempenho.....	11
2.2.3	Betão leve.....	12
2.2.4	Betão pesado.....	12
2.2.5	Betão branco e betão pigmentado ou colorido.....	13
2.2.6	Betão com fibras.....	13
2.3	As Fibras.....	14
2.3.1	Fibra de aço.....	16
2.3.2	Fibra polimérica.....	18
2.3.3	Fibra de carbono.....	19
CAPÍTULO 3	Composições Elaboradas e Ensaios Realizados no Estado Fresco.....	21
3.1	Descrição das Composições.....	21
3.1.1	Agregados.....	21
3.1.2	Ligante hidráulico e adições.....	24
3.1.3	Água.....	26

ÍNDICE DE TEXTO

3.1.4	Adjuvantes	27
3.1.5	Fibras a utilizar	28
3.2	Preparação e Produção das Misturas	30
3.2.1	Elaboração de argamassas de controlo	30
3.2.2	Elaboração de betão de controlo	31
3.2.3	Elaboração de argamassas reforçadas com fibras.....	34
3.2.4	Elaboração de betões reforçados com fibras	36
3.3	Avaliação da Consistência no Estado Fresco – Ensaio da Mesa de Espalhamento.....	38
3.3.1	Argamassas	38
3.3.2	Betões	39
3.3.3	Síntese.....	40
CAPÍTULO 4	Ensaio no Estado Endurecido e Respetivas Conclusões	43
4.1	Verificação da Forma, Dimensões e Outros Requisitos em Provetes de Betão	43
4.2	Ensaio de Resistência à Flexão	44
4.2.1	Prismas de argamassa.....	44
4.2.2	Prismas de betão	45
4.2.3	Síntese.....	47
4.3	Ensaio de Resistência à Compressão	48
4.3.1	Prismas de argamassa.....	48
4.3.2	Provetes de betão.....	49
4.3.3	Síntese.....	53
4.4	Ensaio do Módulo de Elasticidade Secante	53
4.4.1	Aplicação do Método A.....	55
4.4.2	Aplicação do Método B.....	57
4.4.3	Síntese.....	59
4.5	Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral	60
4.5.1	Síntese.....	63

4.6	Ensaio de CMOD – Crack Mouth Open Displacement	64
4.7	Ensaio de Determinação da Capacidade de Absorção de Energia em Lajes	66
CAPÍTULO 5	Considerações Finais	71
5.1	Conclusões	71
5.2	Desenvolvimentos Futuros	74
	Referências Bibliográficas	75
	Anexos	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Elementos identificativos da localização da entidade de acolhimento	2
Figura 1.2 – Logotipo da entidade de acolhimento (Fonte: euromodal.pt).....	3
Figura 2.1 – Pirâmides de Gizé, no Egito (Fonte: ciencia-online.net)	6
Figura 2.2 – Elementos de construção romana	7
Figura 2.3 – <i>Axmouth Bridge</i> , construída em 1877 (Fonte: viewfromsomerset.pt)	7
Figura 2.4 – Barco de Lambot (Fonte: meioseculodeaprendizagens.pt)	8
Figura 2.5 – Criações de Monier	9
Figura 2.6 - Ponte sobre o rio Marne, em França por Eugène Freyssinet (Fonte: Paulino, 2016)	10
Figura 2.7 – Fábrica de Moagem de Trigo do Caramujo (Fonte: Namora, 2015).....	10
Figura 2.8 – Utilização de betão autocompactável (Fonte: engenharia.mota-engil.pt)	11
Figura 2.9 - <i>Burj Dubai Tower</i> , edificada em betão de elevado desempenho (Fonte: arabianbusiness.com)	12
Figura 2.10 – Betão branco e betão colorido.....	13
Figura 2.11 – Exemplos de fibras orgânicas, inorgânicas e artificiais	15
Figura 2.12 – Aplicações da fibra no betão (Fonte: adaptado de Mateus, 2013)	16
Figura 2.13 – Geometria das fibras de aço (Fonte: adaptado de Nunes, 1998)	17
Figura 2.14 – Exemplos de algumas fibras poliméricas (Fonte: Mateus, 2013).....	18
Figura 3.1 – Requisitos gerais para a granulometria de agregados (Fonte: NP EN 12620:2002+A1, 2010)	22
Figura 3.2 – Análise granulométrica por peneiração a uma brita.....	23
Figura 3.3 – Curvas granulométricas dos diferentes agregados utilizados	23
Figura 3.4 – Fibras poliméricas, de aço e carbono	28

Figura 3.5 – Argamassa de controlo	31
Figura 3.6 – Produções de argamassa de controlo	31
Figura 3.7 - Granulometria dos agregados para o betão de referência (Fonte: NP EN 1766, 2008)	32
Figura 3.8 – Agregados e ligantes utilizados para a mistura	34
Figura 3.9 – Cubos elaborados a partir da mistura de referência	34
Figura 3.10 – Momento da adição da fibra Ha-Be PP Makrofaser	35
Figura 3.11 – Prismas de argamassa reforçada com fibra de poliácrlonitrilo	36
Figura 3.12 – Momento da adição da fibra polimérica Masterfiber246	37
Figura 3.13 – Exemplos de algumas produções de betão reforçado com fibras	37
Figura 3.14 – Ensaio da mesa de espalhamento em argamassa de controlo	38
Figura 3.15 – Gráfico relativo a resultados do ensaio da mesa de espalhamento	39
Figura 3.16 – Ensaio da mesa de espalhamento a duas produções distintas de betão.....	40
Figura 3.17 – Gráfico relativo a resultados do ensaio da mesa de espalhamento.....	40
Figura 4.1 – Análise das dimensões e retificações necessárias aos provetes	43
Figura 4.2 – Ensaio de resistência à flexão em prismas reforçados com fibras	44
Figura 4.3 – Gráfico relativo aos resultados do ensaio de resistência à flexão	45
Figura 4.4 – Ensaio de resistência à flexão em provetes prismáticos de controlo	46
Figura 4.5 – Apresentação de alguns prismas reforçados com fibras após ensaio de resistência à flexão	47
Figura 4.6 – Gráfico relativo aos resultados do ensaio de resistência à flexão	47
Figura 4.7 – Ensaio de resistência à compressão em prismas reforçados com fibra polimérica	48
Figura 4.8 – Gráfico relativo a resultados para resistência à compressão.....	49
Figura 4.9 – Realização de ensaio de resistência à compressão a cubos.....	50
Figura 4.10 – Diferentes tipos de ensaio de resistência à compressão em cilindros.....	51
Figura 4.11 – Rotura satisfatória de provetes após ensaio de resistência à compressão	51
Figura 4.12 – Resultados obtidos para resistência à compressão, em cubos	52
Figura 4.13 – Ensaio de resistência à compressão, em cilindros 150 mm x 300 mm	52
Figura 4.14 – Ensaio de resistência à compressão, em cilindros 150 mm x 150 mm	52

Figura 4.15 – Aplicação do método A do ensaio do módulo de elasticidade secante.....	55
Figura 4.16 – Ensaio do módulo de elasticidade, em argamassas	56
Figura 4.17 – Gráfico relativo ao ensaio do módulo de elasticidade, em cubos	56
Figura 4.18 – Gráfico relativo ao ensaio do módulo de elasticidade, em cilindros	57
Figura 4.19 – Aplicação do método B do ensaio do módulo de elasticidade secante.....	58
Figura 4.20 – Gráfico do módulo de elasticidade secante, em argamassas	58
Figura 4.21 – Gráfico relativo ao ensaio do módulo de elasticidade, em cubos	59
Figura 4.22 – Gráfico relativo ao ensaio do módulo de elasticidade, em cilindros	59
Figura 4.23 – Marcação da zona do plano de carga.....	60
Figura 4.24 – Ensaio de resistência à tração por compressão	61
Figura 4.25 – Exemplos de algumas roturas no ensaio de tração por compressão.....	62
Figura 4.26 – Gráfico relativo ao ensaio de tração por compressão, em cubos.....	62
Figura 4.27 – Gráfico relativo ao ensaio de tração por compressão, em cilindros.....	63
Figura 4.28 – Alterações necessárias aos prismas para realização do ensaio de CMOD.....	65
Figura 4.29 – Realização do ensaio de CMOD a prismas com fibras.....	65
Figura 4.30 – Gráfico do ensaio de CMOD em prismas reforçados com fibras	66
Figura 4.31 – Ensaio de absorção de energia numa laje reforçada com fibras	67
Figura 4.32 – Gráfico da análise à capacidade de absorção de energia, em lajes	68

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Resultados obtidos através da análise granulométrica de agregados	24
Tabela 3.2 – Características das fibras a utilizar.....	29
Tabela 3.3 – Composição da argamassa de controlo	30
Tabela 3.4 – Composição do betão de controlo, em Kg.....	33
Tabela 4.1 - Parâmetros necessários ao ensaio (Fonte: adaptado de NP EN 12390-13, 2014)	54
Tabela 4.2 – Resultados obtidos para ensaio de absorção de energia	68
Tabela 5.1 – Variação dos valores obtidos para argamassa de referência versus argamassa com fibras, em percentagem	72
Tabela 5.2 – Variação dos valores obtidos para betão de referência versus betão com fibras, em percentagem	72
Tabela 5.3 – Estudo comparativo das resistências mecânicas obtidas em provetes reforçados com fibras	73

ABREVIATURAS

CMOD – Crack Mouth Open Displacement

DIPRE – Dissertação/Projeto/Estágio

LEME – Laboratório de ensaios de materiais da EUROMODAL

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O presente documento foi desenvolvido durante o período de estágio na empresa EUROMODAL - Sociedade de Representações, Lda. no âmbito da unidade curricular de DIPRE, como forma de satisfação dos requisitos parciais para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, ramo de Construções, apresentando todas as atividades efetuadas no seu decorrer.

É importante salientar-se que o estágio curricular possibilita uma melhor transição entre a formação académica para um Engenheiro Civil e a realidade do mundo de trabalho, assim a integração numa empresa é uma mais valia, permitindo a aplicação dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso aliada ao desenvolvimento de competências apenas possíveis de alcançar através da inserção num ambiente laboral. Como tal, este estágio teve a sua origem a partir de um protocolo estabelecido entre o Instituto Superior de Engenharia do Porto e a empresa EUROMODAL, num período compreendido entre os dias 15 de fevereiro de 2018 e 31 de julho de 2018.

O tema a desenvolver, Comportamento Mecânico do Betão Reforçado com Fibras, é de elevado interesse devido aos constantes desenvolvimentos destes materiais muito comuns na construção civil, permitindo uma melhoria da qualidade, propriedades do betão e durabilidade das estruturas. Deste modo, fez-se um levantamento de todas as fibras a utilizar, respetivas fichas técnicas, produção de betões e elaboração de ensaios comparativos relativamente às resistências mecânicas das diferentes amassaduras.

Por forma a se providenciarem os melhores resultados relativamente a este tema só foram utilizadas fibras comerciais existentes no mercado nacional e compostas por matérias primas como aço ou polímeros. É de salientar que o reforço do betão com este tipo de materiais providencia uma série de vantagens difíceis de igualar quando comparada com armaduras tradicionais, como a redução da fendilhação por uma distribuição de tensões mais favorável.

O betão considera-se o segundo material mais utilizado do mundo, sendo destronado pela água uma vez que esta se assume como a base de tudo. No entanto, o betão possui uma série de limitações relativamente ao seu comportamento quando sujeito a esforços de tração. Pode-se inclusive salientar

e tudo aquilo que este envolve. Deste modo, garante uma série de pontos fortes difíceis de igualar por parte de outras empresas concorrentes, sendo de salientar:

- Os seus 30 anos de experiência quer a nível nacional, quer internacional;
- A alta qualificação da equipa em Engenharia Civil e materiais de construção;
- O seu laboratório de ensaios de materiais (LEME) em Acreditação é totalmente moderno com recurso a equipamentos topo de gama;
- A utilização das metodologias mais avançadas quanto a ensaios laboratoriais e *in-situ*;
- A dedicação, disponibilidade, parceria e entreaajuda de todos os seus colaboradores.

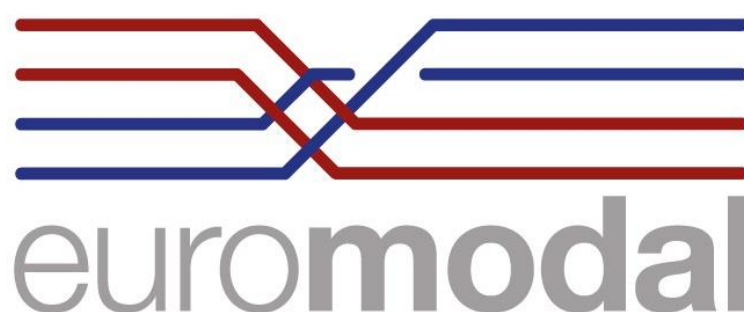


Figura 1.2 – Logotipo da entidade de acolhimento (Fonte: euromodal.pt)

1.3 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

O presente relatório, sob o ponto de vista estrutural, encontra-se organizado segundo 5 capítulos.

No capítulo 1, introdução, são abordadas questões como os objetivos do estágio curricular, o seu desenvolvimento e condições, assim como caracterização da entidade de acolhimento durante este período.

No capítulo 2, é relatada uma breve nota histórica sobre a origem do betão e das fibras, abordando as suas potencialidades isoladamente ou em conjunto.

No capítulo 3, são abordadas todas as atividades antecedentes às produções de betão e argamassa, todos os parâmetros importantes à elaboração das diferentes amassaduras e ensaios efetuados aquando do estado fresco, assim como as consequentes conclusões relativamente ao comportamento do betão quando este é reforçado com diferentes tipos de fibras.

No capítulo 4, são abordados todos os ensaios efetuados no estado endurecido para as diferentes produções de betão e argamassa, ao mesmo tempo que são reiteradas as devidas conclusões

CAPÍTULO 1

relativamente ao estudo comparativo do comportamento do betão quando reforçado com diferentes tipos de fibras, o tema central de todo este relatório.

O capítulo 5, apresenta as considerações finais sobre o estágio e tema desenvolvidos, assim como a sugestão de alguns desenvolvimentos futuros com aptidão suficiente para enriquecimento deste estudo.

CAPÍTULO 2

ESTADO DA ARTE

2.1 O BETÃO

O betão não é mais do que um material compósito, isto é, tem a sua origem na junção de vários materiais, tratando-se de uma mistura devidamente pensada e proporcionada de agregados, nomeadamente brita e areia, cimento, adições, água e adjuvantes, caso se pretenda um melhor desempenho do próprio betão (Barbosa, 2013).

Não é fácil referir com precisão uma data para o aparecimento do betão, no entanto, o surgimento do mesmo na história da humanidade tem evoluído de forma significativa ao longo dos tempos através do desenvolvimento das próprias civilizações, pela sua utilização em variados tipos de construção. Helene, *et al.*, em 2015, afirma que desde o seu aparecimento, o betão tem sido amplamente testado e aprovado como um dos materiais mais versáteis e confiáveis.

É possível encontrar documentos que relatam o surgimento deste material por volta do ano 5000 a.C. e identificar algumas aplicações deste numa fase ainda primitiva e embrionária. Na aldeia de *Lepenski Vir*, localizada na antiga Jugoslávia, encontra-se aquele que se admite ser o mais antigo betão da história, estando datado do sexto ou sétimo milénio a.C. e, tendo por finalidade a sua utilização como pavimento de casebre, sendo constituído por uma mistura de cal, argila e agregados (Vale, et al., 2011).

Por volta do ano 2000 a.C., a primeira das pirâmides do Egito, em Gizé, foi parcialmente construída em betão. Posteriormente, foi encontrado um mural egípcio datado da mesma época onde se pode observar a mistura e aplicação do betão de forma manual (Helene, et al., 2015).



Figura 2.1 – Pirâmides de Gizé, no Egito (Fonte: ciencia-online.net)

Na ilha de Rodes, na Grécia, mais concretamente no reservatório da antiga cidade de *Camiros*, encontram-se relatos de cerca do ano 1000 a.C. sobre um betão de qualidade e características muito semelhantes às observadas nos betões atuais de cimento *Portland*, acreditando-se que possuíam cinza vulcânica na sua composição de forma a melhorar a qualidade do ligante (Appleton, 2005).

Os romanos são definidos como grandes conhecedores dos benefícios deste material. De acordo com Barbosa, em 2013, a aplicação do betão estendeu-se ao longo de períodos como Idade Média e Renascimento, sendo maioritariamente utilizado para pavimentos, paredes e fundações. Para este povo, as possibilidades do betão foram exploradas em várias vertentes, demonstrado sempre mestria nas diferentes obras por eles construídas como casas, pontes, aquedutos e templos, sendo de salientar a destreza, qualidade e durabilidade das suas construções visto que muitas chegaram até hoje. Como exemplo, pode-se destacar o Panteão de Roma, edificado em 127 d.C., com uma cúpula de 50 metros de diâmetro e betão de inertes leves, a observar na Figura 2.2.

Acredita-se que os romanos foram os primeiros a utilizar adições no betão. De acordo com Barbosa, na sua publicação de 2013, este povo, ao acreditar tratar-se de areia, adicionou finas cinzas vulcânicas à sua composição inicial. Com isto, obtiveram uma mistura de resistência bastante superior à previamente produzida, o que é uma garantia para a longevidade alcançada com as suas diferentes obras.

Mesmo em Portugal também se podem observar elementos de construção romana, edificados com o mesmo requinte e elevado nível de qualidade tais como a Ponte de Vila Formosa localizada na N369 e da ponte de Trajano, sobre o Rio Tâmega, na cidade de Chaves, ambas com os seus pavimentos em betão, assinalada na Figura 2.2.



a) Panteão Romano (Fonte: janelaitalia.com)



b) Ponte de Trajano (Fonte: ncultura.pt)

Figura 2.2 – Elementos de construção romana

Os romanos foram o primeiro povo a tentar implementar o betão armado, já que fizeram uma série de tentativas para o armar recorrendo a cabos de bronze, no entanto as mesmas não foram bem-sucedidas devido às diferenças entre os coeficientes de dilatação térmica do bronze e do betão. Assim, até meados do século XVIII, a utilização do betão foi bastante limitada aparecendo quase exclusivamente em fundações e interior de paredes de alvenaria (Vale, et al., 2011).

Nos séculos XIX e XX, ocorrem desenvolvimentos quanto ao estudo e produção do cimento, tendo o seu auge aquando da aprovação da patente do cimento *Portland*, apresentada por Joseph Aspdin em 1824. Esta denominação tem a sua origem no facto de a cor e propriedades do cimento serem muito semelhantes às da rocha existente na ilha britânica de Portland. Com isto, deu-se o primeiro passo para uma nova era de utilizações do betão quer a nível de fundações, quer para pavimentos térreos e paredes, apresentando uma textura concebida de forma a imitar a pedra, como se pode observar na Figura 2.3 (Appleton, 2005).



Figura 2.3 – Axmouth Bridge, construída em 1877 (Fonte: viewfromsomerset.pt)

Posteriormente, foi dada uma segunda tentativa ao já pensado pelo povo romano. Desta vez, tentou-se reforçar o betão recorrendo a armaduras metálicas, uma melhor opção devido à semelhança entre os

coeficientes de dilatação térmica dos dois materiais. Assim, estava aberto o caminho para uma primeira fase do betão armado, a partir de meados do século XIX, com o surgimento de uma série de estudos sobre o reforço de argamassas com correntes, varões e redes metálicas (Vale, et al., 2011).

A primeira obra de betão armado, ou cimento armado, como era anteriormente denominado, diz respeito a um barco construído em ferrocimento idealizado por Jean-Louis Lambot, no ano de 1849. Calcula-se que as primeiras experiências relativamente à introdução de ferro numa composição de betão tenham partido deste autor, sendo que após a criação do seu barco executou uma série de edificações com base na mesma mistura para distintas finalidades (Kaefer, 1998); (Appleton, 2005).

Diz-se que a ideia da construção de uma embarcação representada na Figura 2.4 surgiu da necessidade de Lambot em reduzir os problemas associados à manutenção de canoas de madeira, ao mesmo tempo que mantinha o mesmo tipo de atividades de lazer no lago pertencente à sua propriedade no sul de França. Devido à durabilidade do betão, considera-se uma ideia sensata já que este requer uma baixa manutenção e resiste relativamente bem em meios aquáticos.

Lambot, utilizou uma malha de barras finas de ferro, entrelaçadas e alternadas com barras de maior grossura. Esta malha fina foi empregada como nível de forma a permitir a obtenção do formato adequado para o barco, ao mesmo tempo que firmava a argamassa e dispensava o uso de moldes e conseqüentemente problemas quanto a questões de fissuração. Esta embarcação foi apresentada na exposição Universal de Paris, com as dimensões de aproximadamente 4 m de comprimento, 1,30 m de largura e paredes com 4 cm de espessura, no ano de 1855 e encontra-se preservado até aos nossos dias. Acredita-se que tenha servido de inspiração a outros autores, como Monier (Kaefer, 1998).

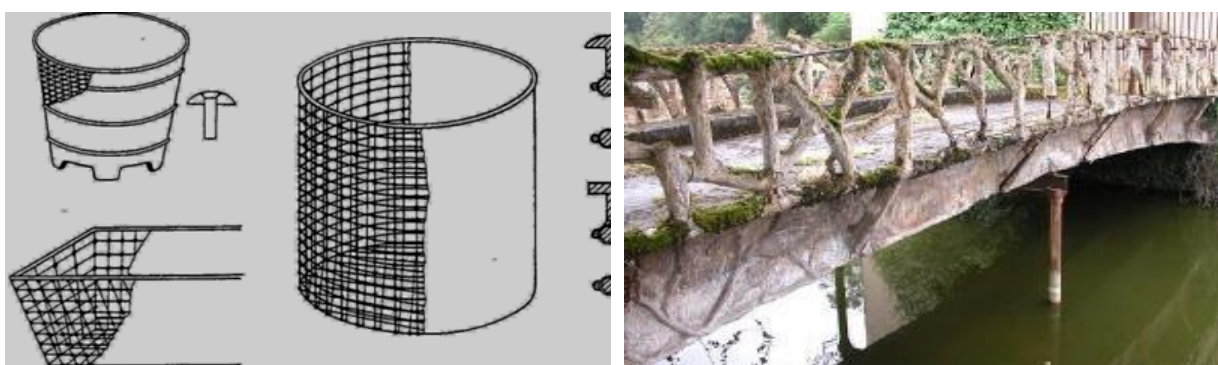


Figura 2.4 – Barco de Lambot (Fonte: meioseculodeaprendizagens.pt)

Na mesma altura, foram desenvolvidos sistemas idênticos por parte de outros autores sendo de destacar Joseph Monier, um jardineiro do pomar de Versailles, devido à enorme semelhança entre o seu método e o de Lambot. Monier fabricava vasos e tubos de betão desde 1849 e, considerando as suas produções

bastante frágeis, idealizou a criação de uma série de caixas de viveiro em argamassa, embebidas numa rede metálica por forma a lhes atribuir alguma consistência, sendo patenteado em 1867. A este mesmo autor também são atribuídas as construções de pontes em arco, a partir de 1873, a contemplar na Figura 2.5 (Kaefer, 1998); (Appleton, 2005).

Acredita-se que é sua patente sobre uma extensão para construção de reservatórios de água. Por volta de 1870, Monier edificou o seu primeiro reservatório com uma capacidade de 25m^3 , tendo depois executado outros dois, de dimensões 180m^3 e 200m^3 , respetivamente. Este autor é considerado por muitos um dos maiores propagadores da arte da construção em betão armado (Kaefer, 1998).



a) Caixas de Monier, patenteadas em 1867
(Fonte: estruturandocivil.com.br)

b) Ponte de *Chazelet*, por Joseph Monier de 1875
(Fonte: pontesvida.wordpress.com)

Figura 2.5 – Criações de Monier

Alguns anos após o surgimento do betão armado, apareceu o betão armado pré-esforçado. Este pode ser definido como uma alternativa capaz de colmatar algumas limitações existentes no betão armado tradicional, já que o seu princípio base assenta na sujeição um material, incapaz de resistir a solicitações num certo sentido, a esforços iniciais de sentido contrário. É possível citar como exemplo a edificação de 1860 por parte de A. Considère, um engenheiro francês, de um cais com blocos de granito ligados entre si através de barras verticais pré-esforçadas (Paulino, 2016).

Por volta da segunda década do século XX, Eugène Freyssinet revelou-se o primeiro investigador instruído relativamente às distintas funções do aço e do betão no betão armado pré-esforçado, das perdas de pré-esforço devidas à retração e fluência do betão, assim como da necessidade da utilização de betão e aço de altas resistências. Assim, este reconheceu o enorme potencial deste tipo de betão, determinando a sua utilização em pontes com vãos livres superiores, edifícios elevados e obras arrojadas, a ver na Figura 2.6 (Helene, et al., 2015); (Paulino, 2016).



Figura 2.6 - Ponte sobre o rio Marne, em França por Eugène Freyssinet (Fonte: Paulino, 2016)

Em Portugal, a indústria do cimento tem a sua origem muito mais tarde, nomeadamente em torno do ano de 1894 com o aparecimento da fábrica de cimento Tejo, em Alhandra. Desde o final do século XIX que se deu início à realização de elementos importantes à construção civil, nomeadamente a nível de reabilitação estrutural. Existem relatos sobre a primeira utilização do betão armado em Portugal para reconstrução da Fábrica de Moagem de Trigo do Caramujo (1897-1898), degradada devido a um incêndio, a contemplar na Figura 2.7.



Figura 2.7 – Fábrica de Moagem de Trigo do Caramujo (Fonte: Namora, 2015)

Com a entrada do Estado Novo, em 1926, abriu-se uma época de grande incentivo à construção em Portugal, de modo a glorificar o país e tendo-se mantido até ao início do regime Salazarista, com o aparecimento de uma série de pontes, escolas entre outras obras, podendo-se salientar a edificação do Instituto Superior Técnico, em Lisboa (Namora, 2015).

2.2 ESPECIFICIDADES DO BETÃO

Com a evolução das necessidades a nível da construção civil e de outras indústrias, para além do betão tradicional, foram idealizadas outras variantes deste material, comumente denominados por betões modificados, com inúmeras vantagens e merecedores de referência. Estas alterações podem ser traduzidas pela presença de adições capazes de alterar algumas das propriedades da mistura conduzindo a betões de características muito particulares.

2.2.1 Betão autocompactável

Este betão é capaz de fluir e de compactar segundo a ação do seu próprio peso, preenchendo as cofragens e armaduras sem perda de homogeneidade e sem necessidade de compactação ou vibração. Salienta-se também a sua elevada resistência à segregação (Oliveira, 2009).

Comparativamente ao betão tradicional compactado, o betão autocompactável possui uma menor proporção de agregados grossos, um volume superior de pasta de cimento, uma diminuição da razão água/finos e uma maior dosagem de adjuvante superplasticante. Pressupõe-se a eventual adição de algum tipo de agente de viscosidade capaz de alterar propriedades reológicas e a própria consistência do betão (Yan, 2013).



Figura 2.8 – Utilização de betão autocompactável (Fonte: engenharia.mota-engil.pt)

2.2.2 Betão de elevado desempenho

Este é caracterizado por uma redução do seu teor de água, o que conduz a betões de porosidade inferior, resistência mecânica superior e na generalidade um excelente desempenho. Estas alterações podem ser induzidas através da adição de adjuvantes e superplastificantes à amassadura inicial (Yan, 2013); (Mota Engil - Engenharia, 2016).

Yan, na sua publicação de 2013, afirma que neste tipo de betão é possível combinar a utilização de adjuvantes superplastificantes com outro tipo de adições como sílica de fumo e cinzas volantes. Na Europa, os betões são considerados de elevado desempenho se apresentarem uma resistência à compressão superior a 60 MPa, aos 28 dias, ou uma razão água/cimento inferior a 0,4 (Yan, 2013). Na Figura 2.9 é possível observar-se um edifício edificado recorrendo a este tipo de betão.



Figura 2.9 - *Burj Dubai Tower*, edificada em betão de elevado desempenho (Fonte: arabianbusiness.com)

2.2.3 Betão leve

É um tipo de betão que possui uma massa volúmica, após secagem em estufa, não inferior 800 kg/m^3 e sem exceder 2000 kg/m^3 (NP EN 206:2013 + A1, 2017).

Os agregados constituintes do betão leve são, por norma, argila expandida, xisto e escórias com granulometrias de vários tipos. Este tipo de agregados requer uma atenção especial na hora da sua mistura com o cimento devido a fatores como uma maior propensão para a segregação, diferenças entre massas volúmicas dos materiais e essencialmente devido à elevada capacidade de absorção dos agregados leves, que devem ser utilizados já saturados (Barbosa, 2013).

É de salientar que o seu valor relativamente ao módulo de elasticidade é inferior ao do betão normal, estando sujeito a deformações superiores.

2.2.4 Betão pesado

Este betão é caracterizado por possuir uma massa volúmica superior a 2600 kg/m^3 (NP EN 206:2013 + A1, 2017). Devido a estas características, é muitas vezes utilizado em determinadas zonas de hospitais por forma a conferir proteção contra alguns tipos de radiação como os raios X, raios γ e neutrões.

Na sua composição são encontrados, na generalidade, agregados de massa volúmica elevada, tornando a amassadura mais difícil em comparação com o betão normal, quer por possuir uma maior tendência para a segregação, quer pelo seu peso superior e dureza dos materiais, provocando maiores esforços e desgastes nas misturadoras (Barbosa, 2013).

2.2.5 Betão branco e betão pigmentado ou colorido

O betão branco pode ser fabricado a partir da substituição do cimento cinza por cimento branco ou pigmento branco (dióxido de titânio), mantendo a composição tradicional. Pode ser utilizado como produto de acabamento final, dispensando revestimentos (Mota Engil - Engenharia, 2016).

Existem alguns cuidados a ter para garantir a durabilidade e boa aparência da estrutura, pois apesar de possuir uma resistência bastante elevada, devido à sua tonalidade é necessário atentar aos seguintes pontos:

- Deve-se garantir uma boa qualidade e estanquidade da cofragem;
- Há que utilizar um óleo descofrante adequado para evitar a formação de manchas e bolhas de ar.

Já o betão colorido tem a sua origem através da adição de pigmentos coloridos ao betão tradicional. Existe uma gama de cores significativa desde o vermelho ao verde, passando por pigmentos como o azul e laranja, é de aferir que quando adicionados ao betão branco se obtêm tonalidades mais puras (Barbosa, 2013).



a) Edifício da Casa da Música, em betão branco
(Fonte: secilpro.com)



b) Casa das Histórias de Paula Rego, em betão vermelho (Fonte: guiadacidade.pt)

Figura 2.10 – Betão branco e betão colorido

2.2.6 Betão com fibras

Como o próprio nome indica, é passível de ser definido como um material composto proveniente da pasta de cimento, argamassa ou betão, com fibras. Apesar de já existir há cerca de quarenta anos, só nas últimas décadas é que ocorreram avanços relativamente à sua utilização (Ribeiro, 2012); (Yan, 2013).

Hoje em dia, existem no mercado nacional os mais variados tipos de fibras como por exemplo de aço, vidro, sintéticas ou carbono. As quantidades a utilizar podem variar consoante o tipo de fibra e objetivo da utilização.

A aplicação deste tipo de betão revela-se vantajosa perante situações em que ocorra a necessidade de absorção de grandes quantidades de energia, se pretenda um aumento da resistência à tração, redução de fissuração, diminuição da segregação ou ainda em zonas onde não seja possível a colocação de armadura ordinária devido à esbelteza das peças (Yan, 2013).

Quando formulados e fabricados corretamente, os betões reforçados com fibras apresentam uma elevada durabilidade, sendo correntemente aplicados em pavimentos industriais, elementos pré-fabricados, como reforço estrutural e revestimento de túneis (Lourenço, 2012).

2.3 AS FIBRAS

A utilização de fibras como material de reforço remonta há milhares de anos. As antigas civilizações egípcias utilizavam palha para reforçar o tijolo e crina de cavalo para fortificar argamassas e gesso (Correia, 2015).

As duas Grandes Guerras Mundiais, foram as maiores impulsionadoras para o desenvolvimento de outros tipos de fibras associados ao betão. De acordo com Mateus, na sua publicação de 2013, estas permitiram o desenvolvimento tecnológico pós-guerra, o que está diretamente ligado ao aparecimento de fibras sintéticas. Assim sendo, é possível criar uma linha cronológica com o seu desenvolvimento durante os diferentes períodos da história:

- Fibras de aço em meados de 1960;
- Fibras poliméricas por volta de 1970;
- Fibras de vidro em 1980;
- Fibras de carbono em 1990, sendo estas as mais recentes.

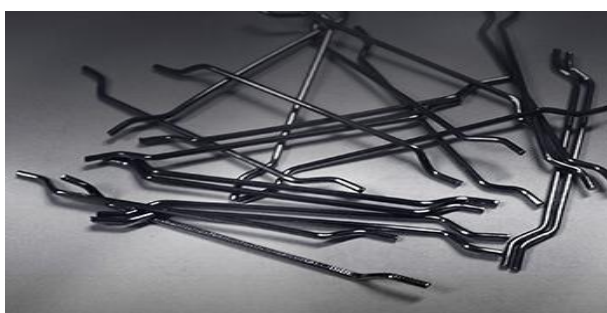
Estas mesmas fibras podem ser categorizadas mediante a sua origem, subdividindo-se em naturais (orgânicas ou inorgânicas) e artificiais, a observar na Figura 2.11. A celulose e o bambu são exemplos de fibras naturais orgânicas, já o amianto caracteriza-se como inorgânico. Outros materiais como o aço ou fibras de poliéster são exemplos de fibras artificiais (Correia, 2015).



a) Fibra natural e orgânica de sisal (Fonte: fibrenamics.com)



b) Fibra inorgânica de amianto (Fonte: fibrenamics.com)



c) Fibra artificial de aço (Fonte: awacomercial.com.br)



d) Fibra artificial de vidro (Fonte: advancedvacuum.com.br)

Figura 2.11 – Exemplos de fibras orgânicas, inorgânicas e artificiais

O amianto foi bastante utilizado em Portugal, a nível da construção, por ser um material com inúmeras vantagens como resistências química, térmica e elétrica muito elevadas, associadas a um valor económico relativamente agradável. No entanto, a sua utilização e comercialização foi proibida com a Diretiva 2003/18/CE que se encontra em vigor desde o dia 1 de janeiro de 2005 (UGT, 2017).

O betão é um material com baixa ductilidade, apresentando uma diminuição da mesma com o aumento de tensões de rotura à compressão, no entanto, graças à sua enorme versatilidade é amplamente utilizado na construção. Ao se incluírem fibras na sua composição, é possível ultrapassar essa fragilidade e reduzir significativamente custos associados à mão de obra necessária para a colocação da armadura convencional (Soares, 2013).

Outra das grandes finalidades da introdução destes materiais no betão é a redução do aparecimento de fissuras e consequentes aberturas. As fibras são introduzidas por forma a melhorar o comportamento dos materiais relativamente a questões como tensões de compressão, módulo de elasticidade, resistência ao choque, fendilhação, durabilidade, fadiga, resistência ao impacto e abrasão, retração, expansão, comportamento térmico, acústico e resistência ao fogo. Assim, nos tempos que correm são incorporadas fibras sintéticas e fibras naturais no betão, as quais prometem diferentes benefícios mediante a sua utilização e propósitos futuros (Júnior, et al., 2017).

As fibras podem ser definidas como elementos descontínuos, cujo comprimento pode ser superior à secção transversal. Figueiredo, em 2012, afirma que o material constituinte da mesma é responsável pela definição de parâmetros como módulo de elasticidade e resistência mecânica da mesma, sendo estas as propriedades mais influentes a nível da capacidade de reforço que a fibra é capaz de transmitir ao próprio betão.

Para que as fibras assumam uma prestação eficiente é necessária, segundo Ferreira, em 2008, a aplicação de alguns procedimentos que visam aumentar a área de contacto entre a fibra e a matriz do betão, salientando-se:

- Aumentar a rugosidade da fibra;
- Torcer a fibra ao longo do seu comprimento;
- Criar zonas de ancoragem na fibra como meio de obtenção de amarração mecânica nas extremidades;

É de salientar que a escolha do tipo de fibra a colocar numa amassadura de betão, depende muito da finalidade pretendida, deste modo salientam-se algumas propriedades relativas às fibras sintéticas mais utilizadas como polímeros, aço e carbono.

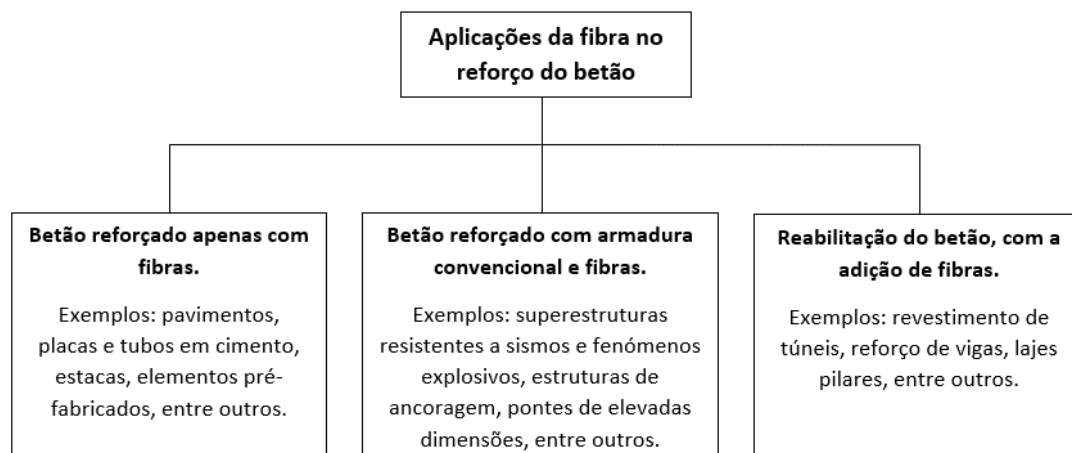


Figura 2.12 – Aplicações da fibra no betão (Fonte: adaptado de Mateus, 2013)

2.3.1 Fibra de aço

Por betão reforçado com fibras de aço entende-se qualquer material de matriz cimentícia ao qual é adicionada uma dada percentagem de fibras de aço curtas (Barros, 2001).

Este tipo de fibras tem sido utilizado como material de reforço no betão desde meados dos anos sessenta, mostrando um enorme potencial como substituto das armaduras convencionais, uma vez que

apresentam várias vantagens quer a nível técnico, quer a nível económico, revelando-se as mais procuradas e utilizadas (Barros, et al., 1999).

As suas aplicações mais comuns baseiam-se em pavimentos de edifícios industriais e estruturas de suporte em túneis. De acordo com Mateus, em 2013, relativamente a vantagens é possível enumerar, do ponto de vista económico, a diminuição de mão de obra necessária para corte e colocação de armaduras, e consequentemente uma redução do tempo de execução, já a nível técnico há que apontar o reforço homogéneo garantido pelas fibras, melhoria da ductilidade e melhor comportamento quanto à fendilhação do betão.

As fibras de aço podem-se apresentar de dois modos distintos: soltas ou coladas em pente. A utilização das primeiras apenas deve ocorrer caso estas apresentem uma secção considerável, já no caso de fibras longas e de esbelteza superior, estas devem ser coladas em pente. A salientar que a forma mais eficaz de garantir a mistura homogénea das fibras no betão, é proceder-se como se de um agregado se tratasse, ou seja, através do seu acondicionamento durante a amassadura do betão (Ribeiro, 2012).

Quanto à sua geometria, as fibras podem apresentar formas distintas, conforme o exposto na Figura 2.13. As que apresentam gancho nas extremidades, conferem uma maior aderência ao betão, uma vez que é necessária uma quantidade superior de energia por forma a possibilitar o arrancamento das mesmas da matriz cimentícia.

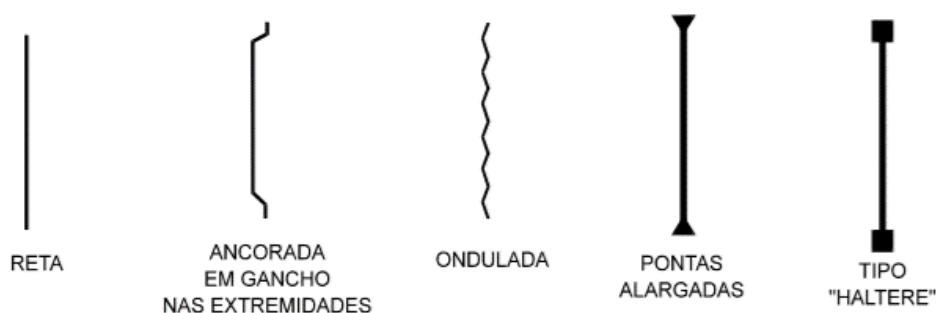


Figura 2.13 – Geometria das fibras de aço (Fonte: adaptado de Nunes, 1998)

Através de estudos comparativos presentemente efetuados, tem-se verificado que aumentando a percentagem de fibras de aço na composição do betão é possível alcançar uma distribuição mais uniforme das tensões.

É possível descrever-se este fenómeno referindo que a tensão existente tem a sua origem em torno de diversas fendas, podendo implicar a abertura de uma série de outras de menores dimensões, sem grandes concentrações de danos. Uma vez que algumas patologias nas estruturas são devidas à permeabilidade do betão relacionada com a abertura da fenda, é possível afirmar-se que pequenas fendas são menos

permeáveis em comparação com uma de grandes dimensões (Mateus, 2013), a abertura da fenda deve ser considerada no cálculo da estrutura.

Relativamente à questão da corrosão, tem-se verificado que em fibras de aço colocadas no betão reforçado, é menos grave quando comparada com a corrosão das armaduras ordinárias do betão armado. No entanto, é sabido que neste tipo de betão reforçado, as fibras de aço se encontram à superfície e a interação entre a camada superficial do betão com o meio ambiente é deveras importante para o início dos mais variados processos de degradação. Assim, atendendo à distribuição e disposição das fibras dentro da matriz do betão e o facto de muitas das vezes, não existir uma camada de recobrimento exterior protetor, ao invés do que sucede com o betão armado, podem existir frações que se encontrem sem proteção, podendo ocorrer degradação superficial (Camões, et al., 2012).

Através da análise do comportamento do betão com adição de fibras de aço em caso de incêndio, é reconhecido que constituem um sistema de reforço apto para proporcionar uma alta ductilidade a materiais de matriz cimentícia, além disso melhoram o comportamento do betão em caso de elevadas temperaturas (Rodrigues, et al., novembro de 2008).

2.3.2 Fibra polimérica

Esta fibra é produzida em monofilamentos contínuos de secção circular ou fitas fibriladas de secção transversal retangular, a contemplar alguns exemplos na Figura 2.14. Estas têm-se revelado uma alternativa viável à fibra de amianto, já que apresentam uma ductilidade considerável até atingir a rotura. O seu comprimento não deve ser demasiado elevado, já que, devido à sua flexibilidade, existe alguma propensão para a fibra se enrolar em torno das pás da misturadora, dificultando a mistura (Mateus, 2013); (Júnior, et al., 2017).



Figura 2.14 – Exemplos de algumas fibras poliméricas (Fonte: Mateus, 2013)

A influência das fibras poliméricas relativamente ao seu comportamento quando inseridas no betão, tem sido alvo de estudos e pesquisas exaustivas no sentido de apurar se a adição das mesmas é capaz de melhorar de forma significativa algumas propriedades mecânicas do mesmo nomeadamente a nível da resistência à tração e resistência à abrasão. No entanto, Júnior, *et al.*, em 2017, afirmou que a resistência à compressão do betão não apresenta grandes variações com a adição deste tipo de fibras, assim como o módulo de elasticidade.

Nos tempos que correm, as fibras poliméricas, mais concretamente as de polipropileno, têm sido alvo de estudos relativamente ao seu comportamento em caso de incêndio tendo obtido resultados bastante favoráveis, já que a adição deste tipo de fibras é uma das melhores alternativas para evitar um fenómeno explosivo deste tipo de betões quando associado a temperaturas elevadas. Este pode ser definido pelo destacamento, de forma violenta ou não, de algumas camadas ou porções da superfície de um dado elemento de betão mediante a sua exposição a um rápido aumento de temperatura, como o que pode acontecer mediante uma situação de incêndio (Rodrigues, *et al.*, novembro de 2008).

Com a adição deste tipo de fibras, uma solução apelidada de simples, eficiente e económica, são formados microcanais no seio do betão aquando do seu aquecimento, volatizando estas fibras a cerca de 170°C. Estes canais vão permitir que ocorra uma libertação de vapor de água e reduzir-se-á de forma significativa o risco deste fenómeno.

2.3.3 Fibra de carbono

Nos últimos anos, ocorreu um incremento na utilização de fibras de carbono como elemento de reforço nas mais variadas aplicações. Segundo Ferreira, em 2000, tal se deve às suas propriedades, a salientar algumas como:

- Elevada resistência do material;
- O reduzido peso específico do mesmo;
- A elevada resistência relativamente à ação de agentes químicos;
- O material não apresenta sinais de corrosão;
- O seu coeficiente de dilatação térmica é relativamente baixo, o que possibilita uma elevada estabilidade das estruturas.

Este tipo de fibra, já tem a sua utilização sediada nas indústrias aeronáutica, aeroespacial e mecânica há alguns anos, não apresentando para já imperfeições relativamente a outros materiais uma vez que não possuem qualquer elemento nocivo na sua composição, nem apresentam problemas de corrosão, como no caso das fibras de aço (Mateus, 2013).

CAPÍTULO 2

A sua principal desvantagem baseia-se no seu elevado custo, no entanto acredita-se que com o aumento da sua utilização o preço acabe por decrescer. Existem também algumas características menos apelativas como:

- Uma elevada resistência à fadiga e atuação de cargas cíclicas;
- Uma condutividade térmica considerável;
- Possui uma baixa resistência ao choque e quando exposta a radiação ultravioleta degrada-se com facilidade.

Na sua publicação de 2013, Mateus afirma que este tipo de fibra se encontra associada a um fenómeno algo contraditório, isto é, apesar de apresentarem uma série de vantagens, estão também associadas a uma diminuição da capacidade resistente à compressão. Pensa-se que a incorreta dispersão da fibra dentro da matriz do betão influencia a sua resistência, pois uma incorporação pouco uniforme da mesma pode ser um fator decisivo para a sua eficácia em termos de reforço.

As fibras de carbono utilizadas provêm de um precursor, ou seja, são produzidas a partir de um material semielaborado que pode ser de três tipos distintos: poliacrilonitrilo, pasta residual derivada da destilação do petróleo e viscosa *rayon*, originando assim a fibra de poliacrilonitrilo, fibra *pitch* e fibra *rayon* (Mateus, 2013).

Existe uma outra aplicabilidade por parte destas fibras a ser estudada, o facto de serem condutoras de eletricidade. Deste modo é possível estabelecer uma nova finalidade para este material como a constituição de um sensor que permita avaliar o seu estado de fissuração, a partir da análise da variação da resistividade quando a corrente elétrica percorre um determinado troço. Assim, está aberta a possibilidade de utilização das fibras de carbono como reforço estrutural, ao mesmo tempo que monitorizam a durabilidade da estrutura.

CAPÍTULO 3

COMPOSIÇÕES ELABORADAS E ENSAIOS REALIZADOS NO ESTADO FRESCO

Neste capítulo serão abordadas todas as atividades necessárias à elaboração de uma série de produções de betão e argamassa. Destacam-se trabalhos como levantamento de todos os constituintes da amassadura e respetiva identificação, os ensaios laboratoriais efetuados e procedimentos correspondentes, assim como todas as particularidades de cada produção.

3.1 DESCRIÇÃO DAS COMPOSIÇÕES

De acordo com o disposto nos correntes documentos normativos foram elaboradas duas misturas de referência, uma de argamassa segundo EN 1015-11, de 1999 e outra de betão mediante o definido em NP EN 206:2013 + A1, de 2017, por forma a avaliar a sua resistência mecânica.

Como o betão deve ser uma mistura devidamente ponderada e proporcionada de uma série de componentes, foram analisados e estudados os melhores a utilizar, de modo a garantir as características mais vantajosas.

3.1.1 Agregados

Os agregados ocupam uma percentagem significativa relativamente aos constituintes do betão ou da argamassa, como tal, revela-se extremamente importante uma escolha coerente quanto ao tipo a utilizar.

É de salientar, que a sua escolha deve ser efetuada de modo a garantir o nível de resistência necessário para a respetiva classe de exposição, além disso não devem conter materiais capazes de acelerar ou provocar a degradação do betão (Barbosa, 2013).

Assim, de acordo com a Norma NP EN 12620:2002 + A1, de 2010 e responsável por regulamentar os requisitos dos agregados para betão, é imperativo atentar-se a alguns parâmetros de modo a garantir a durabilidade e qualidade do produto final:

- Os agregados devem ser limpos, rígidos, estáveis e duráveis ao longo do tempo;

- Não devem apresentar químicos na sua composição, argila ou outros tipos de materiais finos suscetíveis de prejudicar a mistura;
- Os agregados não devem ser friáveis ou passíveis de se separar;
- É de evitar a utilização de agregados que sejam constituídos por materiais macios e porosos, como siltito, argilito ou xisto.

Um conceito de elevada importância para a definição do betão é o de máxima dimensão do agregado, uma vez que este possibilita aceitar, ou não, o material em função da geometria das peças a betonar e das características da armadura das mesmas. Assim, de acordo com os trâmites definidos na presente Norma, as suas dimensões devem apresentar uma razão D/d não inferior a 1,4 (NP EN 12620:2002 + A1, 2010).

Deste modo, este conceito pode ser definido pela menor abertura da malha do peneiro da série através da qual passa uma determinada quantidade de agregado em percentagem, como se pode observar na Figura 3.1, abaixo apresentada.

Agregado	Dimensão	Percentagem de passados, em massa					Categoria G^d
		$2D$	$1,4D^{a), b)}$	$D^{c)}$	$d^{b)}$	$d/2^{a), b)}$	
Grosso	$D/d \leq 2$ ou $D \leq 11,2$ mm	100	98 a 100	85 a 99	0 a 20	0 a 5	$G_C85/20$
		100	98 a 100	80 a 99	0 a 20	0 a 5	$G_C80/20$
	$D/d > 2$ e $D > 11,2$ mm	100	98 a 100	90 a 99	0 a 15	0 a 5	$G_C90/15$
Fino	$D \leq 4$ mm e $d = 0$	100	95 a 100	85 a 99	–	–	G_F85
Natural 0/8	$D = 8$ mm e $d = 0$	100	98 a 100	90 a 99	–	–	$G_{NG}90$
Granulometria extensa	$D \leq 45$ mm e $d = 0$	100	98 a 100	90 a 99	–	–	G_A90
		100	98 a 100	85 a 99	–	–	G_A85

^{a)} Quando as aberturas dos peneiros calculadas não corresponderem a números exactos das dimensões da série de peneiros R 20 da ISO 565:1990, deve ser adoptado o peneiro com a abertura mais próxima.

^{b)} Para betões de granulometria descontínua ou para usos específicos poderão ser especificados requisitos suplementares.

^{c)} A percentagem de passados em D poderá ser superior a 99 % em massa, mas neste caso, o produtor deve documentar e declarar a granulometria típica, incluindo os peneiros D , d , $d/2$ e os peneiros intermédios entre d e D da série base mais a série 1 ou da série base mais a série 2. Poderá ser excluído qualquer peneiro em que a razão entre a sua abertura e a do peneiro inferior seguinte seja menor que 1,4.

^{d)} As normas relativas a outros tipos de agregados têm requisitos diferentes para as categorias.

Figura 3.1 – Requisitos gerais para a granulometria de agregados (Fonte: NP EN 12620:2002+A1, 2010)

A escolha dos agregados a utilizar foi baseada nas quantidades disponíveis, uma vez que é necessário manter uma homogeneidade a nível dos materiais utilizados. Assim, no caso do betão foram utilizadas duas gravilhas de origem calcária e duas areias de origem siliciosa, para a argamassa recorreu-se a duas areias de granulometria distinta, provenientes de um fornecedor da EUROMODAL e oriundos da região de Leiria.

Posto isto, foram efetuadas análises granulométricas aos quatro agregados utilizados para o betão, as duas gravilhas e as duas areias, sempre em consonância com o referido em NP EN 933-1, de 2014, de modo a se conferir um estudo conciso das propriedades dos agregados e existir informação suficiente

sobre as classes granulométricas de um dado material. De acordo com a mesma Norma este ensaio consiste numa metodologia de referência para a análise granulométrica dos agregados por via seca com lavagem ou para controlo de produção em fábrica (NP EN 933-1, 2014).

A massa das partículas retida nos diferentes peneiros é relacionada com a massa inicial do material em estudo.



Figura 3.2 – Análise granulométrica por peneiração a uma brita

Os resultados obtidos encontram-se transcritos na Tabela 3.1 abaixo apresentada, assim como as respetivas curvas granulométricas, na Figura 3.3. A salientar que todos os agregados analisados relativamente a esta metodologia serão utilizados para todas as misturas de betão realizadas.

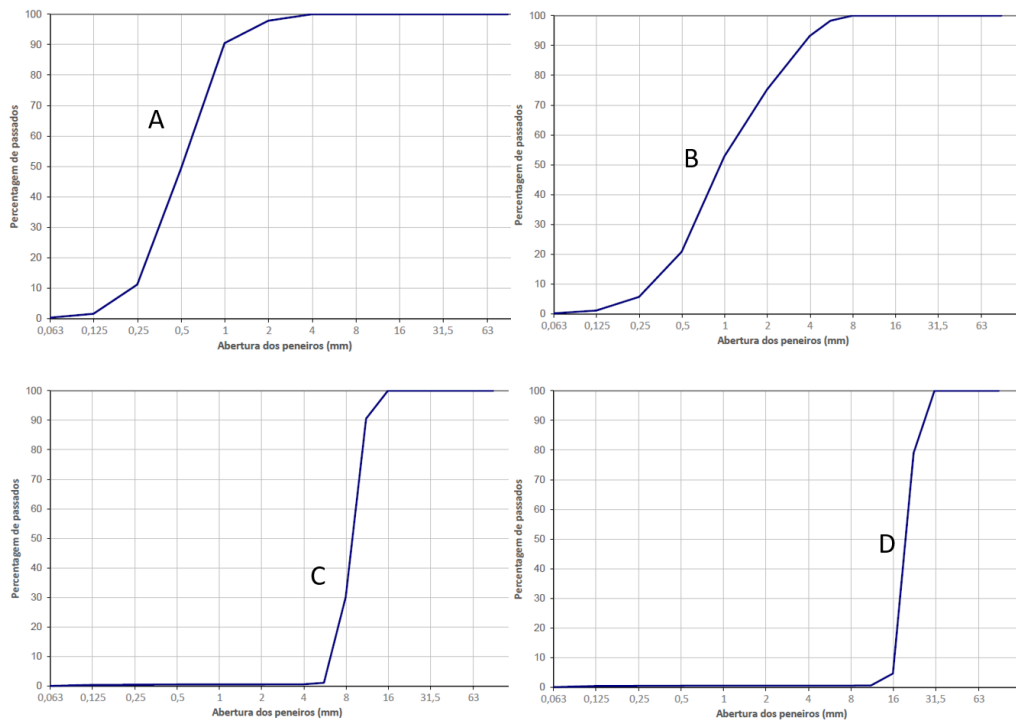


Figura 3.3 – Curvas granulométricas dos diferentes agregados utilizados

Tabela 3.1 – Resultados obtidos através da análise granulométrica de agregados

Peneiro (mm)	Passados acumulados (%)			
	Areia fina - A	Areia média - B	Gravilha 1 - C	Gravilha 2 - D
90	100	100	100	100
63	100	100	100	100
45	100	100	100	100
31,5	100	100	100	100
22,4	100	100	100	79
16	100	100	100	5
11,2	100	100	91	1
8	100	100	30	1
5,6	100	98	1	1
4	100	93	1	1
2	98	75	1	1
1	91	53	1	1
0,5	49	21	1	1
0,25	11	6	0	1
0,125	2	1	0	0
0,063	0,3	0,2	0,1	0,1

3.1.2 Ligante hidráulico e adições

Um ligante hidráulico, pode ser definido como um material de origem não orgânica, finamente moído e que ao misturar-se com água forma uma pasta capaz de ganhar presa e consequentemente endurecer. Isto acontece derivado a reações e processos de hidratação, capazes de conservar a resistência mecânica e estabilidade deste, mesmo quando se encontra debaixo de água. O cimento caracteriza-se por ser um ligante hidrófilo hidráulico e é geralmente aplicado em betões e argamassas (Coutinho, 2006) (Cimpor, 2018).

O endurecimento da pasta de cimento é garantido através de uma série de reações químicas entre os seus constituintes por forma a originar um material sólido com determinada resistência mecânica e denominado por pasta de cimento hidratada. É de salientar que ao contactar com a água, os silicatos e aluminatos do cimento reagem, potenciando a origem de novos compostos estáveis, como silicato de cálcio hidratado e o hidróxido de cálcio, que conferem resistência ao conjunto (Gomes, et al., 2013).

Foi escolhida a utilização de um cimento do tipo CEM I 52,5 R, que como o seu nome indica acarreta uma resistência mecânica à compressão mínima de 52,5 MPa aos 28 dias e, de acordo com o referido no catálogo da Cimpor, datado de 2018, possui uma série de vantagens comparativamente a outros tipos de cimento, a salientar o seu elevado desempenho mecânico a qualquer idade, o desenvolvimento muito rápido das suas resistências mecânicas e adequado a classes de exposição XC4.

O betão e a argamassa são frequentemente produzidos a partir de diferentes tipos de cimento ou de misturas ligantes, sendo que estas podem resultar da junção do cimento a materiais inorgânicos designados por adições. Estas têm sido aplicadas com o intuito de aperfeiçoar algumas características do betão, como a trabalhabilidade no estado fresco, a resistência e durabilidade no estado endurecido e a obtenção, de um modo geral, de soluções mais económicas. Para além disso, a utilização destes materiais tem sido bastante aplaudida a nível ambiental já que constitui um reaproveitamento de resíduos de outras indústrias e possibilita uma redução das emissões de dióxido de carbono associadas ao consumo de determinadas quantidades de betão (Gomes, et al., 2013).

Existem alguns estudos capazes de suportar a teoria que a adição de Cinzas Volantes melhora substancialmente a qualidade da mistura relativamente aos parâmetros já definidos, assim como a obtenção de valores de resistência mecânica a longo prazo superiores aos obtidos com a utilização exclusiva de cimento, quando a substituição é na ordem dos 30 a 40%. Isto acarreta então uma ideia bastante oposta ao tradicional em que apenas se utilizavam adições como forma de redução de custos na produção devido ao elevado preço do cimento (Luís, 2013).

As Cinzas Volantes possuem reatividade pozolânica, sendo fundamentalmente constituídas por sílica, alumina e óxido de ferro. A sua utilização como constituinte do cimento é regulamentada por NP EN 197-1, de 2012 e salientam-se alguns dos seus benefícios, como:

- Redução do calor de hidratação;
- Uma menor velocidade de reação, que origina maiores tempos de presa, menor velocidade de endurecimento e redução da resistência inicial;
- Quando se recorre a uma substituição na ordem dos 30% a 40% da quantidade inicial de cimento, apesar de se verificar uma redução da resistência mecânica inicial, é possível obter valores resistentes, a longo prazo, iguais ou mesmo superiores, aos obtidos recorrendo unicamente ao cimento;
- É possibilitada uma maior resistência química ao ataque de sulfatos e à reação expansiva álcalis-sílica quando é aplicada uma percentagem de cinzas superior a 30%;
- Existe uma alteração da cor do betão, pois a presença de cinzas volantes promove uma tonalidade mais escura.

Portugal possui duas centrais térmicas a carvão, a central do Pego, localizada perto de Abrantes, e a central de Sines, cujas Cinzas são maioritariamente utilizadas pela indústria nacional de betão pronto, em substituição parcial do cimento Portland (Gomes, et al., 2013).

Segundo Barbosa, em 2013, a quantidade de cinza a utilizar depende do efeito que se pretende obter do betão, devendo ser fundamentada no desempenho do próprio betão, ou determinada a partir de testes para obtenção da taxa de dosagem aconselhável.

Optou-se pela adição de Cinza Volante proveniente da central de queima de Sines sob a proporção 70/30, isto é 30% de cinza para 70% de cimento. Tal permitiu garantir a betonagem em meios agressivos e diminuição de emissões de dióxido de carbono para a atmosfera, já que o ligante possui um baixo calor de hidratação associado a uma libertação lenta.

3.1.3 Água

A água é a base de tudo e, portanto, é um constituinte essencial do betão. Quando é misturada com o cimento origina uma pasta capaz de unir toda a mistura juntamente com os agregados, para além de poder afetar diretamente as resistências química e mecânica do betão e a sua compacidade. O próprio endurecimento do betão é possibilitado através da adição da água que origina o processo de hidratação.

Quanto ao tipo de água a utilizar para elaboração do betão, desde que esta seja potável é passível de se usar, sem necessidade de análise. Outros tipos de água como superficiais, subterrâneas, residuais industriais também podem ser empregues, mas requerem uma análise prévia (Barbosa, 2013).

Já aquela que é proveniente da lavagem de equipamentos também pode ser utilizada, no entanto requer análise prévia e não pode conter qualquer tipo de óleo ou adjuvante. Em casos especiais pode-se recorrer a água destilada ou desionizada, no entanto águas residuais domésticas não devem sequer ser consideradas.

A água a adicionar à mistura deve ser incolor ou ligeiramente amarelada, não contendo óleos ou gorduras em emulsão, isto porque a presença de certos materiais na água pode afetar a qualidade do betão, na seguinte medida:

- Se ocorrer a presença de percentagens de óleos minerais superiores a 2% da massa total de cimento, é provável a ocorrência da redução das tensões de rotura;
- No caso da presença de matérias orgânicas, como algas, é possível a verificação de grandes reduções das tensões de rotura, derivado à introdução de ar no betão, dimensões dos elementos, ou até por eventuais secreções provenientes desses mesmos elementos orgânicos;
- Caso se verifique a existência de hidratos de carbono como a glucose ou sacarose, existe a probabilidade de ocorrência de alterações relativamente ao tempo de presa e ao endurecimento, ou seja, em pequenas quantidades a presa é retardada, mas observa-se um aumento das tensões de rotura a longo prazo, já em quantidades elevadas verifica-se o oposto.

Assim, tendo em conta tudo o que foi descrito anteriormente, optou-se pela utilização de água potável da rede pública.

3.1.4 Adjuvantes

A adição de adjuvantes ao betão permite a alteração de algumas das suas propriedades. Estes são químicos e por norma apresentam-se na forma líquida e em proporções relativamente pequenas e ponderadas. A sua utilização encontra-se especificada em NP EN 934-1, de 2008, na qual são estabelecidos os requisitos específicos de cada tipo de adjuvante.

Ao se adicionar adjuvantes à mistura é possível encontrar-se uma melhor solução para ultrapassar qualquer problema ou para respeitar as especificações do betão presentes em NP EN 206:2013 + A1, de 2017.

Na sua publicação de 2013, Barbosa refere que estes são normalmente utilizados para alterar as seguintes propriedades:

- Fornecer um ajuste do tempo de presa, ou seja, permite acelerar ou retardar;
- Possibilitar uma redução da água a utilizar;
- Proporcionar um aumento da trabalhabilidade do betão;
- Introduzir ar na composição;
- Provocar o aumento das tensões iniciais de rotura;
- Permitir um incremento da resistência quanto a ciclos de gelo e degelo;
- Oferecer uma diminuição da permeabilidade a líquidos;
- Criar um impedimento relativamente à segregação e sedimentação do cimento em caldas de injeção;
- Possibilitar a criação de alguma expansão em betões e argamassas, assim como auxílio na betonagem de betões mais pobres;
- Permitir uma melhor aderência quer ao agregado, quer a argamassas e betões já endurecidos;
- Promover diferentes tipos de produções como betão e argamassa coloridos, leves ou celulares;
- Proporcionar o enriquecimento da mistura quanto a propriedades fungicidas, germicidas e inseticidas;
- Permitir uma redução ou não aparecimento de corrosão em armaduras.

Assim, mediante o acima disposto, optou-se pela utilização de dois tipos de adjuvantes para melhoria das propriedades do betão: um superplastificante e um retardador de presa. Apesar de possuírem funções distintas, ambos contribuem para um melhor desempenho. O superplastificante, Woerment FM 830 aumenta a consistência, ao mesmo tempo que mantém ou reduz o teor em água, enquanto o retardador de presa, Lentan VZ SP possibilita tempos de transição alargados do estado plástico para o estado endurecido (EUROMODAL, 2018).

3.1.5 Fibras a utilizar

Numa fase inicial, procedeu-se ao levantamento de todas as fichas técnicas das fibras a utilizar para reforço das distintas produções de betão. É de salientar que todas as fibras relatadas são comercializadas a nível nacional e compostas por materiais como aço, polímeros e carbono.

Apesar da massa volúmica ser referida na respetiva ficha técnica, optou-se pela determinação experimental da mesma, em âmbito de laboratório por forma a se constatar a veracidade dos resultados. Assim na Figura 3.4 apresentam-se as fibras utilizadas.



Figura 3.4 – Fibras poliméricas, de aço e carbono

Devido às diferentes dimensões apresentadas pelas fibras a analisar, ocorreu a inerente necessidade da elaboração de diferentes tipos de produções. Deste modo, devido às dimensões mais reduzidas de elementos como Ha-Be PP Makrofaser (A) e FISIFE - L62 0,9 dtex 8mm (C), foi necessário encontrar-se uma solução mais elementar onde estas pudessem ser integradas e conseqüentemente avaliadas relativamente à sua resistência.

Assim, optou-se pela elaboração de argamassas e betões de forma a possibilitar a utilização de maior número de fibras e conseqüentemente um estudo mais intensivo relativamente à comparação das resistências mecânicas do betão. Na Tabela 3.2 encontram-se registados a título de quadro-resumo, segundo as designações apresentadas na Figura 3.4, os parâmetros mais importantes para cada tipo de fibra existente no mercado, incluindo a sua massa volúmica calculada.

Tabela 3.2 – Características das fibras a utilizar

Tipo e referência		Fibra	Massa volúmica (g/cm ³)	Material Constituinte	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)
Polimérica	A	Ha-Be PP Makrofaser	0,86	Polipropileno	0,77	12, 24, 32 e 42	600
	D	BASF Masterfiber248	0,87	Polipropileno	0,85	48	400
	E	BASF Masterfiber400	1,21	Acetato Polivinílico	0,20	18	750
	F	BASF Masterfiber246	0,83	Poliiolefina	0,75	40	448
	G	Chryso	0,67	Polietileno e Polipropileno	-	50	650
	H	BASF Masterfiber249	0,88	Poliiolefina	0,85	48	400
Carbono	C	FISIPE - L62 0,9 dtex 8mm	1,11	Poliacrilonitrilo	-	8	690
Aço	B	BASF Masterfiber482	7,69	Aço	0,20	13	3100
	I	BASF Masterfiber502	7,56	Aço	1,00	50	1000
	J	BASF Masterfiber503	7,54	Aço	0,75	35	1200

A dosagem a utilizar para cada amassadura reforçada com fibras foi calculada a partir da imposição de 30 kg de fibra metálica para cada m³ de betão, indo de encontro ao definido na dose recomendada pelo fabricante. Depois, a partir da respetiva massa volúmica de cada fibra, apresentadas na Tabela 3.2, foi comparada com a da fibra metálica, calculando-se a quantidade a colocar para cada amassadura verificando sempre se o valor obtido se encontra em consonância com o recomendado pelo fabricante. Deste modo é garantido que a proporção de fibra utilizada é sempre a mesma, qualquer que seja a produção.

3.2 PREPARAÇÃO E PRODUÇÃO DAS MISTURAS

3.2.1 Elaboração de argamassas de controle

Em consonância com EN 1015-11, durante o período decorrente do estágio curricular, foram elaboradas duas produções de argamassa de controle, sem qualquer tipo de fibras por forma a ser possível avaliar a sua resistência. É de elevada importância referir que a preparação ocorreu de acordo com este elemento normativo e não com NP EN 196-1 uma vez que a argamassa não é exclusivamente de cimento já que contém cinza volante na sua composição.

O procedimento de ensaio é em todo idêntico ao referido em NP EN 196-1, ou seja, cada amassadura perfaz três prismas de argamassa com dimensões 40 x 40 x 160 mm³. Assim, todo o processo ocorre segundo os trâmites definidos em EN 1015-11, de 1999.

De acordo com o anteriormente disposto quanto aos componentes, foi definida uma composição constante de controle segundo as quantidades definidas na Tabela 3.3. É de salientar que a Cinza Volante utilizada, apesar de sempre originária da central de queima de Sines, foi facultada por fornecedores distintos.

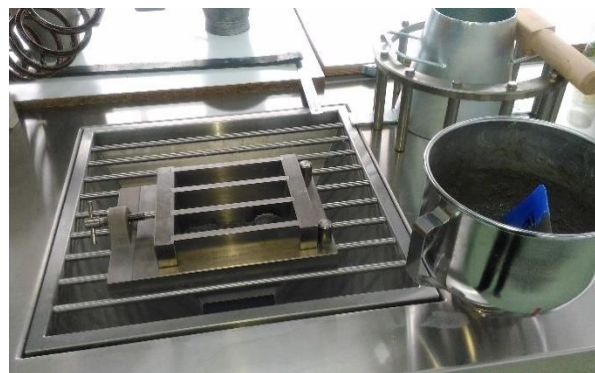
Tabela 3.3 – Composição da argamassa de controle

Componentes	Dosagem (g)
Areia de rio	1000
Areia fina	350
CEM I 52,5 R SECIL	315
Cinza volante (Sines)	135
Água	225

A argamassa é preparada por amassadura mecânica e disposta em provetes de forma prismática. Estes são colocados em moldes com três compartimentos, como se pode verificar na Figura 3.5 e que permitem a preparação simultânea dos três prismas (EN 1015-11, 1999).



a) Aparelho para amassadura mecânica



b) Colocação da argamassa no molde

Figura 3.5 – Argamassa de controlo

No final de todo este processo, o molde é colocado em câmara húmida durante 24 horas, sendo desmoldado e etiquetado após esse período. Por fim, são colocados em tanque de cura durante 28 dias por forma a garantir as condicionantes normativas.



a) Prismas da primeira produção de controlo



b) Prismas da segunda produção de controlo

Figura 3.6 – Produções de argamassa de controlo

A EUROMODAL possui uma numeração interna para todos os seus provetes, pelo que é com base nesta que os mesmos são etiquetados.

3.2.2 Elaboração de betão de controlo

De acordo com NP EN 14845-1 e NP EN 206:2013 + A1 foi elaborada uma mistura de referência por forma a avaliar a resistência mecânica do betão. É sabido que a formulação deste tipo de misturas tem como objetivo primordial o estudo do betão através de ensaios comparativos (NP EN 14845-1, 2008).

Segundo o disposto anteriormente, foi elaborada uma mistura de referência com as quantidades explicitadas na Tabela 3.4, para 1 m³ de betão, segundo o método de *Faury* e ajustada aos limites previstos, para que se obtenha um betão de classe XC4, ou seja que apresente todas as características definidas mediante esta classe de exposição e previamente referidas, isto é, a máxima razão água/ligante, a mínima classe de resistência e a mínima dosagem de cimento (NP EN 206:2013 + A1, 2017).

CAPÍTULO 3

A determinação da composição do betão de referência foi definida segundo os critérios estipulados na Norma NP EN 1766, datada de 2008, para betões de referência a utilizar em produtos e sistemas de proteção e reparação de estruturas de betão.

Assim, foi elaborado um betão do tipo C (0,70) com dimensão máxima do agregado compreendida entre 16 e 20 mm, por forma a cumprir as características exigidas para um betão de referência deste calibre, nomeadamente uma razão água/cimento de $(0,70 \pm 0,05)$, resistência à compressão aos 28 dias de (30 ± 5) N/mm², em cubos e de (25 ± 5) N/mm², em cilindros e uma resistência de aderência à tração igual ou superior a 1,5 N/mm². A sua curva granulométrica dos seus agregados é coincidente com a apresentada na presente Norma, a observar na Figura 3.7 (NP EN 1766, 2008).

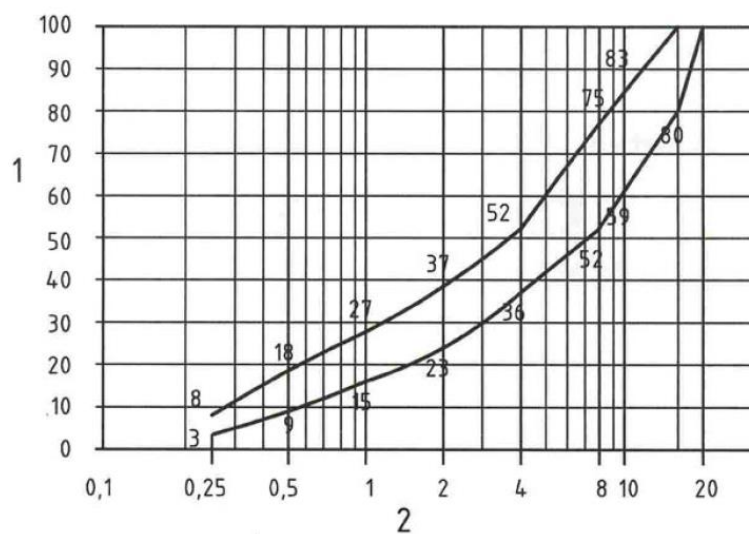


Figura 3.7 - Granulometria dos agregados para o betão de referência (Fonte: NP EN 1766, 2008)

Assim, salienta-se que o betão elaborado possui uma designação do tipo C30/37 XC4(P) D22, mediante o definido em NP EN 206:2013 + A1 2017.

Tabela 3.4 – Composição do betão de controlo, em Kg

Componentes	Para 1 m ³ de betão
Areia fina	205,00
Areia média	727,00
Gravilha 1	708,00
Gravilha 2	224,00
Woerment FM 830	2,14
Lentan VZ SP	1,25
CEM I 52,5 R SECIL	249,00
Cinza Volante (Sines)	107,00
Água	154,00

Todo o processo de amassadura do betão decorreu consoante o estipulado nas Normas referidas e de acordo com os seguintes passos:

- Colocação dos agregados na misturadora, por ordem decrescente de granulometria, fechar a tampa e colocar o equipamento em funcionamento. Adicionar metade da água, sempre com as pás em movimento;
- Desligar o equipamento e aguardar 5 minutos, com a tampa da misturadora fechada;
- Terminado o tempo, abre-se novamente a tampa, cava-se um orifício no centro onde se irão colocar o cimento e a cinza. Utilizar o excedente de agregado para tapar o ligante;
- Ligar novamente o equipamento e adicionar a restante água e adjuvantes e misturar até ficar bem uniforme. Por fim preencheram-se os respetivos moldes com a mistura.

Todos os provetes realizados foram colocados em câmara húmida durante 24 horas, desmoldados, corretamente, etiquetados e de seguida colocados em tanque de cura. Após um período de 28 dias serão retirados e ensaiados por forma a se obterem resultados que sirvam de comparação para quando se testarem provetes com a mesma composição, mas com adição de diferentes tipos de fibras.



Figura 3.8 – Agregados e ligantes utilizados para a mistura

Salienta-se desde já que foram elaboradas três produções de betão de controlo ou referência de 15, 45 e 17 litros, derivadas da composição definida para 1 m³ por forma a se obter quatro cubos de 150 x 150 x 150 mm³, três prismas de 150 x 150 x 550 mm³ e três cilindros com 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura, respetivamente.



Figura 3.9 – Cubos elaborados a partir da mistura de referência

3.2.3 Elaboração de argamassas reforçadas com fibras

Como já foi previamente referido, uma mistura de controlo tem como principal propósito o servir de base para todas as posteriores produções, mantendo-se, portanto, a mesma composição e adicionando-se apenas a dosagem necessária de fibra.

Devido às dimensões reduzidas de algumas fibras, como Ha-Be PP Makrofaser de 12 mm e FISIFE - L62 0,9 dtex 8mm, revelou-se necessária a sua utilização como reforço de argamassas. Não seria viável introduzi-las no betão, uma vez que estariam a ser acarretados riscos desnecessários como, por exemplo, má distribuição da fibra na amassadura.

Relativamente à dosagem de fibras a utilizar, é de salientar que o fabricante da fibra de poliácilonitrilo aconselhava uma aplicação de cerca de 10 a 15% do valor da massa total da produção como dose recomendada. Assim, considerou-se um valor de 13% o que correspondeu a 2,63 g de fibra de carbono,

depois por correlação com a massa volúmica calculou-se o necessário de fibra polimérica, mantendo sempre a harmonização com o aconselhado pelo fabricante. Deste modo, foi possível manter sempre a mesma proporção de fibra para as produções elaboradas.

O procedimento de amassadura ocorre de forma análoga ao efetuado aquando das produções de controlo em consonância com os procedimentos designados em EN 1015-11, de 1999. Existe apenas uma pequena diferença, pois no momento em que as fibras são adicionadas à mistura, ou seja, mal seja atingindo o término do período definido para produção, devem ser efetuados os seguintes passos:

- Retirar o recipiente do aparelho para amassadura mecânica;
- Adicionar as fibras à restante mistura, tentando sempre que estas fiquem dispostas da forma mais homogénea possível;
- Recolocar o recipiente no aparelho;
- Voltar a misturar durante 5 minutos, de forma a uniformizar toda a amassadura.



Figura 3.10 – Momento da adição da fibra Ha-Be PP Makrofaser

Findo o período definido, e verificando-se a homogeneidade da mistura, esta está pronta a ser introduzida no respetivo molde e seguir novamente os parâmetros definidos pela respetiva Norma quanto ao seu acondicionamento e cura (EN 1015-11, 1999).

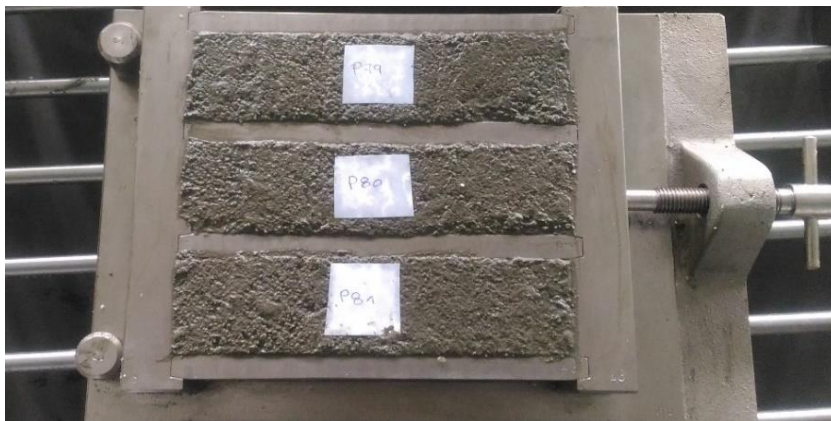


Figura 3.11 – Prismas de argamassa reforçada com fibra de poliacrilonitrilo

3.2.4 Elaboração de betões reforçados com fibras

Para que as produções de betão reforçado com fibras sejam efetuadas de forma correta, é necessário cingirem-se pelos mesmos princípios referidos previamente para as argamassas. Ou seja, seguindo os princípios definidos em NP EN 14845-1, datada de 2008, todas as produções de betão reforçado com fibras devem conter uma composição em todo igual à de referência, pois só assim é possível a realização de ensaios comparativos. No entanto, é de referir que, de forma análoga ao que ocorreu para com as produções de argamassa, a Cinza Volante utilizada foi proveniente de fornecedores distintos.

Então, foram introduzidas na mistura de controlo fibras do tipo Masterfiber502, Masterfiber503, Masterfiber246, Masterfiber248, Masterfiber482 e Chryso, segundo a proporção já previamente definida e por forma a perfazer cubos, cilindros, prismas e lajes de betão reforçado com fibras. Os moldes destas últimas têm dimensões $600 \times 600 \times 100 \text{ mm}^3$, necessitando de um total de 40 litros de betão.

À semelhança do ocorrido aquando da elaboração de controlo, os procedimentos designados por NP EN 14845-1, de 2008, são exatamente os mesmos. A única distinção ocorre no momento em que as fibras são adicionadas à mistura, a observar na Figura 3.12. Ou seja, mal seja atingindo o término do período definido para produção devem ser efetuados os seguintes passos:

- Abertura da tampa da misturadora;
- Adicionar as fibras à restante mistura, tentando sempre que estas fiquem dispostas da forma mais homogénea possível;
- Fechar a tampa da misturadora;
- Colocar o aparelho em funcionamento durante 5 minutos, de forma a uniformizar toda a amassadura.



Figura 3.12 – Momento da adição da fibra polimérica Masterfiber246

Findo o período definido, e verificando-se a homogeneidade da mistura, esta está pronta a ser introduzida no respetivo molde e seguir novamente os parâmetros definidos pela respetiva Norma quanto ao seu acondicionamento e cura. Na Figura 3.13 é possível contemplar algumas das produções de provetes de betão reforçado com fibras.



a) Cubos reforçados com fibra Masterfiber503



b) Cilindros reforçados com fibra Masterfiber482



c) Prismas reforçados com fibra Masterfiber246



d) Laje reforçada com fibra Masterfiber248

Figura 3.13 – Exemplos de algumas produções de betão reforçado com fibras

3.3 AVALIAÇÃO DA CONSISTÊNCIA NO ESTADO FRESCO – ENSAIO DA MESA DE ESPALHAMENTO

3.3.1 Argamassas

O ensaio da mesa de espalhamento em argamassas é efetuado segundo o definido na Norma EN 1015-3, datada de 1999, a qual define um procedimento capaz de permitir a avaliação da consistência quando esta ainda se encontra no seu estado fresco. É um ensaio de importância considerável já que possibilita a avaliação da deformabilidade da mesma quando sujeita a algum tipo de esforço.

Assim, é indicada uma metodologia para que seja possível avaliar a consistência de uma argamassa fresca, utilizando a mesa de espalhamento. De acordo com a mesma, após realização da amassadura esta deve ser retirada da misturadora e colocada num molde próprio regulado pela Norma em duas camadas, sendo compactada com 10 pancadas entre cada uma delas com o auxílio de um compactador. Depois, todos os resíduos que possam ter ficado na mesa devem ser limpos ao longo de um período de 15 segundos, retirando-se o molde de seguida. Por fim, liga-se o equipamento que provocará uma elevação ininterrupta da mesa 15 vezes a uma frequência constante de aproximadamente 1 elevação por segundo (EN 1015-3, 1999). Na Figura 3.14, abaixo apresentada, podem-se observar duas das fases deste procedimento.



a) Colocação da argamassa no molde



b) Medição do espalhamento

Figura 3.14 – Ensaio da mesa de espalhamento em argamassa de controlo

A Norma EN 1015-3, de 1999, indica também que o valor do espalhamento deve ser calculado a partir da média dos dois diâmetros medidos e arredondado à unidade. Para finalizar, a mistura é recolocada no recipiente e novamente revolvida até uniformizar, preenchendo-se os respetivos moldes em seguida.

Os valores médios obtidos para as diferentes produções de argamassa relativamente a este ensaio, encontram-se explicitados no gráfico da Figura 3.15. É de salientar que se optou por suprimir os resultados relativos à primeira argamassa de controlo, de modo a apenas se compararem resultados de amassaduras com os mesmos constituintes.

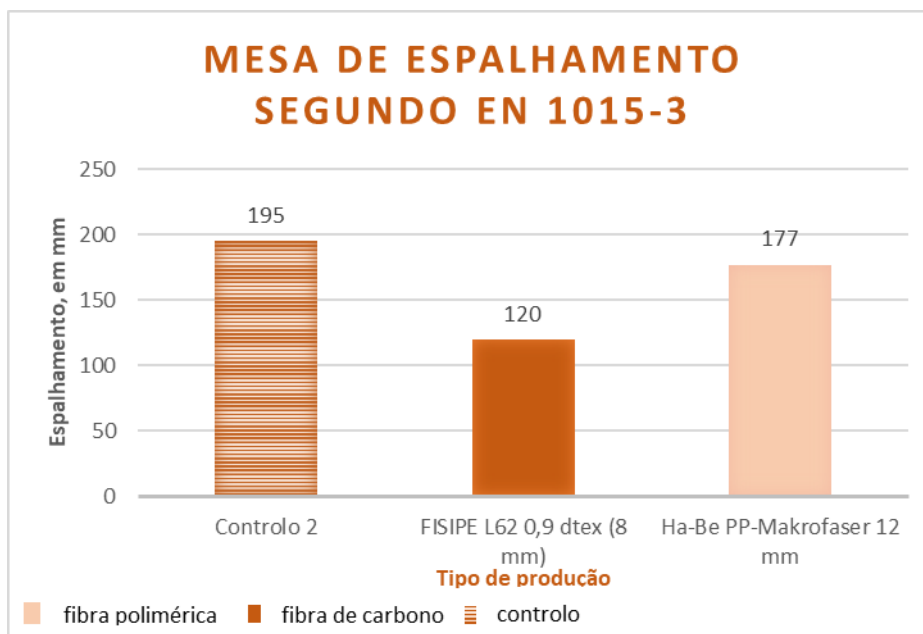


Figura 3.15 – Gráfico relativo a resultados do ensaio da mesa de espalhamento

3.3.2 Betões

O ensaio da mesa de espalhamento em betões é definido segundo a Norma NP EN 12350-5, de 2009, sendo extremamente esclarecedora relativamente a uma metodologia para determinação do espalhamento do betão fresco. Assim, é determinada a consistência do mesmo através da medição deste numa mesa plana submetida a 15 pancadas.

De acordo com a presente Norma, é colocado um molde normalizado na mesa de espalhamento, sendo que este deve ser preenchido com o betão em duas camadas, onde cada uma delas é compactada com 10 pancadas com o auxílio da barra compactadora.

Após um período de espera de 30 segundos, onde qualquer resíduo de betão deve ser limpo da mesa, retira-se o molde e submete-se a mesa de espalhamento a 15 elevações, permitindo a queda livre do tabuleiro sobre o batente inferior em cada uma delas. Por fim, foram medidas as dimensões máximas do espalhamento nas direções indicadas na presente Norma, para se calcular uma média ponderada entre os dois valores, com aproximação a 10 mm. No final, é necessário verificar se não ocorreu segregação do betão, pois neste caso o ensaio não é considerado satisfatório (NP EN 12350-5, 2009). Na Figura 3.16, é possível observarem-se duas das fases deste processo.



a) Medição da dimensão do espalhamento em betão de controlo

b) Aparência do betão reforçado com fibra 482 após elevações

Figura 3.16 – Ensaio da mesa de espalhamento a duas produções distintas de betão

Os valores obtidos para as diferentes produções de betão relativamente a este ensaio, encontram-se explicitados no gráfico da Figura 3.17.

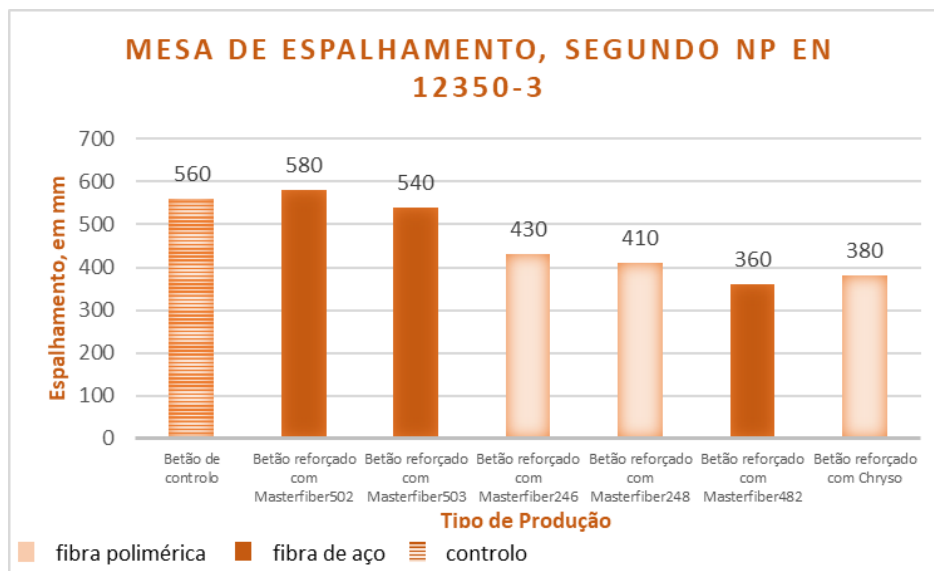


Figura 3.17 – Gráfico relativo a resultados do ensaio da mesa de espalhamento

3.3.3 Síntese

Mediante análise dos respetivos gráficos e tabelas sobre avaliação da consistência do betão e argamassa frescos, é possível observar-se, na generalidade dos casos, a ocorrência da diminuição do valor de espalhamento com a adição de fibras à mistura inicial. Isto é, pode-se verificar um decréscimo do valor medido lateralmente aquando da realização do ensaio face ao betão e argamassa de controlo.

Há que salientar poder ser normal a ocorrência de alguma muito pequena exsudação, o que não diminui a qualidade do betão. No entanto quando esta aparece em excesso é verificado um aumento da relação água/cimento perto da superfície superior, tornando-a menos resistente e com menos durabilidade. Em produção esse cuidado deve ser considerado.

A escolha do tipo de fibra a utilizar está dependente dos propostos futuros a que estará sujeita a estrutura, no entanto um menor índice de consistência por parte do betão fresco, está intimamente ligado com a obtenção de melhores resultados a nível de resistência à compressão, no estado endurecido.

CAPÍTULO 4

ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO E RESPECTIVAS CONCLUSÕES

4.1 VERIFICAÇÃO DA FORMA, DIMENSÕES E OUTROS REQUISITOS EM PROVETES DE BETÃO

Em NP EN 12390-1, de 2012, são especificados parâmetros como forma, dimensões nominais, tolerâncias, dimensões designadas, planeza, linearidade e perpendicularidade para provetes de betão moldados na forma de cubos, cilindros e prismas, assim como os moldes utilizados para os produzir.

É de extrema importância que o definido nesta Norma seja cumprido, já que qualquer alteração ao aqui definido, ou seja, o desrespeito para com as tolerâncias delimitadas pode provocar um mau resultado aquando dos ensaios de resistência devido a questões como por exemplo um apoio instável da carga na face de ensaio (NP EN 12390-1, 2012).



a) Análise das dimensões de um provete cúbico

b) Retificação de uma face de moldagem

Figura 4.1 – Análise das dimensões e retificações necessárias aos provetes

A questão da planeza tem de ser sempre muito bem analisada no caso de provetes cilíndricos, havendo sempre a inerente necessidade de se proceder ao alisamento da sua face de moldagem, a verificar na figura anterior, já que ambas as faces se encontram em contacto com o equipamento de ensaio correspondente.

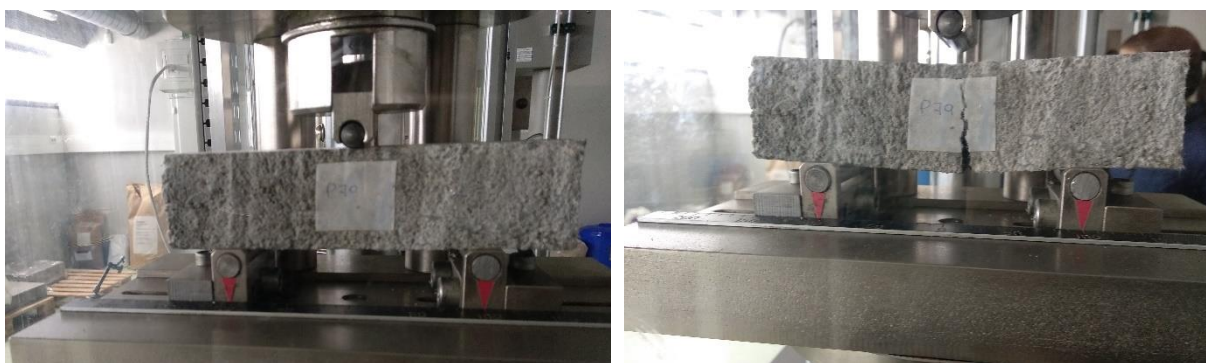
No caso da análise da perpendicularidade, esta também é de extrema importância, uma vez que é garantida a estabilidade do provete durante a aplicação da carga num ensaio de resistência à compressão.

4.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO

4.2.1 Prismas de argamassa

O ensaio é efetuado segundo o definido em EN 1015-11, datada de 1999, no qual a resistência à flexão é determinada a partir de um ensaio de três pontos de carga na argamassa já endurecida, ou seja, num período pós-cura.

Posto isto, os provetes são colocados no equipamento de ensaio previamente programado de modo a cumprir todos os critérios e tolerâncias definidas na presente Norma, ou seja, a aplicação de uma carga de 10 N/s a 50 N/s num período compreendido entre 30 s a 90 s (EN 1015-11, 1999).



a) Colocação de um prisma no equipamento de ensaio

b) Exemplo de rotura por flexão obtida no final do ensaio

Figura 4.2 – Ensaio de resistência à flexão em prismas reforçados com fibras

Como já foi referido no capítulo anterior, a argamassa de controlo 1 foi elaborada com uma Cinza Volante de qualidade distinta, apresentando resultados de resistência com alguma discrepância face às outras produções, optando-se por suprimir os resultados desta neste ponto do relatório.

No gráfico apresentado na Figura 4.3 encontram-se explicitados os valores médios obtidos aquando da realização deste ensaio para as diferentes produções de argamassa elaboradas.

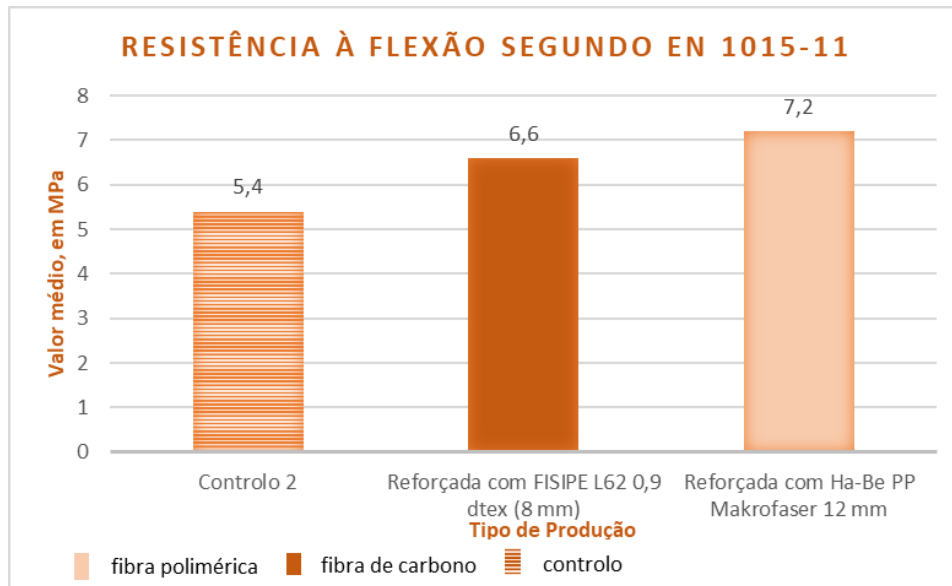


Figura 4.3 – Gráfico relativo aos resultados do ensaio de resistência à flexão

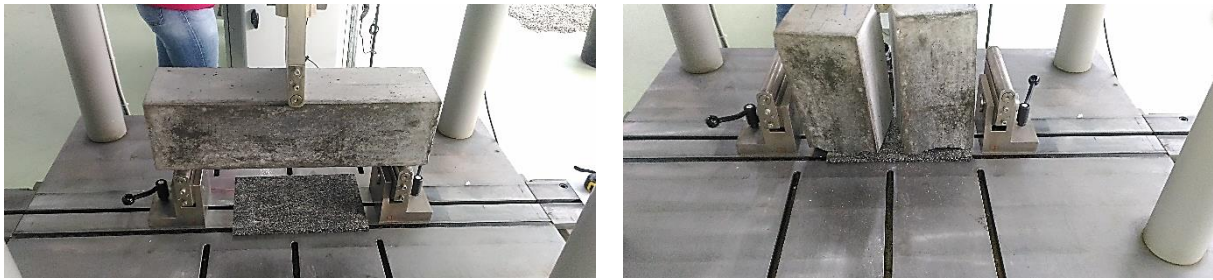
Em suma, pode-se observar que a adição de fibras à mistura inicial contribui para um aumento da resistência inicialmente verificada, indo de acordo ao que já seria esperado.

4.2.2 Prismas de betão

Este ensaio é definido e efetuado segundo a Norma NP EN 12390-5, de 2009, sendo aqui descrita uma metodologia para obtenção da resistência à flexão de provetes de betão endurecido.

Segundo a presente Norma, este ensaio consiste na aplicação de um momento fletor no elemento a analisar através de uma carga com roletes colocada na parte superior e inferior do mesmo, a observar na Figura 4.4. No final é registada a carga máxima aplicada e calculada a resistência do provete prismático à flexão.

Antes da colocação do prisma no equipamento de ensaio, este deve ser limpo retirando-se todo o excesso de humidade do mesmo, de seguida este é colocado de forma centrada com o eixo longitudinal perpendicular ao eixo longitudinal dos provetes. A direção de referência de aplicação da carga deve ser perpendicular à face de moldagem do prisma.



a) Colocação de um prisma no equipamento de ensaio

b) Exemplo de rotura por flexão obtida num prisma de controlo

Figura 4.4 – Ensaio de resistência à flexão em provetes prismáticos de controlo

A carga apenas é aplicada depois de todos os roletes do equipamento estarem em contacto com o provete, devendo a sua velocidade ser constante e compreendida entre 0,04 MPa/s e 0,06 MPa/s. A sua carga inicial deve ser $\leq 20\%$ da carga de rotura do elemento e aumentar a uma taxa constante de $\pm 10\%$ (NP EN 12390-5, 2009).

Neste ensaio, foi utilizado o caso de carga aplicada a meio vão como se pode observar nas figuras acima. Assim, de acordo com o anexo A do elemento normativo em questão, foi utilizado um rolete de aplicação de carga a meio vão com liberdade de rotação e a velocidade de aplicação de carga foi determinada através da fórmula seguinte:

$$R = \frac{2 \times d1 \times d2^2 \times s}{3 \times I} \tag{4.1}$$

Onde:

R – É a velocidade de aplicação da carga em N/s

s – É a velocidade de aplicação da tensão, em MPa/s, neste caso utilizou-se $s = 0,05$ MPa/s

$d1$ e $d2$ – São as dimensões laterais do provete em mm, neste caso 150 mm

I – É o espaçamento entre os roletes inferiores, neste caso específico $I = 450$ mm

Deste modo, obteve-se uma velocidade inicial de aplicação de carga igual a 250 N/s e uma resistência à flexão dada por:

$$f_{cf} = \frac{3 \times F \times I}{2 \times d1 \times d2^2} \tag{4.2}$$

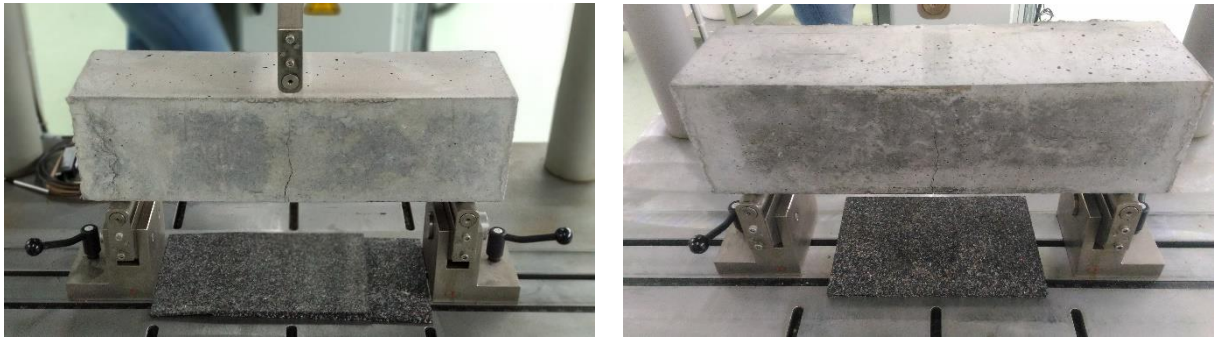
De onde vem:

f_{cf} – É a resistência à flexão, em MPa

F – É a carga máxima aplicada, em N

I – É a distância entre os roletes inferiores de apoio, em mm

$d1$ e $d2$ – São as dimensões laterais do provete, em mm



a) Fissura apresentada para betão reforçado com Masterfiber248 b) Fissura apresentada para betão reforçado com Masterfiber503

Figura 4.5 – Apresentação de alguns prismas reforçados com fibras após ensaio de resistência à flexão

Posto isto, no gráfico da Figura 4.6 encontram-se explicitados, de forma comparativa, os resultados obtidos.

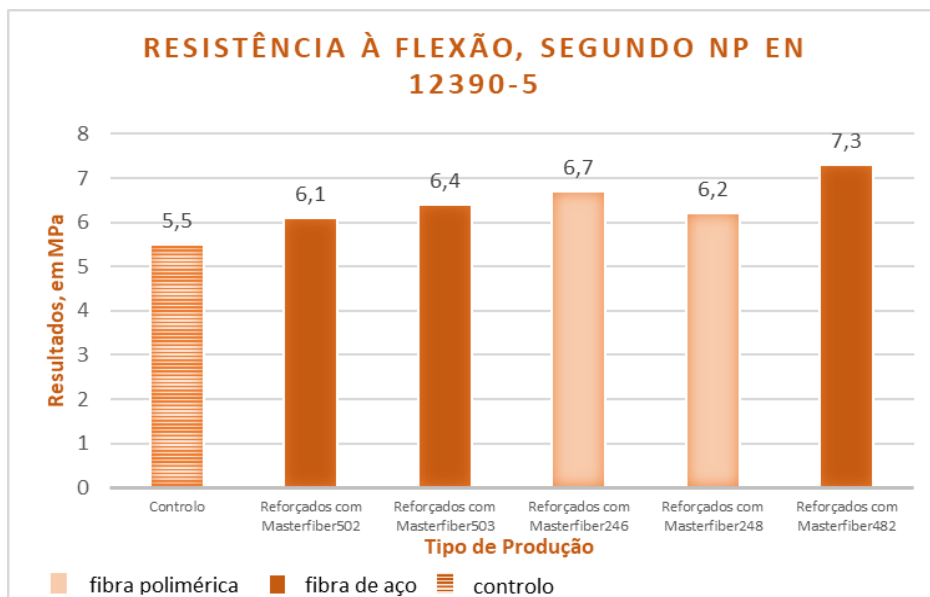


Figura 4.6 – Gráfico relativo aos resultados do ensaio de resistência à flexão

Pela análise do gráfico acima, é possível aferir-se que com a adição de fibras à mistura inicial melhorou a olhos vistos a resistência do mesmo. Isto pode ser justificado pelo facto do betão por si só apenas resistir à compressão, assim ao ser reforçado é possível obterem-se valores superiores de resistência.

4.2.3 Síntese

Segundo a análise das resistências à flexão em betão e argamassas, foi possível observar-se que a adição de fibras à composição inicial possibilitou a alteração a nível de alguns parâmetros, sendo de salientar:

- Na generalidade dos casos, a adição de fibras possibilitou um aumento da tensão resistente em comparação com as produções de controlo;
- O aumento da tensão de rotura das produções reforçadas com fibras pode-se traduzir numa maior resistência à fendilhação e, conseqüentemente, uma durabilidade superior do próprio material, indo de acordo ao já estudado por Barros, em 1996 e como também se poderá verificar mais adiante na análise do ensaio de CMOD.

Pode-se então aferir que, a adição de fibras acarreta melhorias relativamente à resistência à flexão alcançando valores superiores quando reforçada com materiais como polímeros ou até fibras de aço de reduzidas dimensões, como Masterfiber482.

4.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

4.3.1 Prismas de argamassa

A Norma EN 1015-11, de 1999, especifica um procedimento para determinação da resistência à compressão de provetes de argamassa. Esta é determinada utilizando as duas partes provenientes da realização do ensaio anterior, o ensaio de resistência à flexão. Como já foi previamente clarificado, este ensaio traduz-se na aplicação de uma carga que, conseqüentemente, separa o prisma inicial em duas metades, sendo cada uma sujeita ao ensaio de resistência à compressão.

Deste modo, as duas partes de cada prisma foram colocadas no equipamento de ensaio, como se pode observar na Figura 4.7, e sujeitas a uma carga de 50 N/s a 500 N/s, num período definido entre 30 a 90 segundos. É de salientar desde já que a presente Norma refere que os valores obtidos devem ser apresentados com aproximação a uma casa decimal, no entanto de forma a facilitar os cálculos futuros escolheu-se a colocação de duas casas decimais (EN 1015-11, 1999).



a) Colocação no equipamento de ensaio

b) Rotura apresentada no final do ensaio

Figura 4.7 – Ensaio de resistência à compressão em prismas reforçados com fibra polimérica

Deste modo, no gráfico apresentado na Figura 4.8, encontram-se explicitados os valores médios obtidos relativamente a este ensaio para cada tipo de amassadura efetuada.

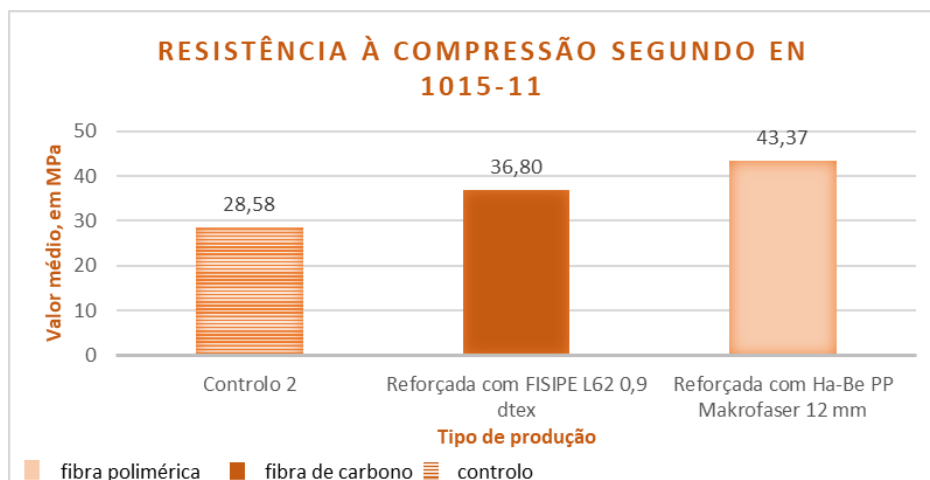


Figura 4.8 – Gráfico relativo a resultados para resistência à compressão

Como se pode verificar através do gráfico acima, os maiores valores de resistência à compressão ocorreram para a produção reforçada com fibra polimérica. Assim, pode-se aferir que com a adição de fibras, nomeadamente a polimérica, foi provocado um aumento considerável do valor da resistência à compressão dos prismas de argamassa.

De acordo com alguns autores, a adição de fibras à mistura inicial pode alterar o comportamento do betão quando sujeito a este ensaio de resistência à compressão, possibilitando uma melhoria do seu comportamento na medida em que os valores atingidos são mais elevados.

Uma vez que o valor mais alto de resistência foi obtido para a produção reforçada com fibra polimérica, é possível garantir-se que com a adição de uma dosagem correta deste material, é exequível a garantia de resultados favoráveis relativamente a este tipo de ensaio.

4.3.2 Provetes de betão

No elemento Normativo NP EN 12390-3, de 2011, é especificado um método para determinação da resistência à compressão de provetes de betão endurecido, sendo permitido o estudo e análise a provetes cúbicos, cilíndricos e a carotes. Como é expectável, apenas serão abordados os dois primeiros tipos.

Após análise das suas dimensões, dois cubos com $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}^3$, um cilindro de dimensões (diâmetro x altura) $150 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ e um cilindro redimensionado de $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ de cada uma das produções previamente anunciadas foram ensaiados relativamente à sua resistência à compressão de acordo com o definido na presente Norma. Esta afere que o provete deve ser colocado no

equipamento de modo a que a carga seja aplicada perpendicularmente à face de moldagem, nomeadamente no centro do provete.

Assim, de uma forma simples, o princípio deste ensaio pode ser descrito afirmando que os provetes são ensaiados numa máquina de ensaio de compressão em conformidade com os elementos Normativos em vigor até à rotura, como se pode observar nas Figuras 4.9 e 4.10. No final, é registado o valor da carga máxima suportada e calculado o valor da resistência à compressão do betão.

É de salientar que antes da colocação de qualquer provete no equipamento de ensaio, este deve ser limpo de qualquer resíduo ou material estranho à sua superfície, assim como também deve ser enxugado qualquer excesso de humidade existente nas suas paredes que estarão em contacto com os pratos da máquina de ensaio. Durante o período de ocorrência do ensaio em questão, a velocidade de aplicação da carga deve ser constante a uma taxa de $(0,6 \pm 0,2)$ MPa/s ou N/mm²s, a carga inicial aplicada deve ser menor ou igual a 30% da carga de rotura, aumentando gradualmente a uma taxa de $\pm 10\%$ (NP EN 12390-3, 2011).

A resistência à compressão do provete é dada por:

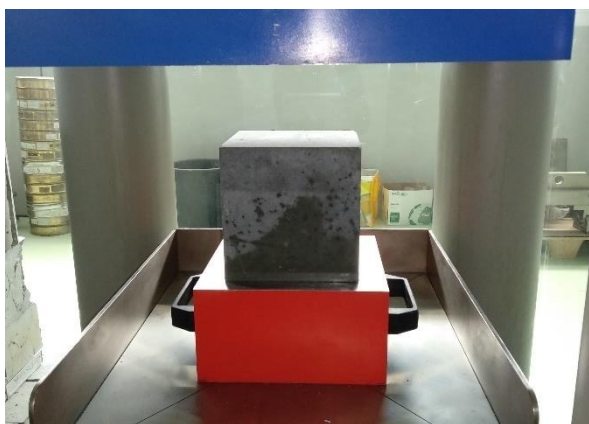
$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (4.3)$$

Onde:

f_c – É a resistência à compressão em MPa

F – É a carga máxima à rotura em N

A_c – É a área da secção transversal do provete onde foi aplicada a carga, em mm²

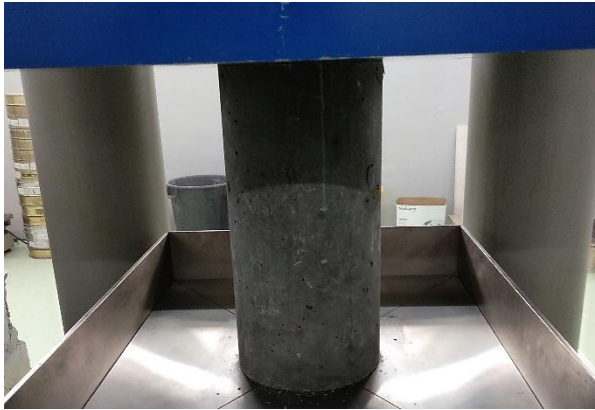


a) Colocação de um cubo no equipamento de ensaio

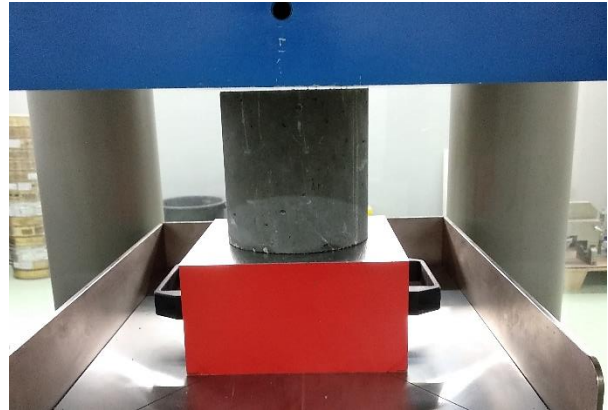


b) Rotura apresentada após ensaio de resistência à compressão

Figura 4.9 – Realização de ensaio de resistência à compressão a cubos



a) Ensaio de resistência à compressão a um cilindro de dimensões 150mm x 300mm



b) Ensaio de resistência à compressão a um cilindro de dimensões 150mm x 150mm

Figura 4.10 – Diferentes tipos de ensaio de resistência à compressão em cilindros

A Norma NP EN 12390-3, datada de 2011, responsável por regulamentar este ensaio, refere também o tipo de rotura que cada provete deve apresentar de modo a que esta seja considerada satisfatória, podendo-se contemplar dois exemplos na Figura 4.11. Ora, é de salientar que sendo apresentado um tipo de rotura distinto, como ocorre quando os provetes não se encontram de acordo com o regulado por NP EN 12390-1, de 2012, o ensaio não é considerado válido.



a) Rotura satisfatória de um provete cúbico



b) Rotura satisfatória de um provete cilíndrico

Figura 4.11 – Rotura satisfatória de provetes após ensaio de resistência à compressão

Assim, nos gráficos representados nas Figuras 4.12, 4.13 e 4.14, encontram-se os valores médios obtidos para cada conjunto de provetes analisado relativamente à sua resistência à compressão. É de salientar que apesar da Norma referir que os valores obtidos devem ser apresentados com aproximação a uma casa decimal, por forma a facilitar cálculos futuros optou-se pela colocação de duas casas decimais no caso dos cubos e dos cilindros de maiores dimensões.

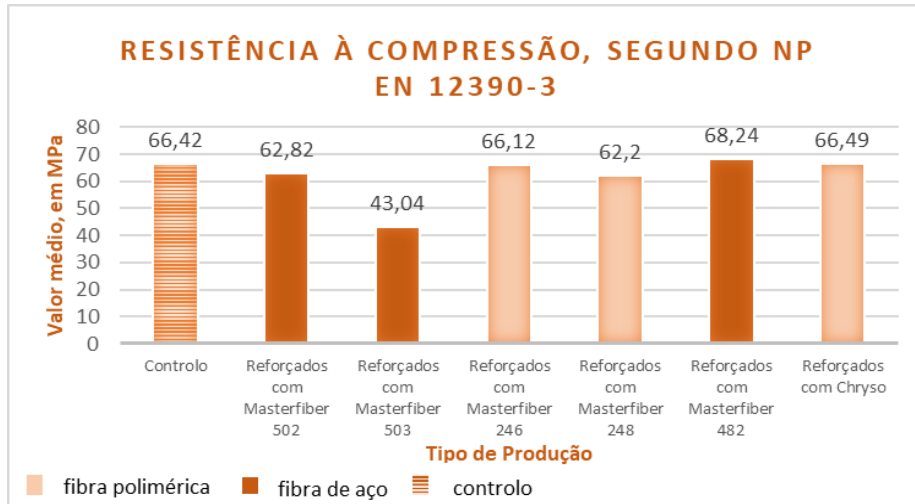


Figura 4.12 – Resultados obtidos para resistência à compressão, em cubos

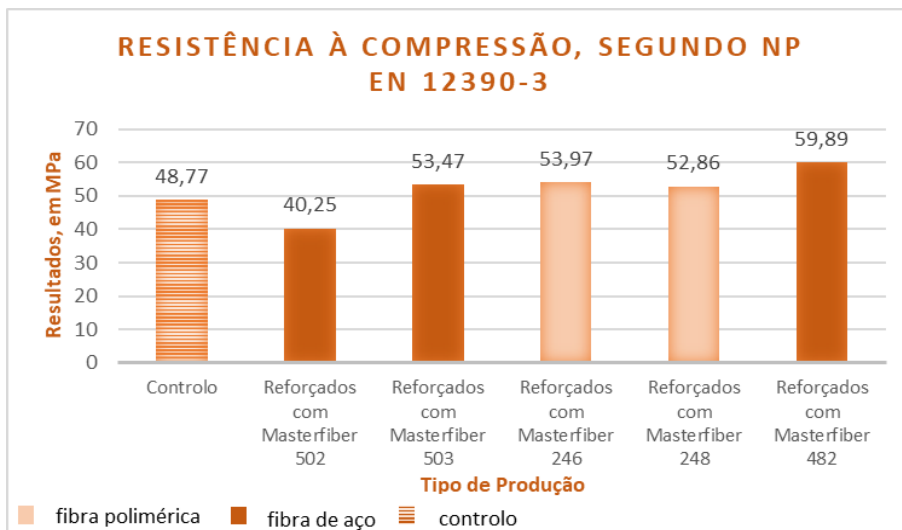


Figura 4.13 – Ensaio de resistência à compressão, em cilindros 150 mm x 300 mm

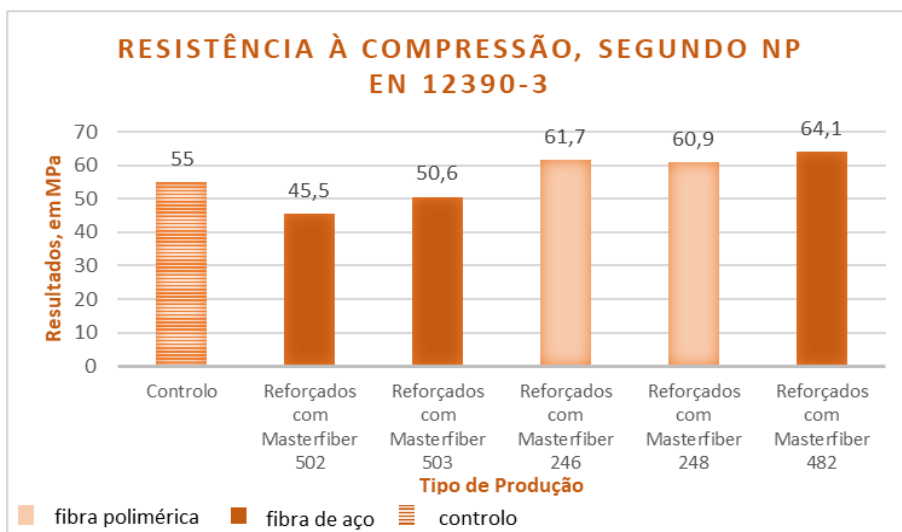


Figura 4.14 – Ensaio de resistência à compressão, em cilindros 150 mm x 150 mm

Como se pode verificar através dos gráficos acima, os maiores valores de resistência à compressão ocorreram para a produção reforçada com fibra de aço Masterfiber482, podendo-se de qualquer forma aferir que com a adição de fibras foi provocado um aumento considerável do valor da resistência à compressão dos diferentes provetes de betão.

Uma vez que o valor mais alto de resistência foi obtido para a produção reforçada com a fibra de aço que apresenta uma maior massa volúmica e uma menor dimensão comparativamente a todas as outras utilizadas, é possível garantir-se que com a adição de uma dosagem correta deste material, é exequível a garantia de resultados favoráveis relativamente a este tipo de ensaio.

É possível aferir-se que os valores de resistência para cilindros redimensionados são superiores aos obtidos pelos 150 mm x 300 mm em todas as produções aproximando-se bastante dos resultados registados para os cubos previamente analisados, provavelmente derivado a possuírem as mesmas dimensões.

No entanto, é de salientar que se utilizou uma Cinza Volante proveniente de um produtor distinto na elaboração do betão reforçado com a fibra Masterfiber503 o que pode justificar a diferença de valores de resistência obtidos.

4.3.3 Síntese

Com a adição de fibras à formulação inicial, foi possível obter resultados superiores quanto à tensão de rotura, para prismas de argamassa e provetes cilíndricos de betão. Isto é, revelam-se valores superiores a nível da tensão exercida causadora da rotura, no entanto estes não são tão significativos como os ocorridos para outros tipos de ensaios de avaliação da resistência mecânica.

De um modo geral, apesar de não se observarem diferenças significativas quanto ao aumento do valor resistente, a estrutura não apresenta deformações de grandes dimensões, expondo maioritariamente fissuras ao invés de uma rotura total.

Assim, confirma-se que a adição de fibras poliméricas a uma mistura não acarreta variações consideráveis a nível da resistência à compressão e que a utilização de fibras de carbono origina diminuições do próprio valor resistente, indo de acordo ao já estudado por outros autores, como Mateus em 2013.

4.4 ENSAIO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE SECANTE

No betão, o módulo de elasticidade é um fator extremamente importante para a avaliação da sua capacidade de deformação quando aplicável a edifícios e estruturas. Assim, a sua determinação exata revela-se crucial para um controlo da deformabilidade (Gul, et al., 2014).

O mesmo autor afirma que o módulo secante de elasticidade tende a diminuir com um aumento da carga, sendo que esse mesmo valor máximo, ou tensão nominal superior, deve ser sempre definido de acordo com os parâmetros da Tabela 4.1.

A obtenção do módulo de elasticidade secante é especificada em NP EN 12390-13, de 2014. De uma forma resumida é possível obterem-se dois tipos de módulo de elasticidade, através da utilização de dois métodos distintos: o método A e o método B.

O método A, permite a obtenção dos dois módulos de elasticidade, o inicial denominado por $E_{c,0}$ e de estabilização, $E_{c,s}$, através da aplicação de três ciclos de pré-carga e três ciclos de carga, já o método B torna-se mais rápido, uma vez que consiste em apenas três ciclos de carga, no entanto permite unicamente a obtenção do módulo de estabilização.

O valor obtido aquando da realização do ensaio de resistência à compressão é de elevada importância, uma vez que possibilita a determinação de parâmetros extremamente necessários ao bom procedimento deste ensaio mediante todos os critérios definidos na presente Norma. Estes parâmetros, σ_a , σ_b e σ_p , encontram-se explicitados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Parâmetros necessários ao ensaio (Fonte: adaptado de NP EN 12390-13, 2014)

Parâmetro	Designação
f_c	Resistência à compressão dos provetes
σ_a	Tensão nominal superior = $\frac{f_c}{3}$
σ_b	Tensão nominal inferior: valor entre 10% a 15% de f_c , a considerar $\frac{f_c}{9}$
σ_p	Tensão nominal de pré-carga: valor entre 0,5 MPa e σ_b , a considerar 1
L_0	Base do extensómetro, variável para prismas de argamassa, cubos e cilindros, podendo assumir 110 mm, 120 mm ou 220 mm respetivamente

Em NP EN 12390-13, de 2014, encontra-se explícito que este ensaio apenas deve ser efetuado para provetes que apresentem a relação $2 \leq L/d \leq 4$, pelo que os cubos estariam excluídos, já que a sua relação L/d é igual a 1. No entanto optou-se por fazer um pequeno desvio à Norma e analisar os resultados para cubos, cilindros e prismas de argamassa.

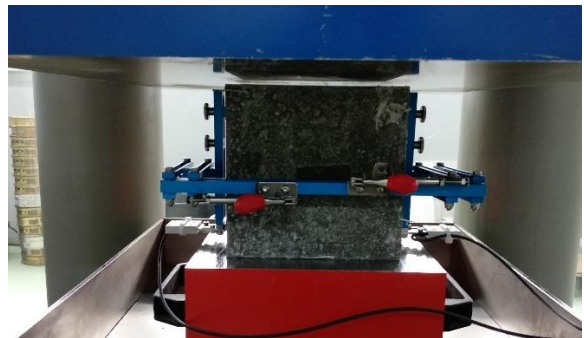
4.4.1 Aplicação do Método A

Segundo a Norma em estudo, são efetuadas duas verificações distintas no decorrer do ensaio segundo o método A: a primeira é de estabilidade entre o segundo e o terceiro ciclos de pré-carga e a segunda verificação dá-se no final do terceiro ciclo de pré-carga. É de extrema importância aferir que os valores se apresentam dentro dos intervalos referidos, caso contrário há que reposicionar o provete e reiniciar o ensaio. Se mesmo assim as variações entre os diferentes ε_b (medições ao longo de cada uma das linhas aquando da aplicação da menor carga σ_p) continuarem a ser superiores a 10%, no caso da primeira verificação, e 20% no caso da segunda, o ensaio deixa de ser válido (NP EN 12390-13, 2014).

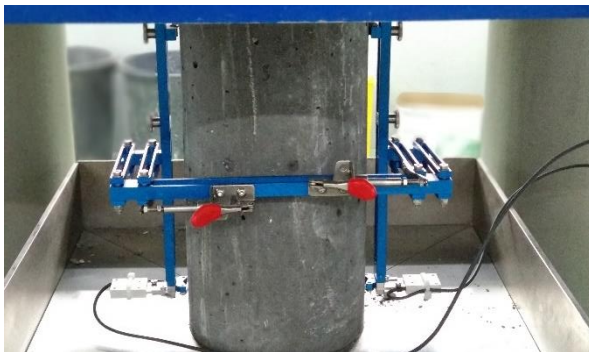
Na Figura 4.15 são apresentados um gráfico-tipo para esta metodologia, assim como a colocação do sistema em cada tipo de provete.



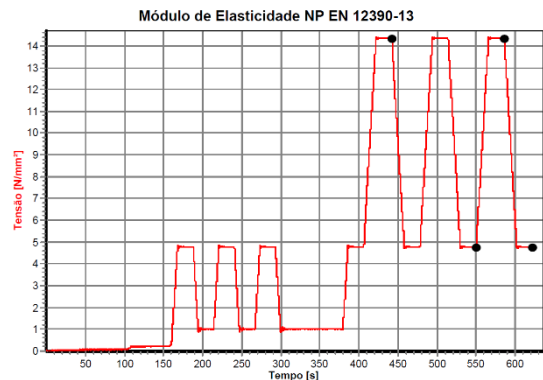
a) Ensaio do módulo de elasticidade a prisma de argamassa



b) Ensaio do módulo de elasticidade a um cubo de betão



c) Ensaio do módulo de elasticidade a um cilindro de betão



d) Gráfico tipo fornecido pelo equipamento de ensaio

Figura 4.15 – Aplicação do método A do ensaio do módulo de elasticidade secante

Mediante o disposto na presente Norma, para esta metodologia aquando dos ciclos de pré-carga apenas são utilizados os parâmetros σ_b e σ_p , já nos ciclos de carga recorre-se a σ_b e σ_a . Para ambos os casos, a carga inicialmente aplicada deve aumentar a uma taxa de $0,6 \pm 0,2$ MPa/s até σ_b , devendo este ser mantido a $\pm 5\%$ do seu valor nominal num período não excedente a 20 segundos.

Posto isto, nos gráficos das Figuras 4.16, 4.17 e 4.18 apresentam-se os resultados obtidos para a realização deste ensaio, de acordo com o método A para todas as produções de argamassa e betão elaboradas.

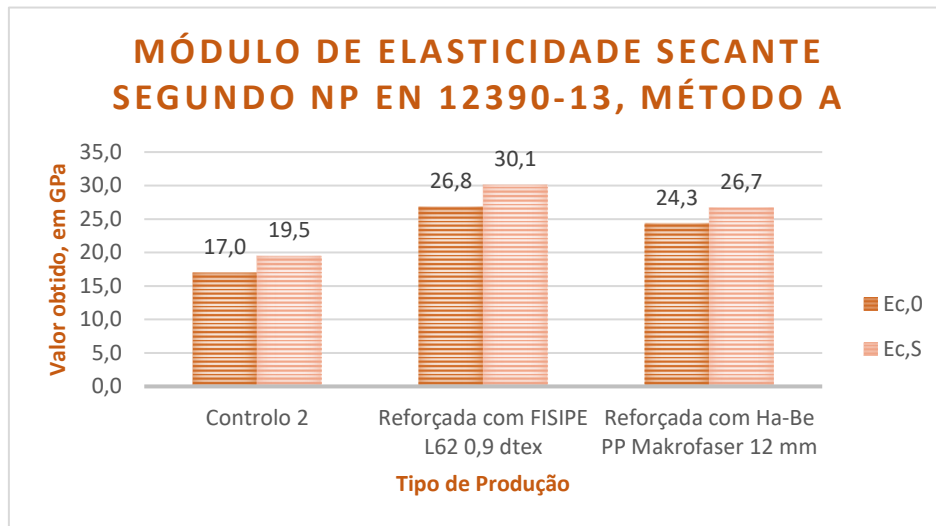


Figura 4.16 – Ensaio do módulo de elasticidade, em argamassas

Através da análise do gráfico anterior, é possível aferir-se que os valores mais elevados para o módulo inicial e para o de estabilização ocorreram para a produção reforçada com fibra de poliacrilonitrilo.

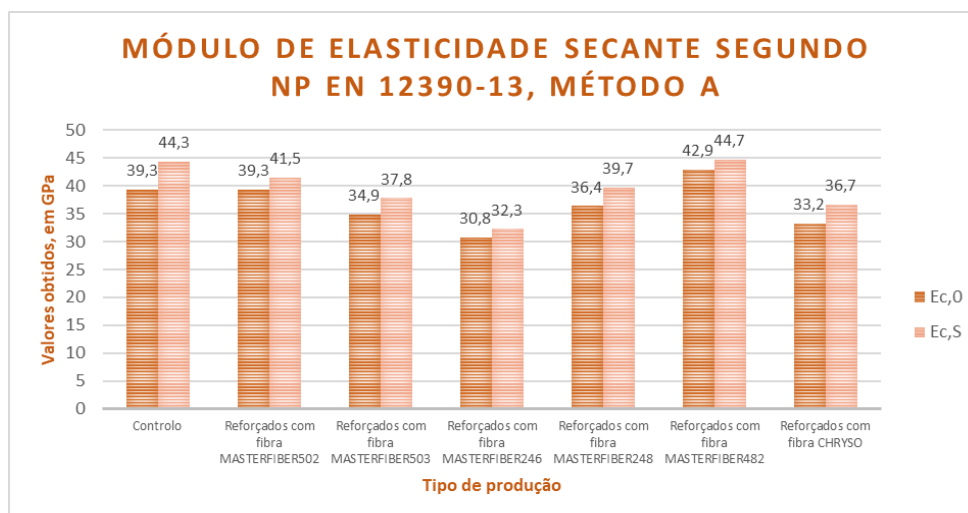


Figura 4.17 – Gráfico relativo ao ensaio do módulo de elasticidade, em cubos

Pela análise do gráfico acima apresentado, é possível aferir-se que os valores mais elevados quer para o módulo inicial quer para o de estabilização correspondem à produção de betão reforçado com fibra de aço Masterfiber482.

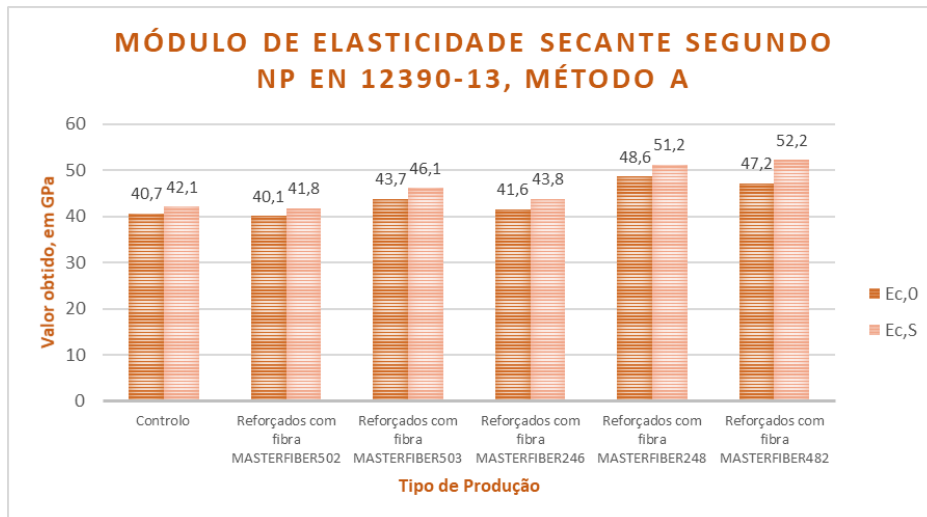


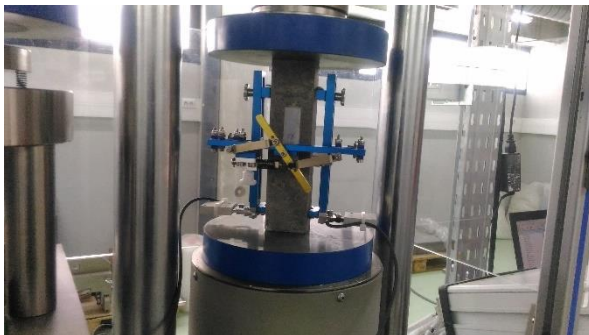
Figura 4.18 – Gráfico relativo ao ensaio do módulo de elasticidade, em cilindros

Neste gráfico é possível observar-se novamente, a existência de valores superiores relativamente a este ensaio para a produção reforçada com fibra de aço Masterfiber482, à semelhança do que ocorreu para os cubos.

4.4.2 Aplicação do Método B

Relativamente à aplicação do método B, a Norma NP EN 12390-13, de 2014 refere que para este não existem aplicações de pré-carga, mas apenas de três ciclos de carga. Assim, e contrariamente ao método A, com esta metodologia é apenas possível obter o módulo secante de estabilização tornando-se assim um ensaio mais curto relativamente ao tempo utilizado.

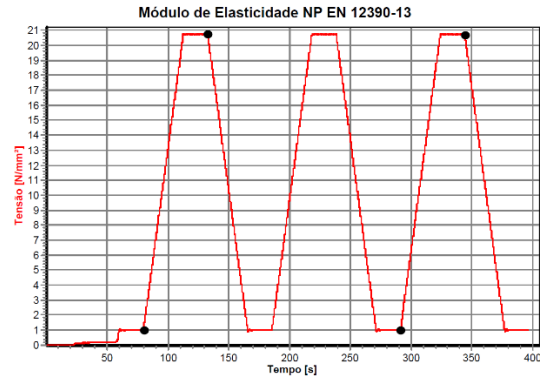
Apesar de menos demorada, esta metodologia também obriga ao cumprimento de duas verificações por forma a explicitar toda a veracidade deste ensaio: na primeira ε_a não deve diferir mais de 20% de $\varepsilon_{a,1}$, caso tal ocorra é necessário recentrar o provete e tentar reduzir este valor. Relativamente à segunda verificação, esta diz respeito a todos os ciclos existentes e afere que a variação de ε_a entre eles não deve ser superior a 10%.



a) Ensaio do módulo de elasticidade a prisma de argamassa



b) Ensaio do módulo de elasticidade a um cubo de betão



c) Ensaio do módulo de elasticidade a um cilindro de betão

d) Gráfico tipo fornecido pelo equipamento de ensaio

Figura 4.19 – Aplicação do método B do ensaio do módulo de elasticidade secante

Segundo o referido na presente Norma, para este método apenas se utilizam os parâmetros σ_a e σ_p , sendo que σ_p deve ser aplicado e mantido num período não excedente a 20 segundos. A salientar que no final do ensaio, os instrumentos de medição devem ser zerados de forma a dar continuidade aos dois ciclos seguintes.

Nas Figuras 4.20, 4.21 e 4.22, são apresentados os resultados obtidos para o módulo secante de estabilização, sob a forma de gráficos comparativos, para as diferentes produções efetuadas em argamassas, cubos e cilindros, respetivamente.

Relativamente aos provetes de argamassa, deve-se referir que o valor mais elevado ocorreu para a primeira produção de controlo, no entanto, uma vez que foi elaborada com recurso a uma cinza volante de um produtor diferente, esta não deve ser considerada. É notório um aumento do valor registado para o módulo de elasticidade secante nas produções de argamassa reforçadas com fibras comparativamente à de controlo.

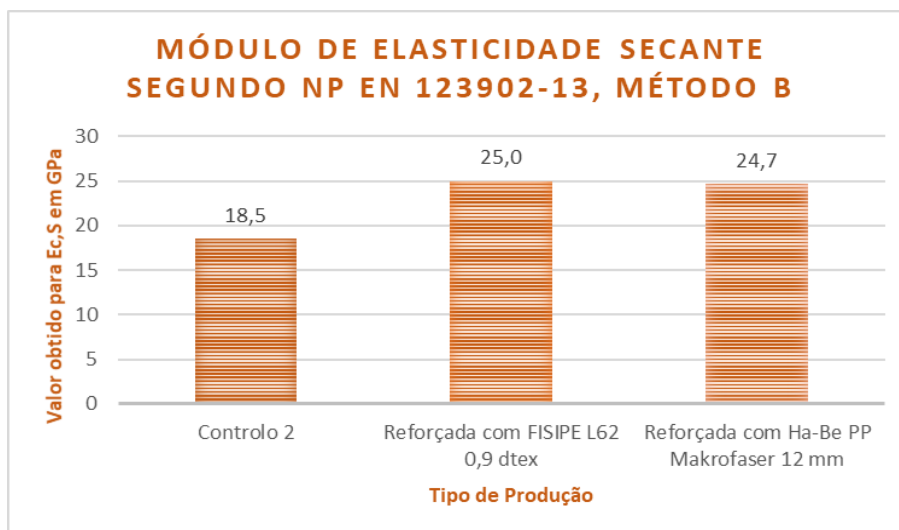


Figura 4.20 – Gráfico do módulo de elasticidade secante, em argamassas

No caso do betão, representado nas Figuras 4.21 e 4.22, é possível aferir-se que os valores mais elevados para o módulo de estabilização correspondem às produções de betão reforçado com fibras de aço Masterfiber502, no caso dos cubos, e produções reforçadas com fibra polimérica Masterfiber248, no caso dos cilindros pelo que não é possível estabelecer qualquer tipo de relação quanto à melhor fibra a utilizar para este ensaio.

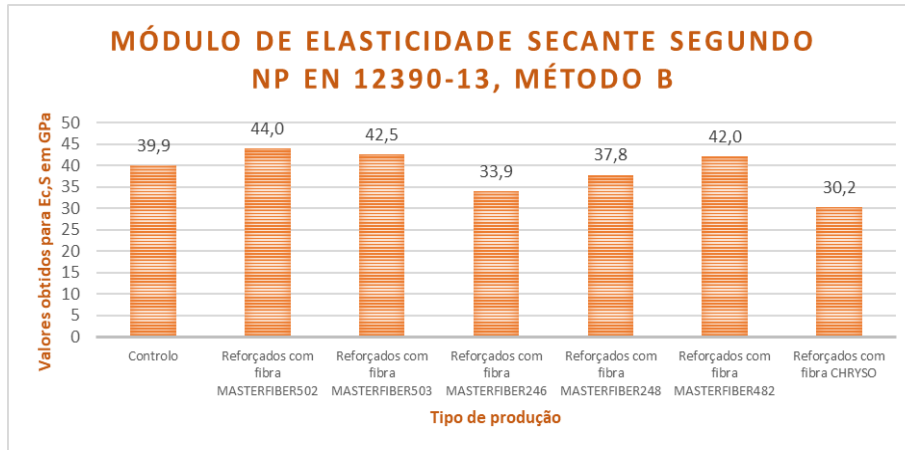


Figura 4.21 – Gráfico relativo ao ensaio do módulo de elasticidade, em cubos

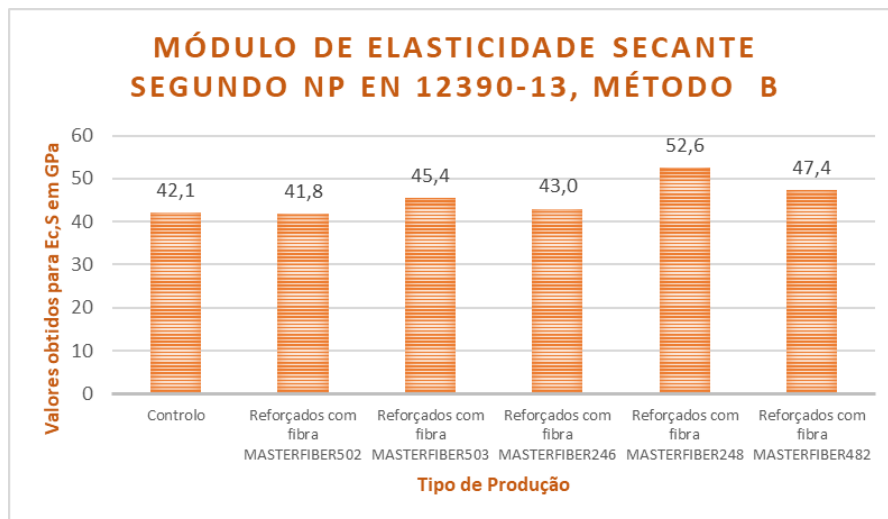


Figura 4.22 – Gráfico relativo ao ensaio do módulo de elasticidade, em cilindros

4.4.3 Síntese

Relativamente aos resultados observados, para o método A os maiores valores quer para o módulo inicial, quer para o módulo de estabilização, são obtidos em produções reforçadas com fibras de poliácilonitrilo e de aço. Quanto ao método B verifica-se a mesma relação para argamassas, no entanto, para provetes cilíndricos, o maior valor corresponde a uma produção reforçada com fibra polimérica.

Esta desigualdade pode ser traduzida pela diferença de comprimento existente entre as diferentes fibras, já que as mais curtas podem romper, criando microfissuras em torno do pico de tensão e consequentemente proporcionar um menor efeito quando comparado a fibras de maiores dimensões. Além disso, individualidades como Gul, *et al.*, em 2014, estudaram que um aumento do volume da fibra e seu posicionamento pode promover um aumento do valor do módulo de elasticidade e consequentemente uma menor capacidade de deformação.

Este estudo é efetuado ainda em regime elástico, analisando-se as micro deformações ocorridas no provete, sem que este seja destruído. É também importante considerar que o próprio módulo de elasticidade de cada uma das fibras utilizadas possa também influenciar o resultado final.

Pode-se concluir que a adição de fibras à mistura inicial promoveu a obtenção de um valor superior relativamente a este parâmetro. Isto pode traduzir-se referindo que os provetes apresentam uma durabilidade superior, já que um valor superior de módulo de elasticidade implica uma maior tensão exercida para a obtenção de um mesmo grau de deformação.

Confirmam-se também dados já estudados por outras individualidades, como Júnior, *et al.*, em 2017, onde se refere que o reforço do betão ou argamassa com fibras poliméricas não acarreta variações significativas quanto à análise do módulo de elasticidade, verificando-se a ocorrência de maiores alterações para as produções reforçadas com fibra de aço (Júnior, *et al.*, 2017).

4.5 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

A Norma NP EN 12390-6, de 2011, refere um procedimento de ensaio necessário a cumprir por forma a avaliar a resistência à tração por compressão de provetes de betão.

Assim, um provete cúbico ou cilíndrico é submetido a uma força de compressão aplicada numa zona estreita ao longo do seu comprimento, deste modo, as tensões de tração resultantes provocam a rotura do provete no plano de carga.



Figura 4.23 – Marcação da zona do plano de carga

De acordo com a mesma Norma, a carga deve ser aplicada perpendicularmente à superfície de enchimento, como é possível observar na Figura 4.23 já apresentada, além disso o provete deve ser colocado de forma centrada no equipamento de ensaio da mesma forma que os pratos devem estar paralelos. A velocidade de aplicação da carga deve ser constante e entre 0,04 MPa/s e 0,06 MPa/s, sendo a carga inicial $\leq 20\%$ da carga de rotura, aumentando de forma continua a uma taxa de $\pm 10\%$ (NP EN 12390-6, 2011).

A velocidade de aplicação da carga é dada por:

$$R = \frac{s \times \pi \times L \times d}{2} \quad (4.4)$$

Onde:

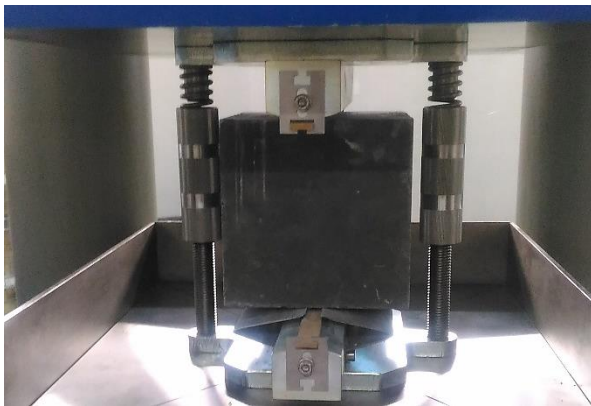
R – É a velocidade de aplicação da carga selecionada em N/s

s – É a velocidade de aplicação da tensão em MPa/s

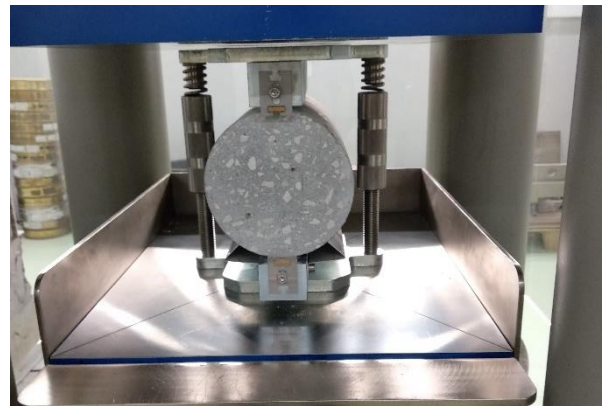
L – É o comprimento do provete em mm

d – É a dimensão vertical da dimensão vertical da secção transversal do provete em mm

No caso de um provete cúbico de dimensões 150 x 150 x 150 mm³, a velocidade de aplicação de carga é igual a 1767,15 N/s, enquanto num provete cilíndrico 150 mm x 300 mm esta passa a ser distinta assumindo um valor igual a 3534 N/s. Na Figura 4.24 pode-se observar a colocação de provetes distintos no equipamento de ensaio.



a) Colocação de um provete cúbico no equipamento de ensaio



b) Colocação de um provete cilíndrico no equipamento de ensaio

Figura 4.24 – Ensaio de resistência à tração por compressão

No final do ensaio é possível calcular-se a resistência à tração por compressão a partir da expressão:

$$f_{ct} = \frac{2 \times F}{L \times \pi \times d} \quad (4.5)$$

CAPÍTULO 4

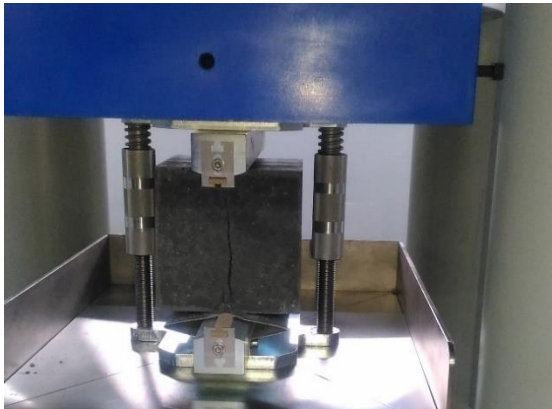
De onde:

f_{ct} – É a resistência à tração por compressão em MPa

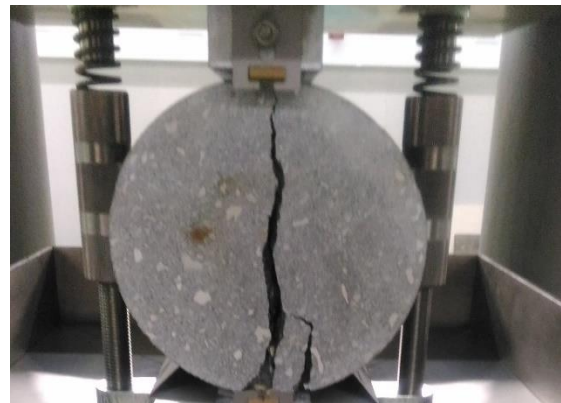
F – É a carga máxima em N

L – É o comprimento da linha de contacto do provete em mm

d – É a dimensão vertical da secção transversal do provete em mm



a) Pormenor da rotura num cubo reforçado com fibras



b) Pormenor da rotura de um cilindro de controlo

Figura 4.25 – Exemplos de algumas roturas no ensaio de tração por compressão

Nos gráficos das Figuras 4.26 e 4.27, encontram-se explicitados os valores atingidos aquando da realização destes ensaios.

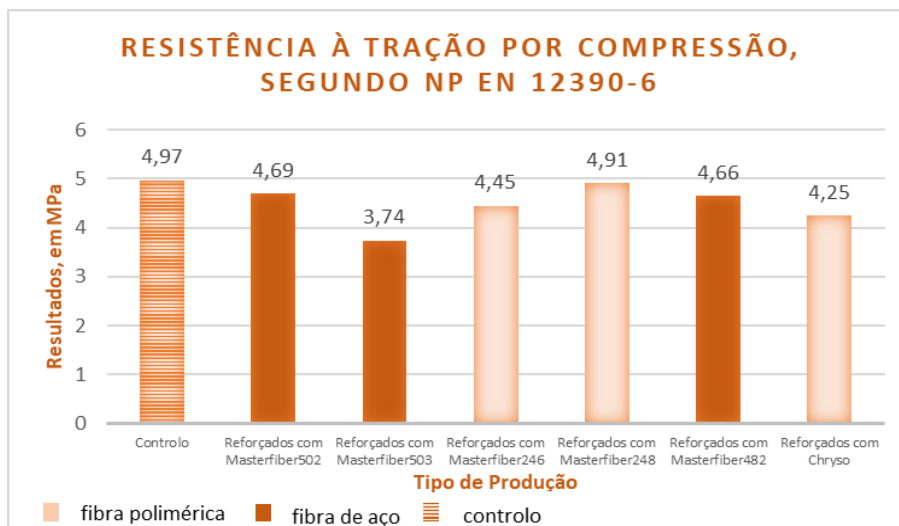


Figura 4.26 – Gráfico relativo ao ensaio de tração por compressão, em cubos

Pela análise do gráfico acima é possível observar-se que a adição de fibras não teve influência positiva no valor obtido, pelo contrário tendeu a diminuir, mas não de forma muito significativa.

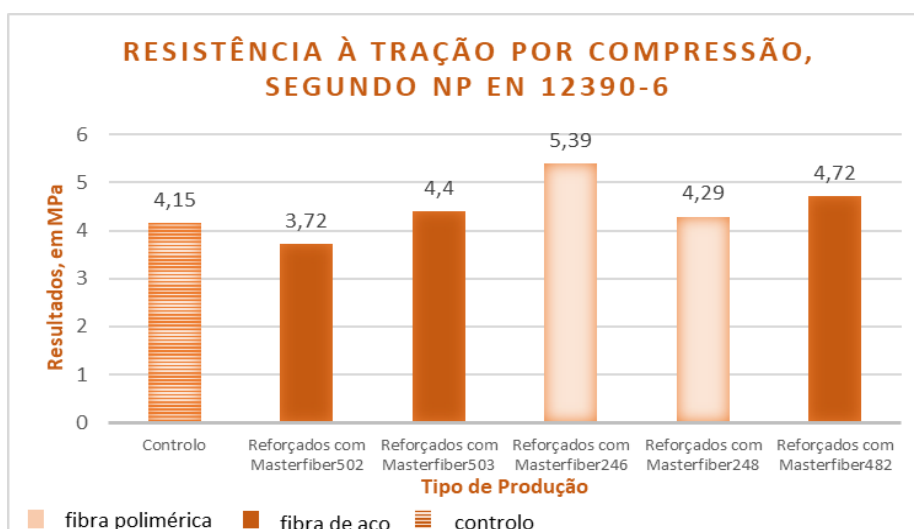


Figura 4.27 – Gráfico relativo ao ensaio de tração por compressão, em cilindros

Contrariamente ao observado no gráfico anterior, aqui a adição de fibras providencia uma melhoria significativa ao nível do valor obtido quanto à resistência à tração por compressão. Salienta-se desde já que o decréscimo verificado para a produção com fibra Masterfiber502 pode ser derivado de uma alteração na Cinza Volante utilizada, como já foi previamente referido.

4.5.1 Síntese

Através da análise dos pontos anteriormente referidos, é possível aferir-se que para provetes distintos são alcançados diferentes valores. Ou seja, no caso de provetes cúbicos, as alterações a nível da resistência não são significativas estando até dentro da mesma ordem de grandeza, no entanto no caso dos que são reforçados com fibras não se verifica a rotura total do cubo, apenas é visualizada uma fissura na qual não ocorre desagregação da estrutura em si, o que se traduz como um ponto positivo.

Já no caso dos provetes cilíndricos, verificam-se ambos os pontos benéficos, isto é, não ocorre a rotura total e o valor resistente a que o cilindro resiste torna-se superior. Este último ponto pode ser explicado devido às fórmulas de cálculo utilizadas, uma vez que estas fazem referência às dimensões dos próprios provetes.

Segundo o estudo efetuado quanto ao comportamento dos provetes quando sujeitos a este tipo de ensaio, foi possível observar-se que o aumento significativo do valor resistente ocorreu para provetes cilíndricos, nomeadamente em produções reforçadas com fibra polimérica, particularmente poliolefina.

Assim, mais uma vez é possível a harmonização com conclusões retiradas por parte de estudos anteriores, como o de Rodrigues, *et al.*, em 2008, no qual se afirma que a adição de fibras poliméricas ao betão impede o destacamento violento de partes deste quando sujeito a situação de incêndio, capacidade que é avaliada aquando do estudo do comportamento da estrutura à tração.

É possível também criar uma relação com o ensaio de resistência à compressão, uma vez que se verifica que a adição de fibras de aço promove um melhor comportamento relativamente à compressão, enquanto a adição de fibras poliméricas possibilita um melhor comportamento à tração.

4.6 ENSAIO DE CMOD – CRACK MOUTH OPEN DISPLACEMENT

Num betão reforçado com fibras, características como a sua ductilidade podem ser representadas através de uma resistência obtida a partir de ensaios experimentais, como o caso de CMOD – Crack Mouth Open Displacement. Esta tenacidade pode ser determinada por meio de vários métodos, muitos deles já abordados previamente como resistência à compressão, flexão, entre outros que possam representar a resposta do provete pós-fendilhação. No entanto a avaliação da ductilidade do betão depende de parâmetros como o tamanho e geometria da amostra utilizada, critérios de análise e do próprio equipamento experimental utilizado (Gopalaratnam, et al., 1995).

Como resposta à resolução deste tipo de questões, na Norma EN 14651, de 2005, é descrito um método para determinação do limite de proporcionalidade e valores de resistência residual à flexão em provetes prismáticos reforçados com fibras metálicas de dimensão não superior a 60 mm, sendo que o valor de CMOD, ou abertura da fissura, se caracteriza pelo deslocamento linear medido por um transdutor localizado no prisma de forma subjacente a uma carga centrada.

Ora, apesar da Norma em causa referir a aplicação deste ensaio apenas para fibras metálicas achou-se por bem estudar mais aprofundadamente o comportamento do provete, mesmo quando este é reforçado com fibras poliméricas relativamente à resistência residual à flexão segundo indicam NP EN 14889-1, de 2008 e NP EN 14889-2, de 2008, elementos Normativos responsáveis por definir e especificar as fibras a utilizar no betão, nomeadamente fibras de aço e fibras poliméricas.

Para correta realização do ensaio, deve ser aberto um entalhe na face perpendicular à de enchimento recorrendo a serragem húmida. Este entalhe deve ser marcado a $\frac{L}{2}$, perpendicularmente a essa mesma face, ou seja, uma vez que esta tem 550 mm o entalhe será marcado a 275 mm, prolongando-se essa mesma linha 25 mm para cada um dos lados.

Assim, ocorre a necessidade da realização de algumas alterações nos prismas, nomeadamente a execução de um entalhe e colocação de um transdutor ao longo do eixo longitudinal, a observar abaixo na Figura 4.28, por forma a ser possível a medição do deslocamento e conseqüentemente o respetivo valor de CMOD (EN 14651, 2005).



a) Pormenor da realização do entalhe



b) Pormenor da aplicação do transdutor

Figura 4.28 – Alterações necessárias aos prismas para realização do ensaio de CMOD

De seguida, os prismas são colocados no equipamento de ensaio, distanciando previamente os roletes a 500 mm. Durante o processo de ensaio, o valor de CMOD deve aumentar a uma taxa constante de 0,05 mm/min, no entanto quando este atinge um valor igual a 0,1 mm, a taxa aumenta para 0,2 mm/min. O teste termina no momento em que CMOD atinge um valor não inferior a 4 mm.



a) Colocação de prisma no equipamento



b) Exemplo de fissura obtida no final do ensaio

Figura 4.29 – Realização do ensaio de CMOD a prismas com fibras

No gráfico da Figura 4.30, encontram-se os valores máximos de força exercidos para este ensaio após respetivas verificações em consonância com o definido na Norma em estudo.

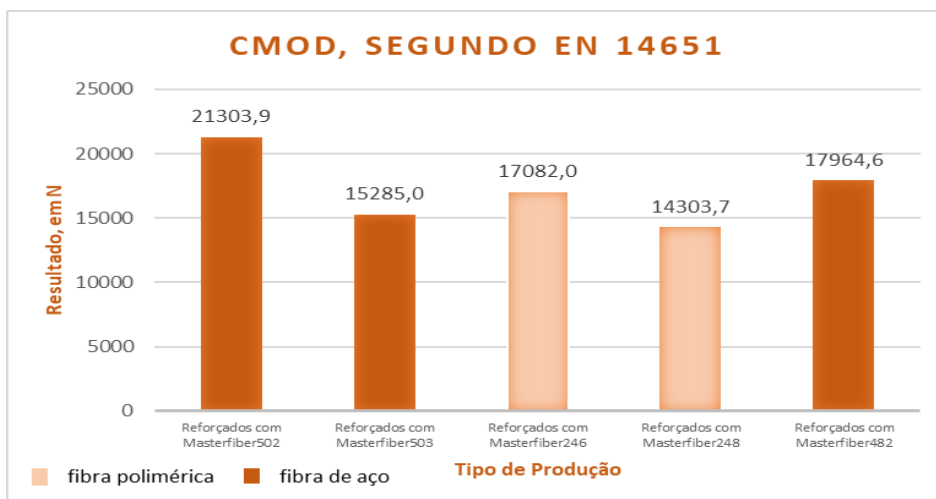


Figura 4.30 – Gráfico do ensaio de CMOD em prismas reforçados com fibras

Através da análise do presente gráfico pode-se aferir que a maior força exercida, para uma abertura superior a 4 mm, ocorreu para uma produção reforçada com fibras de aço Masterfiber502. É possível então verificar-se, na generalidade dos casos, que em produções reforçadas com fibras de aço se atingem maiores valores de força aplicada para uma mesma abertura de fenda.

Como já foi referido, é um ensaio realizado com o intuito de avaliar o limite de proporcionalidade, ou seja, o ponto a partir do qual a relação observada entre a força e a flecha deixa de ser linear, assim como os seus valores de resistência residual à flexão.

De uma forma geral, a força exercida relaciona-se intimamente com a capacidade de absorção de energia do betão durante o período em que as fibras sofrem rotura. Assim, é possível afirmar-se que as fibras de aço Masterfiber502 e Masterfiber482 promovem uma maior absorção de energia face às restantes fibras, uma vez que suportam uma maior carga, revelando-se mais resistentes e em consonância ao estudado por Gopalaratnam, *et al.*, em 1995 e por Barros, *et al.*, em 1999.

Assim, é possível observar-se que para prismas reforçados com fibras de aço do tipo *Masterfiber502* e *Masterfiber482*, foram exercidos valores de força mais elevados. Posto isto, pode-se concluir que quando o betão é reforçado com fibras de aço atinge valores mais elevados relativamente à sua resistência à flexão, indo de encontro a estudos já previamente efetuados por Barros, em 2001.

4.7 ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ENERGIA EM LAJES

Em 2005, dois autores de nome Khaloo e Afshari, realizaram uma série de procedimentos experimentais com o intuito de determinar a capacidade de resistência à flexão de uma laje reforçada com fibras de aço. Numa fase embrionária testaram uma série de misturas, com e sem fibras, tendo verificado que as lajes sem reforço sofreram rotura sem qualquer tipo de aviso prévio, enquanto as que continham fibras apenas

sofreram alguma fissuração, indo de acordo ao já analisado no subcapítulo 4.2. Assim, concluíram que apesar da resistência à flexão não aumentar exponencialmente com a adição das fibras, existe um acréscimo da capacidade de absorção de energia das lajes de betão (Hadi, 2008).

Considerando o referido por vários autores como Gopalaratnam, em 1995, Barros, em 1999, Hadi, em 2008 e Gul, em 2014, existem alguns pontos comuns entre o ensaio de CMOD e o ensaio de determinação da capacidade de absorção de energia em lajes, uma vez que ambos estão diretamente relacionados com a obtenção de curvas carga-flecha.

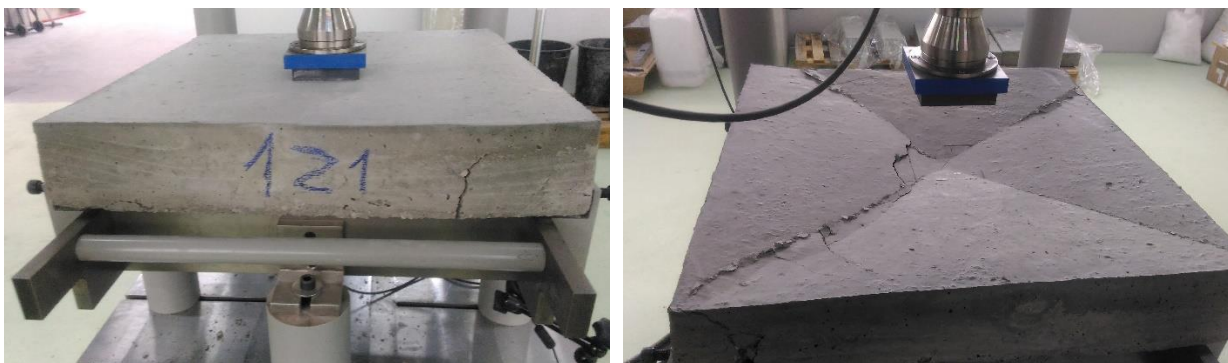
Na Norma NP EN 14488-5, de 2008, é especificada uma metodologia para determinação da resposta carga/flecha de provetes de lajes, de forma a calcular a capacidade de absorção de energia do provete até determinada flecha.

Assim, um provete de laje reforçada com fibras é submetido a uma carga por intermédio de um bloco rígido de aço colocado estrategicamente no centro da laje. A curva carga/flecha é registada e o ensaio continua até que se obtenha uma flecha de pelo menos 30 mm, no centro da laje. A partir da curva carga/flecha é traçada uma segunda curva com a energia absorvida em função da flecha atingida pela laje.

A laje deve ser colocada no equipamento de ensaio, com a face de moldagem virada para cima onde será posteriormente aplicada a carga, como se pode observar na Figura 4.31 a). É de extrema importância para o sucesso deste ensaio que a laje se encontre perpendicular à carga aplicada.

A presente Norma refere que a flecha derivada da flexão ocorrida no centro da laje deve ser medida com o auxílio de um transdutor eletrónico e que o equipamento de ensaio deve funcionar com deslocamento controlado a uma taxa constante de $(1 \pm 0,1)$ mm/min, no centro da laje e velocidade constante.

O ensaio dá-se por concluído quando a flecha existente no centro da laje ultrapassa 30 mm, assim a carga e a flecha devem ser registadas de forma continua através do equipamento eletrónico de registo de dados até que seja obtido o valor estipulado (NP EN 14488-5, 2008).



a) Fissura lateral decorrente do ensaio

b) Laje vista de cima no final do ensaio

Figura 4.31 – Ensaio de absorção de energia numa laje reforçada com fibras

Após verificação e análise dos resultados cedidos pelo equipamento de ensaio, é possível concluir-se qual a força máxima exercida e a energia absorvida entre 0 e 25 mm. Estes valores encontram-se explicitados no gráfico da Figura 4.32 e na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Resultados obtidos para ensaio de absorção de energia

Tipo	Força máxima, em kN	Energia absorvida, em J
Reforçada com Masterfiber502	88,29	1450
Reforçada com Masterfiber503	93,56	1050
Reforçada com Masterfiber246	73,88	850
Reforçada com Masterfiber248	73,97	1010
Reforçada com Masterfiber482	97,01	780

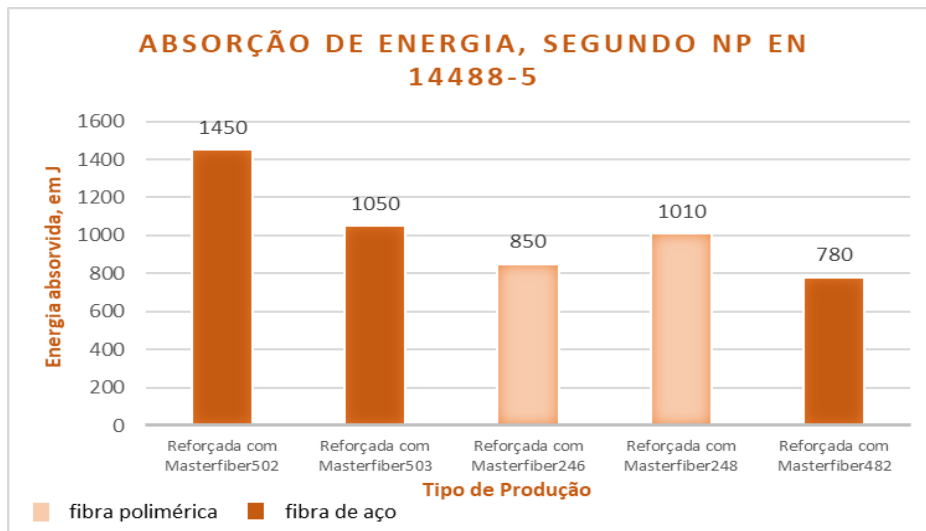


Figura 4.32 – Gráfico da análise à capacidade de absorção de energia, em lajes

Segundo análise do gráfico e tabela anteriores, pode-se aferir que a produção reforçada com fibra de aço Masterfiber502 foi a que possibilitou um valor mais elevado de energia absorvida. No entanto, relativamente à carga exercida já existem algumas alterações pois a fibra Masterfiber482 suporta uma carga superior ao mesmo tempo que absorve menos energia que todas as outras. Isto pode ser traduzido pelas diferentes dimensões das fibras utilizadas, ou seja, uma que possua um comprimento superior será tendencialmente capaz de absorver uma maior quantidade de energia.

Assim, é possível ir de acordo ao defendido por Ulrix, *et al.*, em 2011 e afirmar que a forma e dimensões das fibras utilizadas são de extrema importância para os valores obtidos.

Em estudos realizados por outros autores como Hadi, na sua publicação de 2008, era sempre estudado o comportamento do provete de laje quando reforçado com diferentes quantidades de uma mesma fibra, analisando-se a influência dessa alteração de massa no comportamento da laje de betão. Como já foi referido, ao longo de todas as produções manteve-se exatamente o mesmo volume de fibra utilizada, alterando-se exclusivamente o seu material. Posto isto, e com base nas metodologias experimentais capazes de criar uma correlação com este ensaio, confirma-se que as dimensões e o material constituinte da fibra utilizada são parâmetros de elevada relevância para a capacidade de absorção de energia de um provete de betão.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

A realização de um estágio curricular pode-se resumir como a melhor forma de culminar o percurso acadêmico de um estudante, uma vez que possibilita o seu contacto com situações de trabalho reais nas quais se pode aplicar, consolidar e alargar todos os conceitos apreendidos ao longo da sua formação.

Através do acompanhamento das mais variadas produções e ensaios laboratoriais efetuados, é possível aferir-se a enorme importância do controlo e verificação de todas as fases e materiais utilizados ao longo de cada processo, já que qualquer desvio do previamente estipulado é passível de originar resultados diferentes do planeado, colocando em causa a homogeneidade das composições e consequentemente um estudo comparativo menos correto.

De uma forma expedita, é possível sintetizar alguns parâmetros que puderam levar à disparidade de alguns valores como:

- A utilização de Cinzas Volantes de diferentes produtores, para amassaduras distintas, algo justificável devido à crise que se verificou relativamente à falta deste produto no mercado nacional;
- A utilização de cimento, sempre do tipo CEM I 52,5 R, mas, por vezes, proveniente de diferentes produções, o que pode acarretar algumas diferenças a nível de resultados finais.

Apesar dos constituintes-base das misturas serem sempre os mesmos, por vezes pequenas alterações tornam-se significativas, acarretando variações a nível de aspeto, resistências mecânicas atingidas, entre outras. Deste modo, torna-se extremamente importante a realização de produções de controlo sempre que ocorra a necessidade imperativa de alteração de algum componente, pois assim existe sempre algum elemento que possa ser comparável com precisão.

Nas diferentes sínteses elaboradas ao longo dos dois capítulos anteriores foi possível observar-se que, na generalidade dos ensaios, a adição de fibras à mistura inicial acarretou melhorias a nível de resistências mecânicas, originando resultados satisfatórios face às produções de controlo ou referência. Nas tabelas

abaixo pode-se analisar a variação, positiva ou negativa, da adição de fibras face aos diferentes ensaios de resistência mecânica efetuados, quer em betão, quer em argamassas. Para isto, foi calculada uma razão entre o resultado obtido para uma produção de referência e o resultado numa produção reforçada com fibras.

Tabela 5.1 – Variação dos valores obtidos para argamassa de referência versus argamassa com fibras, em percentagem

Tipo	Resistência à flexão	Resistência à compressão
Reforçada com FISIFE L62 0,9 dtex	+22%	+29%
Reforçada com Ha-Be PP Makrofaser 12 mm	+33%	+52%

Através da análise da Tabela 5.1 é possível concluir-se a fibra polimérica Ha-Be PP Makrofaser 12 mm é a que acarreta mais melhorias a nível de resistência mecânica em argamassas, nomeadamente um aumento da resistência à flexão de 33% e da resistência à compressão de 52% face à produção de controlo.

Tabela 5.2 – Variação dos valores obtidos para betão de referência versus betão com fibras, em percentagem

Tipo	Resistência à flexão	Resistência à compressão	Resistência à tração por compressão
Reforçada com Masterfiber502	+11%	-5%	-10%
Reforçada com Masterfiber503	+16%	-35%	+6%
Reforçada com Masterfiber246	+22%	0%	+30%
Reforçada com Masterfiber248	+13%	-6%	+3%
Reforçada com Masterfiber482	+33%	+3%	+14%
Reforçada com fibra Chryso	-	0%	-

Com a análise da Tabela 5.2 verifica-se que, na generalidade dos casos, a fibra que originou maiores benefícios foi a fibra metálica Masterfiber482, pelo que se pode concluir que a sua utilização como reforço é uma boa opção visto ser a que acarreta melhores resultados a nível de resistência mecânica. Há que

salientar que apesar de se tratar de uma fibra metálica, o que geralmente se encontra associado a um maior investimento, devido às suas dimensões reduzidas torna-se numa boa solução, sendo muitas vezes utilizada como reforço em cofres e caixas-fortes.

Em ensaios como CMOD e determinação da capacidade de absorção de energia, não é possível calcular-se uma relação face ao betão de referência já que, como foi abordado previamente, apenas são elaboradas produções de prismas e lajes reforçados com fibras. Na Tabela 5.3 são apresentados os diversos resultados atingidos nestes ensaios para as variadas produções.

Tabela 5.3 – Estudo comparativo das resistências mecânicas obtidas em provetes reforçados com fibras

Tipo	Força atingida no ensaio CMOD, em N	Capacidade de absorção de energia, em J
Reforçada com Masterfiber502	21303,9	1450,00
Reforçada com Masterfiber503	15285,0	1050
Reforçada com Masterfiber246	17082,0	850
Reforçada com Masterfiber248	14303,7	1010
Reforçada com Masterfiber482	17964,6	780

Nestes casos, não existe uma relação tão óbvia como nos casos anteriores em que uma mesma fibra apresentava bons resultados em ensaios distintos. Contudo, através de uma análise cuidada é possível observar que os melhores efeitos são garantidos para fibras do tipo Masterfiber502 e Masterfiber503, metálicas, com dimensões consideráveis e como tal mais dispendiosas por serem constituídas por aço. Pode-se também aferir que a fibra Masterfiber248 também garante bons resultados quer a nível de força atingida, quer a nível de energia absorvida pelo betão reforçado com a fibra ao longo dos ensaios. Assim, uma vez que esta é polimérica assume um custo mais económico, aliado a bons resultados, revelando-se uma boa escolha face às fibras metálicas.

Posto isto, pode-se finalizar esta conclusão afirmando mais uma vez que a escolha de uma dada fibra para reforço de betão ou argamassa deve ser analisada atendendo à utilização futura dessa mesma estrutura, pois só isso permite a avaliação da mesma como melhor ou pior material.

5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Atendendo ao período de duração do estágio, não foi possível realizar alguns trabalhos que poderiam enriquecer um pouco mais este estudo. Assim, sugerem-se alguns desenvolvimentos futuros que seriam de elevada utilidade para o seu complemento:

- Efetuar as restantes produções de prismas, cilindros e laje de betão reforçados com fibra Chryso, uma fibra composta por dois tipos de polímeros, o polietileno e o polipropileno, para melhoria do estudo efetuado, já que passaria a existir uma série completa de todas as composições;
- A realização de ensaios de absorção de água por capilaridade, de forma a avaliar questões como a permeabilidade do betão quando reforçado com fibras;
- A execução de um ensaio de resistência ao corte em prismas de betão, de controlo e reforçados com fibras, com o intuito de estudar o comportamento da estrutura quando submetida ao esforço transversal;
- A elaboração de uma viga de betão armado e consequente realização dos mesmos ensaios de resistência, de modo à obtenção de um estudo comparativo entre elementos de betão armado e elementos de betão reforçado com fibras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Appleton, Júlio. 2005.** *Construções em Betão - nota histórica sobre a sua evolução.* Lisboa : Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2005. p. 18.
- Barbosa, Mafalda Valadas. 2013.** *O betão: Definição, caracterização e propriedades.* Lisboa : Tese de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2013. p. 171.
- Barros, J.A.O. 1996.** CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO BETÃO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO POR INTERMÉDIO DE ENSAIOS EXPERIMENTAIS. 1996, p. 21.
- Barros, J.A.O. e Cruz, J. Sena. 1999.** *FRACTURE ENERGY OF STEEL FIBRE REINFORCED CONCRETE.* Guimarães : University of Minho, 1999. p. 17.
- Barros, J.A.O., Cruz, J. Sena e Ullrich, Erik. 1999.** *Avaliação Da Capacidade De Absorção De Energia De Fibras De Aço.* Guimarães : Universidade do Minho, 1999. p. 12.
- Barros, Joaquim António Oliveira de. 2001.** *BETÃO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO - CONCEITOS FUNDAMENTAIS.* s.l. : APEB, 2001. p. 9.
- Barros, Joaquim António Oliveira de. 2001.** *CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DO BETÃO REFORÇADO COM FIBRAS - PROPOSTAS RECENTES.* s.l. : APEB, 2001. p. 12.
- Camões, Aires e Costeira, André. 2012.** Durabilidade de Betões Reforçados com Fibras de Aço. Porto : BE2012 - Encontro Nacional de Betão Estrutural, 2012, p. 10.
- Camões, Aires e Ferreira, Rui Miguel. 2006.** *Inovação em Betões - Nova normalização e produção de betões especiais.* Braga : Universidade do Minho, 2006. p. 124.
- Cimpor. 2018.** *Construindo Parcerias Sustentáveis.* 2018. p. 128.
- Correia, António José da Rocha. 2015.** *Influência da Estrutura do Betão no Comportamento de Betões Reforçados com Fibras de Aço.* Porto : Tese de Mestrado, FEUP, 2015. p. 119.
- Costa, António. 2005.** *Durabilidade das Estruturas de Betão.* Lisboa : Instituto Superior Técnico - Departamento de Engenharia Civil, 2005. p. 63.
- Coutinho, Joana de Sousa. 2006.** *Materiais de Construção 2. 1ª parte - ligantes e caldas.* Porto : FEUP, 2006. p. 160.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EN 1015-11. 1999. > Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. Brussels : CEN, 1999.

EN 1015-3. 1999. > Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table) Brussels : CEN, 1999.

EN 14651. 2005. > Test method for metallic fibered concrete - Measuring the flexural tensile strength (limit of proportionality (LOP) residual). Brussels : CEN, 2005.

EUROMODAL. 2018. Euromodal - Soluções para Betão. *euromodal.pt*. [Online] 2018. [Citação: 20 de fevereiro de 2018.] <http://euromodal.pt/>.

Fernandes, Nelson Agostinho Gonçalves. 2012. *Caracterização do Betão Reforçado com Fibras de Aço*. Lisboa : Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, 2012. p. 167.

Ferreira, Débora Rodrigues de Sousa Macanjo. 2000. *Pilares de Betão Armado Reforçados com Laminados de Fibras de Carbono*. Guimarães : Tese de Mestrado, Universidade do Minho, 2000. p. 226.

Figueiredo, António Domingues de. 2012. *Concreto com Fibras*. São Paulo : Instituto Brasileiro do Concreto, 2012. p. 36.

Gomes, Augusto, Pinto, Ana Paula Ferreira e Pinto, João Bessa. 2013. *Materiais de Construção. Cimento Portland e Adições*. Lisboa : Instituto Superior Técnico, 2013. p. 52.

Gopalaratnam, V. S., et al. 1995. *Characterization of the toughness of fiber reinforced concretes using the load-CMOD response*. [ed.] Folker H. Wittmann. Freiburg : AEDIFICATIO Publishers, 1995.

Gul, Misba, Bashir, Alsana e Naqash, Javed A. 2014. *Study of Modulus of Elasticity of Steel Fiber Reinforced Concrete*. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). s.l. : Blue Eyes Intelligence Engineering & Sciences Publications Pvt, Ltd., 2014. p. 6.

Hadi, Muhammad N. S. 2008. *Behaviour of fibre reinforced concrete slabs*. Australia : University of Wollongong, 2008. p. 7.

Helene, Paulo Roberto do Lago e Levy, Salomon Mony. 2015. *'Estado Da Arte' Do Concreto Como Material de Construção*. São Paulo : Exacta, 2015. p. 8.

Júnior, Josué Coelho do Amaral, Silva, Luiza Caroline Ferreira e Moravia , Weber Guadagnin. 2017. Análise experimental da adição de fibras poliméricas nas propriedades do concreto. *Revista Matéria* V.22 N.01. 2017, p. 9.

Kaefer, Luís Fernando. 1998. *A Evolução do Concreto Armado*. São Paulo : s.n., 1998. p. 45.

- Lourenço, Lúcio Abel Pereira. 2012.** *Betão Reforçado com Fibras: aplicações e técnicas de inspeção e reforço de elementos estruturais afetados pela ação de um fogo.* Guimarães: Tese de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade do Minho. 2012. p. 267.
- Luís, Wilson Rosário Da Cruz. 2013.** *Estudo do desempenho, a curto e longo prazo, da incorporação de resíduos industriais nas composições de argamassa e betões de base cimentícia.* Setúbal: Tese de Mestrado, Instituto Politécnico de Setúbal, 2013. p. 88.
- Mateus, Pedro Samuel Leite. 2013.** *Betão Reforçado por Nanotubos de Carbono.* Guimarães: Tese de Mestrado, Universidade do Minho. 2013. p. 91.
- Mota Engil - Engenharia. 2016.** *Um mundo de inspiração - Betões.* 2016.
- Namora, Filipa. 2015.** *O Betão Armado em Portugal através dos Arquitetos.* Porto: Tese de Mestrado, Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto.,2015. p. 283.
- NP EN 12350-5. 2009.** > Ensaio do betão fresco - Parte 5: Ensaio da mesa de espalhamento. Lisboa : IPQ, 2009.
- NP EN 12390-1. 2012.** > Ensaio do betão endurecido - Parte 1: Forma, dimensões e outros requisitos para ensaios de provetes e para os moldes. Lisboa : IPQ, 2012.
- NP EN 12390-13. 2014.** > Ensaio do betão endurecido - Parte 13: Determinação do módulo de elasticidade secante à compressão. Lisboa : IPQ, 2014.
- NP EN 12390-3. 2011.** > Ensaio do betão endurecido - Parte 3: Resistência à compressão de provetes. Lisboa : IPQ, 2011.
- NP EN 12390-5. 2009.** > Ensaio do betão endurecido - Parte 5: Resistência à flexão de provetes. Lisboa : IPQ, 2009.
- NP EN 12390-6. 2011.** > Ensaio do betão endurecido - Parte 6: Resistência à tração por compressão de provetes. Lisboa : IPQ, 2011.
- NP EN 12620:2002 + A1. 2010.** > Agregados para betão. Lisboa : IPQ, 2010.
- NP EN 14488-5. 2008.** > Ensaio do betão projetado - Parte 5: Determinação da capacidade de absorção de energia de provetes de lajes reforçadas com fibras. Lisboa : IPQ, 2008.
- NP EN 14845-1. 2008.** > Métodos de ensaio de fibras no betão - Parte 1: Betões de referência. Lisboa : IPQ, 2008.
- NP EN 14889-1. 2008.** > Fibras para betão - Parte 1: Fibras de aço - Definições, especificações e conformidade. Lisboa : IPQ, 2008.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

NP EN 14889-2. 2008. > Fibras para betão - Parte 1: Fibras poliméricas - Definições, especificações e conformidade. Lisboa : IPQ, 2008.

NP EN 1766. 2008. > Produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão: Métodos de ensaio - Betões de referência para ensaio. Lisboa : IPQ, 2008.

NP EN 196-1. 2006. > Métodos de ensaio de cimentos - Parte 1: Determinação das resistências mecânicas. Lisboa : IPQ, 2006.

NP EN 197-1. 2012. > Cimento - Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes Lisboa : IPQ, 2012.

NP EN 206:2013 + A1. 2017. > Betão: Especificação, desempenho, produção e conformidade. Lisboa : IPQ, 2017.

NP EN 933-1. 2014. > Ensaio das propriedades geométricas dos agregados - Parte 1: Análise granulométrica - Método da peneiração. Lisboa : IPQ, 2014.

NP EN 934-1. 2008. > Adjuvantes para betão, argamassa e caldas de injeção. Parte 1: Requisitos gerais. Lisboa : IPQ, 2008.

Oliveira, Elsa Maria Bixirão Neto. 2009. *Betão Auto-Compactável Metodologia de Composição.* Guimarães : Tese de Mestrado, Universidade do Minho - Escola de Engenharia, 2009. p. 120.

Paulino, Anabela Tomás. 2016. *O Pré-esforço em Lajes. As suas Principais Aplicações e Vantagens.* Lisboa: Tese de Mestrado, Área Departamental de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2016. p. 175.

Ribeiro, Filipe Jorge Teixeira. 2012. *Betão de Elevado Desempenho Reforçado com Fibras.* Porto: Tese de Mestrado, Engenharia Civil, FEUP, 2012. p. 174.

Rodrigues, João Paulo C. e dos Santos, Susana Otero. novembro de 2008. O Spalling nas estruturas de Betão. Guimarães : BE2008, novembro de 2008.

Soares, Cristiana Regina Pinho. 2013. *Ensaio não-destrutivos para a caracterização de betões de elevado desempenho reforçado com fibras.* Porto: Departamento de Engenharia Civil, FEUP, 2013. p. 208.

UGT. 2017. Amianto: Riscos, Efeitos na Saúde e Prevenção. 2017. p.13.

Ulrix, Erik e Ferreira, Nuno. 2011. State of the Art - Betões com Fibras em Aplicações Subterrâneas. *Primeiras Jornadas de Materiais de Construção.* 2011, p. 30.

Vale, Arnaud, et al. 2011. *Materiais de Construção - Betão.* Porto: Edições FAUP, 2011. p. 24.

Yan, Tibério Situ Antunes. 2013. *Técnicas e laboratórios de ensaio de betões*. Lisboa: Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, 2013. p. 198.

ANEXOS

ANEXO I – Resultados dos ensaios experimentais

ANEXO II – Fichas técnicas das fibras

ANEXO I – RESULTADOS DOS ENSAIOS EXPERIMENTAIS

I. PRISMAS DE ARGAMASSA

i. Ensaio de Resistência à Compressão

Tipo	Provetes	Data de ensaio	RH, em MPa	Valor médio de RH
Controlo 1	P43-1	19/03/2018	42,44	41,91
	P43-2	19/03/2018	41,94	
	P44-1	19/03/2018	41,93	
	P44-2	19/03/2018	41,42	
	P45-1	19/03/2018	41,33	
	P45-2	19/03/2018	42,43	
Controlo 2	P61-1	17/04/2018	28,40	28,24
	P61-2	17/04/2018	28,75	
	P62-1	17/04/2018	28,31	
	P62-2	17/04/2018	28,34	
	P63-1	17/04/2018	27,85	
	P63-2	17/04/2018	27,77	
Reforço com fibra FISIFE	P79-1	21/05/2018	36,49	35,96
	P79-2	21/05/2018	37,11	
	P80-1	21/05/2018	35,73	
	P80-2	21/05/2018	35,06	
	P81-1	21/05/2018	36,68	
	P81-2	21/05/2018	34,67	
Reforço com fibra Ha-Be	P82-1	21/05/2018	43,27	42,75
	P82-2	21/05/2018	43,47	
	P83-1	21/05/2018	42,10	
	P83-2	21/05/2018	43,47	
	P84-1	21/05/2018	41,58	
	P84-2	21/05/2018	42,63	

ii. Ensaio de Resistência à Flexão

Tipo	Provetes	Data de ensaio	Rf, em MPa	Valor médio de Rf
Controlo 1	P43	19/03/2018	7,18	6,84
	P44	19/03/2018	6,78	
	P45	19/03/2018	6,56	
Controlo 2	P61	17/04/2018	5,20	5,36
	P62	17/04/2018	5,56	
	P63	17/04/2018	5,33	
Reforço com fibra FISIFE	P79	21/05/2018	6,52	6,55
	P80	21/05/2018	6,51	
	P81	21/05/2018	6,61	
Reforço com fibra Ha-Be	P82	21/05/2018	7,17	7,21
	P83	21/05/2018	7,21	
	P84	21/05/2018	7,24	

iii. Ensaio do Módulo de Elasticidade Secante

Método A

Tipo	Data de ensaio	Ec,0 em GPa	Ec,S em GPa
Controlo 1	19/03/2018	22,7	24,8
Controlo 2	17/04/2018	17,0	19,5
Reforço com fibra FISIFE	21/05/2018	26,8	30,1
Reforço com fibra Ha-Be	21/05/2018	24,3	26,7

Método B

Tipo	Data de ensaio	Ec,S em GPa
Controlo 1	19/03/2018	32,1
Controlo 2	17/04/2018	18,5
Reforço com fibra FISIFE	21/05/2018	25,0
Reforço com fibra Ha-Be	21/05/2018	24,7

II. PROVETES DE BETÃO

i. Ensaio de Resistência à Compressão

Cubos

Tipo	Provetes	Data de ensaio	RH, em MPa	Valor médio de RH
Controlo	15	26/03/2018	65,78	66,42
	16	26/03/2018	67,07	
Reforço com Masterfiber502	85	04/04/2018	61,70	62,82
	86	04/04/2018	63,94	
Reforço com Masterfiber503	138	17/04/2018	43,70	43,04
	139	17/04/2018	42,38	
Reforço com Masterfiber246	212	10/05/2018	66,47	66,12
	213	10/05/2018	65,76	
Reforço com Masterfiber248	253	21/05/2018	61,88	62,20
	254	21/05/2015	62,52	
Reforço com Masterfiber482	264	28/05/2018	68,14	68,24
	265	28/05/2018	68,34	
Reforço com Chryso	295	08/06/2018	67,55	66,49
	296	08/06/2018	65,43	

Cilindros

Tipo	Provetes	Data de ensaio	RH, em MPa
Controlo	83	02/04/2018	48,77
Reforço com Masterfiber502	98	11/04/2018	40,25
Reforço com Masterfiber503	145	19/04/2018	55,47
Reforço com Masterfiber246	216	14/05/2018	53,97
Reforço com Masterfiber248	260	25/05/2018	52,86
Reforço com Masterfiber482	292	28/05/2018	59,89

Cilindros 1-1

Tipo	Provetes	Data de ensaio	RH, em MPa
Controlo	160	24/04/2018	55,0
Reforço com Masterfiber502	99	11/04/2018	45,5
Reforço com Masterfiber503	147	19/04/2018	50,6
Reforço com Masterfiber246	218	14/05/2018	61,7
Reforço com Masterfiber248	262	25/05/2018	60,9
Reforço com Masterfiber482	294	28/05/2018	64,1

ii. Ensaio de Resistência à Flexão

Tipo	Provetes	Data de ensaio	Resistência, em MPa
Controlo	19	27/03/2018	5,5
Reforço com Masterfiber502	96	05/04/2018	6,1
Reforço com Masterfiber503	142	18/04/2018	6,4
Reforço com Masterfiber246	225	15/05/2018	6,7
Reforço com Masterfiber248	257	25/05/2018	6,2
Reforço com Masterfiber482	289	30/05/2018	7,3

iii. Ensaio do Módulo de Elasticidade Secante

Método A

Cubos

Tipo	Provetes	Data de ensaio	Ec,0 em GPa	Ec,S em GPa
Controlo	17	26/03/2018	39,3	44,3
Reforço com Masterfiber502	87	04/04/2018	39,3	41,5
Reforço com Masterfiber503	140	17/04/2018	34,9	37,8
Reforço com Masterfiber246	214	10/05/2018	30,8	32,3
Reforço com Masterfiber248	255	21/05/2018	36,4	39,7
Reforço com Masterfiber482	266	28/05/2018	42,9	44,7
Reforço com Chryso	297	08/06/2018	33,2	36,7

Cilindros

Tipo	Provetes	Data de ensaio	Ec,0 em GPa	Ec,S em GPa
Controlo	84	02/04/2018	40,7	42,1
Reforço com Masterfiber502	100	11/04/2018	40,1	41,8
Reforço com Masterfiber503	146	19/04/2018	43,7	46,1
Reforço com Masterfiber246	217	14/05/2018	41,6	43,8
Reforço com Masterfiber248	261	25/05/2018	48,6	51,2
Reforço com Masterfiber482	293	28/05/2018	47,2	52,2

Método B

Cubos

Tipo	Provetes	Data de ensaio	Ec,S em GPa
Controlo	17	26/03/2018	39,9
Reforço com Masterfiber502	87	04/04/2018	44,0
Reforço com Masterfiber503	140	17/04/2018	42,5
Reforço com Masterfiber246	214	10/05/2018	33,9
Reforço com Masterfiber248	255	21/05/2018	37,8
Reforço com Masterfiber482	266	28/05/2018	42,0
Reforço com Chryso	297	08/06/2018	30,2

Cilindros

Tipo	Provetes	Data de ensaio	Ec,S em GPa
Controlo	84	02/04/2018	42,1
Reforço com Masterfiber502	100	11/04/2018	41,8
Reforço com Masterfiber503	146	19/04/2018	45,4
Reforço com Masterfiber246	217	14/05/2018	43,0
Reforço com Masterfiber248	261	25/05/2018	52,6
Reforço com Masterfiber482	293	28/05/2018	47,4

iv. Ensaio de Resistência à Tração por Compressão

Cubos

Tipo	Provetes	Data de ensaio	Fct, máxima em MPa
Controlo	17	26/03/2018	4,97
Reforço com Masterfiber502	87	04/04/2018	4,69
Reforço com Masterfiber503	140	17/04/2018	3,74
Reforço com Masterfiber246	214	10/05/2018	4,45
Reforço com Masterfiber248	255	21/05/2018	4,91
Reforço com Masterfiber482	266	28/05/2018	4,66
Reforço com Chryso	297	08/06/2018	4,25

Cilindros

Tipo	Provetes	Data de ensaio	Fct, máxima em MPa
Controlo	84	02/04/2018	4,15
Reforço com Masterfiber502	100	11/04/2018	3,72
Reforço com Masterfiber503	146	19/04/2018	4,4
Reforço com Masterfiber246	217	14/05/2018	5,39
Reforço com Masterfiber248	261	25/05/2018	4,29
Reforço com Masterfiber482	293	28/05/2018	4,72

v. Ensaio de CMOD – Crack Mouth Open Displacement

Tipo	Provetes	Data de ensaio	Força obtida em N
Reforço com Masterfiber502	97	05/04/2018	21303,9
Reforço com Masterfiber503	143	18/04/2018	15285,0
Reforço com Masterfiber246	226	15/05/2018	17082,0
Reforço com Masterfiber248	258	25/05/2018	14303,7
Reforço com Masterfiber482	290	30/05/2018	17964,6

vi. Ensaio de determinação da capacidade de absorção de energia em lajes

Tipo	Provetes	Data de ensaio	Força máxima em kN	Energia absorvida, em J
Reforço com Masterfiber502	121	13/04/2018	88,29	1450
Reforço com Masterfiber503	161	24/04/2018	93,56	1050
Reforço com Masterfiber246	246	17/05/2018	73,88	850
Reforço com Masterfiber248	263	25/05/2018	73,97	1010
Reforço com Masterfiber482	384	11/06/2018	97,01	780

ANEXO II – FICHAS TÉCNICAS DAS FIBRAS

MasterFiber 248

Fibra de polipropileno monofilamento resistente a los álcalis y destinada al refuerzo estructural de hormigón y productos derivados del cemento.

Propiedades	
Material:	Polipropileno (color negro).
Forma:	Monofilamentada grafilada.
Diámetro equivalente:	0,85 mm
Frecuencia de la fibra (ud/kg):	41200
Longitud de fibra:	48 mm
Esbeltez:	56,5
Resistencia a tensión:	> 400 MPa. Según el método UNE-EN ISO 6892-1:2009
Densidad:	0,91 g/cm ³
Módulo de elasticidad:	> 6,0 GPa. Según el método UNE-EN ISO 6892-1:2009
Módulo secante:	> 4,7 GPa. Según el método UNE-EN ISO 14889-2:2006
Temperatura de distorsión:	110° C
Temperatura de descomposición:	280° C
Inflamabilidad	No aplicable.
Resistencia a ácidos/álcalis	Excelente.

Los datos técnicos reflejados son fruto de resultados estadísticos y no representan mínimos garantizados. Si se desean los datos de control, pueden solicitarse las "Especificaciones de Venta" a nuestro Departamento Técnico.



MARCADO CE DE PRODUCTO BAJO LA
DIRECTIVA UE DE PRODUCTOS DE LA
CONSTRUCCIÓN DE LA UNIÓN EUROPEA

MasterFiber 482

Fibras de acero al carbono de alta resistencia para refuerzo estructural del hormigón/mortero convencional y de ultra altas prestaciones.

BASE DEL MATERIAL

MasterFiber 482 es una fibra de acero al carbono obtenida a partir de alambre trefilado en frío de hasta espesor muy reducido.

PRESENTACIÓN

MasterFiber 482 se presenta en cajas de 20 Kg.

MANIPULACIÓN Y TRANSPORTE

Para su manipulación deberán observarse las medidas preventivas usuales para el manejo de productos químicos, por ejemplo usar gafas y guantes. Lavarse las manos antes de una pausa y al término del trabajo. No comer, beber y fumar durante la aplicación.

La eliminación del producto y su envase debe realizarse de acuerdo con la legislación vigente y es responsabilidad del poseedor final.

CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO/ TIEMPO DE CONSERVACIÓN

MasterFiber 482 es un material totalmente inerte, por lo que no se degrada con el tiempo si se conserva adecuadamente en sus envases originales herméticamente cerrados libres de suciedad y evitando temperaturas altas.

HAY QUE TENER EN CUENTA

- Para adición en planta no añadir la fibra de acero como primer componente.
- Para adición a pie de obra se recomienda que el camión no esté cargado más de un 85% de su capacidad.
- En todos los casos se recomienda realizar una inspección visual con objeto de verificar que la mezcla es homogénea. De no ser así seguir amasando a velocidad máxima de rotación hasta que se consiga una perfecta distribución.

Propiedades	
Material:	Fibra de acero al carbono
Resistencia a tracción:	> 3100 MPa
Longitud:	13 mm
Diámetro:	200 µm
Módulo elástico:	190 GPa
Esbeltez:	65

Los datos técnicos reflejados son fruto de resultados estadísticos y no representan mínimos garantizados. Si se desean los datos de control, pueden solicitarse las "Especificaciones de Venta" a nuestro Departamento Técnico.

MasterFiber 246

Macrofibras sintéticas para hormigón reforzado con fibra.

Propiedades	
Material:	Compuesto de Poliolefina (incolora).
Diámetro equivalente:	0,75 mm
Longitud de fibra:	40 mm
Relación longitud diámetro	53
Densidad:	910 kg/m ³
Resistencia a la tracción:	448 MPa
Módulo de elasticidad:	3640 MPa
Absorción de agua:	Nula
Resistencia a ácidos/álcalis	Elevada
Número de fibras por kg:	Aprox. 65000
Punto de fusión:	155° C – 165° C
Temperatura de descomposición:	280° C

Los datos técnicos reflejados son fruto de resultados estadísticos y no representan mínimos garantizados. Si se desean los datos de control, pueden solicitarse las "Especificaciones de Venta" a nuestro Departamento Técnico.



MARCADO CE DE PRODUCTO BAJO LA
DIRECTIVA UE DE PRODUCTOS DE LA
CONSTRUCCIÓN DE LA UNIÓN EUROPEA

MasterFiber® 249

Structural polypropylene fibre for reinforcing cast concrete

DESCRIPTION

MasterFiber 249 is extruded from a natural polypropylene homo polymer and formed into a crimped profile in order to anchor it in a cementitious matrix. Further reinforcing concrete, it adds toughness and ductility.

This fibre is particularly suitable for alkaline environment, where a high chemical resistance is requested, in corrosive or aggressive environment.

MasterFiber 249 can be used in:

- Pavement
- Industrial flooring
- Precast elements
- Drying shrinkage reinforcement

METHOD OF USE

The fibres must be added to the concrete mixer after the water and admixtures and mixed sufficiently to ensure even distribution in the concrete.

MasterFiber 249 can be used in combination with all the admixtures of BASF, particularly with **MasterLife SRA 872** in flooring application to protect concrete against drying shrinkage cracks.

PACKAGING

The fibres are packed in 4kg plastic bags.



PERFORMANCE DATA AND PHYSICAL PROPERTIES

Properties	Value
Material	Polyolefin 100% (colourless)
Design	Monofilament
Equivalent diameter	0.85mm
Length	48mm
Length / diameter ratio	56.5
Tensile strength	400MPa
Modulus of Elasticity	4.7GPa
Water absorption	Nil
Density	0.91 g/cm ³
Acid / alkali resistance	High
Shape (cross section)	Elliptical
Melting point	160°C
Ignition point	350°C

The Technical Data reflected here is the result of statistical information and does not represent guaranteed minimums. If control data is required, this can be obtained by requesting the Sales Specifications from our Technical Department.

DOSAGE

The dosage of this synthetic fibre can vary from 2.5 to 8kg per m³ based on the specific characteristics requested for the fibre reinforced concrete. The use of **MasterFiber 249** in substitution to primary steel mesh should be done after project calculation. It can substitute the secondary steel mesh reinforcement.

STORAGE

The material is very stable with no foreseen hazards. Protect against fire.

SAFETY PRECAUTIONS

MasterFiber 249 is extremely stable, presenting little hazard to health. However, in fire conditions, carbon monoxide, carbon dioxide and other gases or fumes may be evolved.

MasterFiber 400

Fibra sintética estructural para el refuerzo de hormigones de muy alta y ultra alta resistencia (VHPC & UHPC).

MANIPULACIÓN Y TRANSPORTE

Se recomienda la realización de ensayos previos a la utilización del producto. No emplear dosificaciones superiores ni inferiores a las recomendadas sin previa consulta a nuestro Departamento Técnico.

La eliminación del producto y su embalaje es responsabilidad del usuario final y debe llevarse a cabo de acuerdo con la legislación vigente.

HAY QUE TENER EN CUENTA

- Se recomienda la realización de ensayos previos a la utilización del producto.
- No emplear dosificaciones superiores ni inferiores a las recomendadas sin previa consulta a nuestro Departamento Técnico.

Propiedades	
Material:	Alcohol polivinílico
Diseño:	Monofilamentada
Diametro equivalente:	0.20 mm
Longitud:	18 mm
Resistencia a la tracción:	750 MPa
Alargamiento a la rotura:	6 - 12%
Módulo de elasticidad:	7100 MPa
Esbeltez:	90
Absorción de agua:	Baja
Densidad:	1300 kg/m ³
Resistencia al Alkali:	Alta

Los datos técnicos reflejados son fruto de resultados estadísticos y no representan mínimos garantizados. Si se desean los datos de control, pueden solicitarse las "Especificaciones de Venta" a nuestro Departamento Técnico.



MARCADO CE DE PRODUCTO BAJO LA
DIRECTIVA UE DE PRODUCTOS DE LA
CONSTRUCCIÓN DE LA UNIÓN EUROPEA

Características de **Binder+**

Tipo de fibra	Binder+ L62 - Fibra de alta tenacidade			
Aspecto	Fibra cortada			
Cor	Cru			
Secção	Feijão ou redonda			
Brilho	Brilhante			
Densidade (g/cm ³)	1.17			
Solvente residual DMAC (%)	<0.3			
Finura (dtex)	1.9	2.5	6.7	17
Corte (mm)*	4, 6, 12, 24 mm			
Diâmetro nominal (mm)	14.4	16.5	27.0	43.0
Número de fibras por g (corte: 6mm)	877200	666700	248800	98050
Tenacidade (cN/tex); (g/dtex)	> 60; > 6.0	> 60; > 6.0	>42; >4.3	>31; >3.1
Resistência à rotura (N/mm ²); (MPa); (GPa)	>690; >690; >0,69	>685; >685; >0.685	>500; >500; >0.50	> 380; >380; >0.38
Alongamento (%)	15 – 20	14 – 16	14 – 18	13 – 17
Módulo elástico (cN/tex); (MPa); (GPa)	>1030; >12040; >12.04	>1150; >13400 ; 13,4	>750; >8780; >8.78	> 700; >8190; >8.19
Resistência ao calor	Boa - permite exposição de curta duração até 220°C			
Resistência aos ácidos	Boa			
Resistência a bases	Boa			
Resistência à hidrólise	Boa			
Processo de fabrico	Processo de produção modificado para obtenção de fibra de alta tenacidade e uso de acabamentos especiais que facilitam a dispersão das fibras			
Aplicações	Argamassas secas Estuque projectado Betonilha	Argamassas secas Estuque projectado Betonilha	Argamassas de reparação Estuques Gesso Materiais finos de reparação	Betões Argamassas

* - disponíveis outros comprimentos de corte



INF-PROM-P-10; Mar 2008



Your creative partner in acrylic fibres

FISIPE - Fibras Sintéticas de Portugal, S.A.

Apartado 5

2836-908 Lavradio - Portugal

Tel. +351 21 2066000, Fax. +351 21 2066085

Email: marketing@fisipe.pt

Ha-Be PP-Makrofaser

Item No 4510

Monofilament fibres for optimising the load carrying performance of concrete

FIELDS OF APPLICATION

Ha-Be PP-Makrofaser is a synthetic fibre designed for optimising the load carrying performance of concrete and screed.

Having no rusting effects Ha-Be PP-Makrofaser breeds a long term durability especially in corrosive environments.

Additionally Ha-Be PP-Makrofaser improves fire-resisting properties of concrete.

The application range is:

- Precast concrete
- Top concrete layer
- Mortar
- Infrastructure constructions
- Parking areas
- Foundations and monolithic floor panels

Ha-Be PP-Makrofaser is compatible with all types of cement, fillers and concrete admixtures. The fibre protects mixing and application tools against wear.

DOSAGE

Recommended dosage: 2.5 – 10 kg/m³.

Monofilament fibres may affect the consistence and air void content of unset concrete. Before using the fibre suitability tests are required.

WORKING PRINCIPLE

Ha-Be PP-Makrofaser can be mixed easily and homogeneously with concrete. The low-weight fibre can be distributed easily in three dimensions.

Optimising the static properties of concrete, Ha-Be PP-Makrofaser improves the impact resistance, the ultimate flexural strength and the ductility of concrete. The high fibre frequency in concrete spreads the tension homogeneously and ensures prevention of shrinkage and stress cracks.

TECHNICAL DATA

Material	polypropylene
Colour	white
Length	12 mm 24 mm 36 mm 48 mm
Bulk density	approx. 905 kg/m ³
Diameter	0,77 mm
Form	monofil
Tensile strength	600 N/mm ²
Elastic modulus	< 9.000 N/mm ²
Melting point	approx. 160 °C
Storage conditions	Store dry. Protect from moisture!



BIM

BIM (Building Information Modeling) es una metodología de trabajo colaborativa para la gestión de proyectos de edificación u obra civil a través de una maqueta digital. Esta maqueta digital conforma una gran base de datos que permite gestionar los elementos que forman parte de la infraestructura durante todo el ciclo de vida de la misma.



La metodología BIM (Building Information Modeling) está suponiendo una verdadera revolución tecnológica para la cadena de producción y gestión de la edificación y las infraestructuras. Lo más importante, BIM tiene el potencial de permitir que la

información contenida en el modelo pueda ser transformada en formatos utilizables por los operadores de las infraestructuras permitiendo que tanto la explotación como el mantenimiento se realice de manera eficiente.

Así, más allá de modelar elementos meramente geométricos, las diferentes entidades BIM que conforman el proyecto contienen también información referente a las características

de los materiales utilizados en el diseño. Esta información puede ser utilizada en estudios globales de la estructura, en los que se introducen conceptos como eficiencia energética, sostenibilidad, reutilización... y evaluar así el impacto de la estructura, edificio o construcción a lo largo de su ciclo de vida.

En este sentido, BASF ha apostado por la creación de modelos BIM de diversas aplicaciones del hormigón fibroreforzado, tales como pavimentos y soleras, paneles de cerramiento de fachada, tubos y colectores, capas de compresión en forjados, hormigón proyectado en túneles, recrecidos seccionales en operaciones de reparación estructural, así como otras aplicaciones y sistemas de construcción, que pueden ser utilizados por arquitectos e ingenieros en sus proyectos y diseños.

MasterFiber Shotcrete

Proprietary fiber for reinforcement in sprayed concrete and cast concrete applications to improve and/or supplement existing concrete reinforcement products.

DESCRIPTION
MasterFiber 101 is a fiber extracted from aramid filaments and formed into a flat form that can be used in concrete mixes for both spray and cast-in-place applications. The inclusion of fibers in a concrete mix will contribute to improving the durability of concrete by increased crack propagation resistance and by its energy absorption characteristics. The fibers will disperse uniformly throughout the concrete mix and effectively act as an anchoring mechanism within the cement matrix thereby improving the toughness and quality of the concrete.

MasterFiber 101 can increase concrete service life by providing superior resistance to attack from damaging environmental elements such as water, chlorides and concrete environments such as sewerage conduits and/or spillways.

APPLICATION
Recommended for use in:
- Hot concrete applications in forming or mixing applications for substrate construction.
- Any structure where impact toughness shall be increased.

FEATURES & BENEFITS
- Easy to store either at the batch plant or on site concrete mixer truck prior to application.
- Only minor mixed on flow & some properties of fresh concrete.
- High resistance to acid attack suitable for use in acid underground conditions and subsea construction exposed to being submerged.
- Reduces construction time compared to a solution with conventional reinforcement.

Polymer Type	Polypropylene
Colour	Carbonless
Shape (Cross Section)	Fine
Shape & longitudinal	Straight
Equivalent diameter dia.	0.35 mm +/- 0.1 %
Length	50 mm +/- 0.2 %
Aspect ratio (L/d)	143 +/- 0.2 %
Tensile Strength (EN 14889-2)	490 MPa +/- 15 %
Decant Modulus (EN 14889-2)	4,000 MPa +/- 15 %
Density	1.91 g/cm ³
Melting point (°C)	300-312 °C
Acid/Alkali resistance	High
Max. of fiber per kg	4000g
Shelf life	24 months

MASTER BUILDERS SOLUTIONS



Guia selección MasterFiber

	Microfibras Polipropileno	Mesofibras de PVA	Macrofibras Polipropileno			Fibras de acero		
	MasterFiber 022	MasterFiber 400/401	MasterFiber 246	MasterFiber 248	MasterFiber 249	MasterFiber 502	MasterFiber 503	MasterFiber 482
Longitud (mm)	12	18/12	40	48	48	50	35	13
Diámetro (µm)	31 - 35	160	750	850	850	1000	750	200
Resistencia a tracción (MPa)	-	790-1160	400 - 450	> 400	> 400	> 1000	1200	> 3100
Módulo de elasticidad (GPa)	-	30	4	> 6	> 6	-	-	190
	0,6 - 0,9	8 - 25	3 - 10	3 - 10	3 - 10	15 - 45	15 - 45	10 - 30

Aplicación	Microfibras Polipropileno	Mesofibras de PVA	Macrofibras Polipropileno			Fibras de acero		
	MasterFiber 022	MasterFiber 400/401	MasterFiber 246	MasterFiber 248	MasterFiber 249	MasterFiber 502	MasterFiber 503	MasterFiber 482
Pavimentos soleras	Residencial	»»	»»	»»		»»		
	Comercial	»»		»»	»»	»»		
	Industrial	»»		»»	»»	»»		
	Recrecido	»»			»»		»»	
Construcción Subterránea	Gunita	»»		»»			»»	
	Taludes	»»		»»			»»	
Prefabricado UHPC	Paneles	»»	»»		»»			»»
	Nichos	»»	»»		»»			»»
	Arquetas	»»	»»			»»		»»
	Casetas	»»	»»			»»		»»

MASTERFIBER 503

Hay que tener en cuenta

- Para adición en planta no añadir la fibra de acero como primer componente.
- Para adición a pie de obra se recomienda que el camión no esté cargado más de un 85% de su capacidad.
- En todos los casos se recomienda realizar una inspección visual con objeto de verificar que la mezcla es homogénea. De no ser así seguir amasando a velocidad máxima de rotación hasta que se consiga una perfecta distribución.

Propiedades	
Material:	Fibra de acero.
Resistencia a tracción:	1200 N/mm ² ± 15%
Longitud:	35 mm ± 10%
Diámetro:	0,75 mm ± 10%
Esbeltez:	46
Nº de Fibras / Kg:	Min. 8000 u / kg

Los datos técnicos reflejados son fruto de resultados estadísticos y no representan mínimos garantizados. Si se desean los datos de control, pueden solicitarse las "Especificaciones de Venta" a nuestro Departamento Técnico.

NOTA:

La presente ficha técnica sirve, al igual que todas las demás recomendaciones e información técnica, únicamente para la descripción de las características del producto, forma de empleo y sus aplicaciones. Los datos e informaciones reproducidos, se basan en nuestros conocimientos técnicos obtenidos en la bibliografía, en ensayos de laboratorio y en la práctica.

Los datos sobre consumo y dosificación que figuran en esta ficha técnica, se basan en nuestra propia experiencia, por lo que estos son susceptibles de variaciones debido a las diferentes condiciones de las obras. Los consumos y dosificaciones reales, deberán determinarse en la obra, mediante ensayos previos y son responsabilidad del cliente.

Para un asesoramiento adicional, nuestro Servicio Técnico, está a su disposición. BASF Construction Chemicals España, S.L. se reserva el derecho de modificar la composición de los productos, siempre y cuando éstos continúen cumpliendo las características descritas en la ficha técnica.

Otras aplicaciones del producto que no se ajusten a las indicadas, no serán de nuestra responsabilidad.

Otorgamos garantía en caso de defectos en la calidad de fabricación de nuestros productos, quedando excluidas las reclamaciones adicionales, siendo de nuestra responsabilidad tan solo la de reingresar el valor de la mercancía suministrada.

Debe tenerse en cuenta las eventuales reservas correspondientes a patentes o derechos de terceros.

Edición 30/05/2013

La presente ficha técnica pierde su validez con la aparición de una nueva edición



MARCADO CE DE PRODUCTO BAJO LA DIRECTIVA UE DE PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA UNIÓN EUROPEA

MASTERFIBER 503 Página 2 de 2

**BASF Construction
Chemicals España, S.L.**

Carretera del Mig, 219

08907 L'Hospitalet de Llobregat

Tel.: 93 261 61 00 - Fax: 93 261 62 19

www.basf-cc.es • aditivos@basf.com