



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO

PAINÉIS DE FACHADA PRÉ-FABRICADOS EM BETÃO REFORÇADO COM FIBRAS SINTÉTICAS – ANÁLISE COMPARATIVA

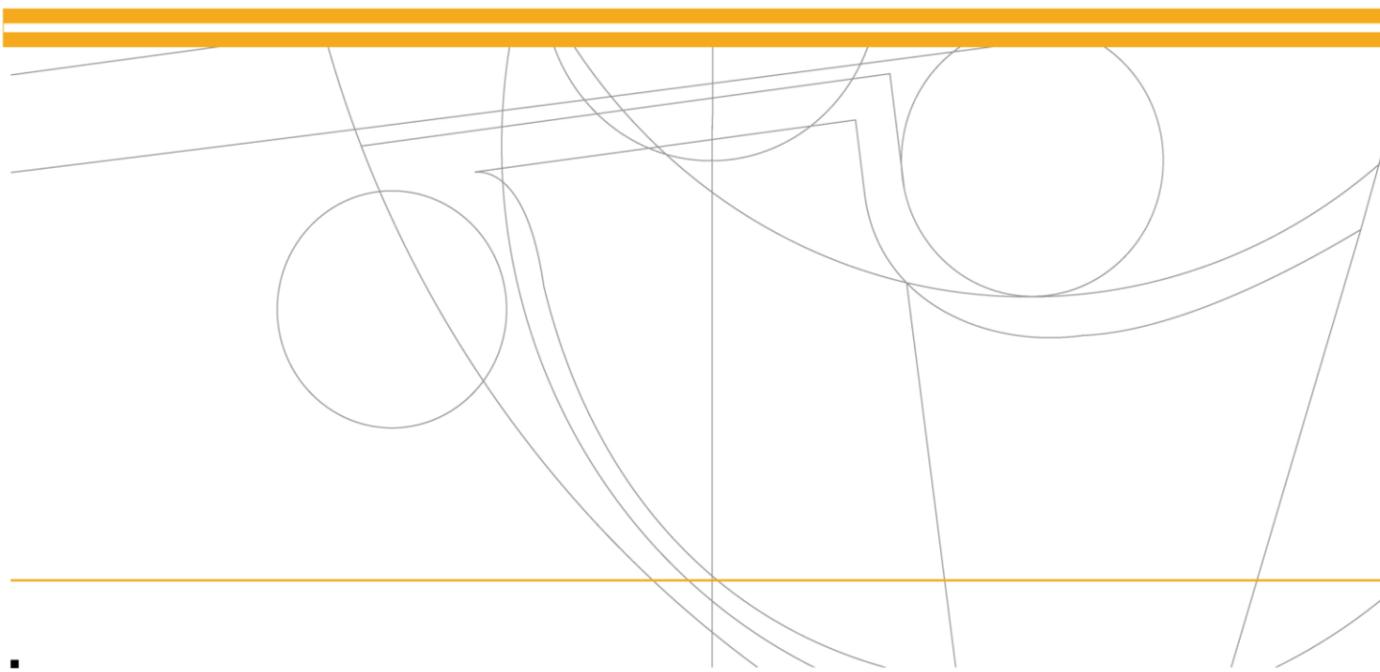
João Miguel Oliveira da Fonseca



Instituto Politécnico
de Viana do Castelo

PAINÉIS DE FACHADA PRÉ-FABRICADOS EM BETÃO REFORÇADO COM FIBRAS SINTÉTICAS ANÁLISE COMPARATIVA

João Miguel Oliveira da Fonseca





Instituto Politécnico
de Viana do Castelo



**SHAY
MURTAGH**

João Miguel Oliveira da Fonseca

Painéis de fachada pré-fabricados em betão reforçado com
fibras sintéticas - Análise comparativa

Nome do Curso de Mestrado

Mestrado em Engenharia Civil e do Ambiente

Trabalho efetuado sob a orientação do

Orientador Professor Doutor Domingos Ribas

Coorientador Professor Doutor Pedro Delgado

Coorientador Engenheiro José Terra

DEDICATÓRIA E AGRADECIMENTOS

O final de mais uma etapa no meu percurso acadêmico culminou com a realização desta dissertação de mestrado, que contou com importantes apoios sem os quais não se teria tornado realidade e aos quais estarei eternamente grato.

Ao orientador, o Professor Doutor Domingos Ribas, que sempre se mostrou disponível no esclarecimento de dúvidas.

Ao coorientador, o Professor Doutor Pedro Delgado, que sempre colaborou e acompanhou esta dissertação.

Ao Coorientador, o Engenheiro José Terra da Shay Murtagh, empresa colaboradora, que sempre se mostrou disponível no esclarecimento de dúvidas e problemas que foram surgindo ao longo da realização deste trabalho. Auxiliou em tudo, transmitindo todo o seu conhecimento sobre o tema, revelando-se a grande mais valia para o desenvolvimento desta tese.

Ao Professor Doutor Patrício Rocha, que se disponibilizou para esclarecimento das dúvidas apresentadas na execução do dimensionamento dos painéis.

À Senhora Lúcia Ramos dos serviços académicos, pela disponibilidade e empenho na busca de solução para alguns problemas que surgiram ao longo desta etapa.

À minha namorada, Teresa Fernandes, dirijo um agradecimento muito especial, pelo apoio incondicional, incentivo, disponibilidade e auxílio fornecido nesta dissertação, que representa uma fase importante na minha vida.

À minha irmã, um agradecimento muito especial pela disponibilidade fornecida para clarificar qualquer dúvida.

Por último, um agradecimento muito especial aos meus pais, por me terem ajudado, e estarem sempre comigo ao longo do desenvolvimento desta tese de mestrado. A eles dedico esta dissertação!

RESUMO

Na dissertação, que se segue, pretende-se fazer uma análise comparativa do desempenho mecânico, económico e da sustentabilidade entre painéis de fachada pré-fabricados, utilizando dois tipos de materiais, betão reforçado com aço e o betão reforçado com fibras sintéticas (substituindo a armadura de distribuição por fibras sintéticas).

A utilização do betão pré-fabricado tem sofrido evolução ao longo do tempo, atingindo o seu auge após a Segunda Guerra Mundial, na recuperação das cidades devastadas. Já que a utilização de estruturas pré-fabricadas se demonstrava a melhor solução para a carência de edifícios habitáveis, dado à sua rapidez de fabrico. O uso de betão pré-fabricado em larga escala conduziu à industrialização da construção.

A produção na totalidade dos componentes pré-fabricados de betão em fábrica acarreta vantagens, nomeadamente permitir a melhoria no planeamento e no controlo da segurança, da qualidade e melhoria na sustentabilidade com a redução na produção de resíduos.

É do conhecimento de toda a comunidade científica que o aço, não obstante de ser um material resistente sofre com as intempéries, resultando na corrosão. Este acontecimento reduz o tempo de vida útil das estruturas.

Este facto, corrobora a necessidade de se descobrir alternativas à aplicação do aço nas estruturas, surgindo, assim, as fibras sintéticas para substituição da malha de aço.

ABSTRACT

In the following dissertation, we intend to make a comparative analysis of the mechanical, economic and environmental performance between prefabricated facade panels, with two types of materials, concrete reinforced with steel and concrete reinforced with synthetic fibers (replacing the distribution reinforcement with synthetic fibers).

The use of prefabricated concrete has undergone the evolution of the long time, being reached after the Second World War, in the recovery of the devastated cities. Since the use of prefabricated structures is demonstrated as a solution to the shortage of works of companies, given their speed of manufacture. The use of prefabricated concrete on a large scale has led to the industrialization of construction.

The company's production of precast concrete components in advantageous alkaline steel allows for improved planning and safety, improved quality in sustainability with reduced waste production.

The knowledge of the entire scientific community that steel, despite being a material, suffers from inclement weather, resulting in corrosion. This event reduces the useful life of the structures.

In fact, this is an attempt to project to steel structures, thus arising as synthetic fibers to replace the steel mesh.

ÍNDICE

1.	FUNDAMENTOS E OBJETIVOS	1
1.1.	INTRODUÇÃO	1
1.2.	OBJETIVOS	1
1.3.	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2
2.	ESTADO DE ARTE	4
2.1.	A PRÉ-FABRICAÇÃO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO	4
2.1.1.	DEFINIÇÃO DE PRÉ-FABRICAÇÃO	4
2.1.2.	O APARECIMENTO DO CIMENTO	4
2.1.3.	O BETÃO PRÉ-FABRICADO	5
2.1.4.	A EVOLUÇÃO DA PRÉ-FABRICAÇÃO	7
2.1.5.	A PRÉ-FABRICAÇÃO NOS DIAS DE HOJE	16
2.1.5.1.	NA EUROPA	16
2.1.5.2.	EM PORTUGAL	19
2.2.	BENEFÍCIOS DA PRÉ-FABRICAÇÃO DO BETÃO REFORÇADO COM AÇO	26
3.	SHAY MURTAGH	28
3.1.	APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	28
3.2.	SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	31
4.	PAINÉIS DE FACHADA COM BETÃO REFORÇADO COM FIBRAS SINTÉTICAS	41
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	41
4.2.	CÁLCULO E DIMENSIONAMENTO COM O MODEL CODE 2010	43
4.2.1.	REQUISITOS DE DESEMPENHO DO MODEL CODE 2010 - CAPÍTULO 5.6	44
4.2.2.	REQUISITOS DE DESEMPENHO DO MODEL CODE 2010 - CAPÍTULO 7.7	52
4.3.	PROCESSO CONSTRUTIVO	54
5.	ANÁLISE COMPARATIVA	57
5.1.	SUSTENTABILIDADE	57
5.2.	DURABILIDADE	60
5.2.1.	TIPOS DE CORROSÃO	62
5.2.2.	ESTUDOS REALIZADOS NOS ÚLTIMOS 50 ANOS	64
5.3.	RESISTÊNCIA	71
5.4.	ESTUDO	74
5.4.1.	RESISTÊNCIA	75
5.4.1.1.	REALIZAÇÃO DE ENSAIOS	75
5.4.1.2.	RESULTADOS E RELATÓRIO FOTOGRÁFICO	76

5.4.2.	PRODUTIVIDADE	80
5.4.3.	PESO	80
5.4.4.	CUSTO	81
6.	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS	82

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1 – Fabrica da Shay Murtagh Precast.....	28
Figura 2 – Procedimento de execução da empresa Shay Murtagh	30
Figura 3 – Mersey Gateway	32
Figura 4 – Structure 17, M50 Dublin	32
Figura 5 – Ponte de Shefferlands, Heysham	33
Figura 6 – Crossrail C310, Thames Tunnel, Londres	34
Figura 7 – Structure 17, M50 Dublin	34
Figura 8 – Pilares da ponte reforçada A1	35
Figura 9 – Carlyon Bay Cornwall	36
Figura 10 – Cwm Road Brigge, Gales do Sul	37
Figura 11 – Parede de retenção em L.....	37
Figura 12 – Desenho elucidativo de um sistema de recolha de águas pluviais doméstica	38
Figura 13 – Desenho do painel plano com o reforçado em aço	39
Figura 14 – Desenho do painel em L com o reforçado em aço.....	39
Figura 15 – Desenho do painel U com o reforçado em aço.....	40
Figura 16 - Constituintes do Betão	41
Figura 17 – Varões de aço B500.....	42
Figura 18 – Fibra sintética BarChip 48.....	43
Figura 19 – “Análise inversa de vigas em flexão realizada para obtenção de relação de abertura de tensão-fissura” (figura 5.6-4 do MC2010).....	46
Figura 20 – Leis construtivas pós-fissuração simplificada: abertura de fissuras (linhas contínuas e tracejadas referem-se ao comportamento de amaciamento e endurecimento pós fissuração respetivamente (figura 5.6-7 do MC2010).....	46
Figura 21 - Modelo simplificado adotado para calcular a resistência à tração residual final em tensão uniaxial f_{Ftu} por meio da resistência nominal à flexão residual f_{R3} (figura 5.6-8 do MC2010).....	47
Figura 22- Diagramas de tensão para a determinação da resistência à tração residual f_{Fts} (b) e f_{Ftu} (c) para o modelo linear, respetivamente (figura 5.6-9 do MC2010).....	48
Figura 23 - Relações tensão-deformação no SLS para suavizar (a) e suavizar ou endurecer (b, c) o comportamento do FRC (figura 5.6-11 do MC2010)	49
Figura 24 – Representação esquemática da relação tensão-deformação e abertura da fissura por uniaxial (conforme o fib Bulletin 42) (figura 5.1-4 do MC2010).....	50
Figura 25 – Processo de fabricação dos painéis	55
Figura 26 – Robô a escolher a cofragem de acordo com o CNC	55

Figura 27 – Robô a instalar a cofragem.....	55
Figura 28 – Acessórios instalados.....	56
Figura 29 – Armadura colocada.....	56
Figura 30 – Exemplo de betonagem	56
Figura 31 – Exemplo de betonagem	56
Figura 32 – Desenho das forças de tração no betão reforçado com aço	73
Figura 33 – Desenho das forças de tração no betão reforçado com fibras.....	73
Figura 34 – Esboço do esquema de cargas e apoios aplicados ao painel	75
Figura 35 – Foto global do painel 1 depois do colapso	76
Figura 36 – Foto com pormenor do painel 1 depois do colapso.....	76
Figura 37 – Foto global do painel 2 depois do colapso	77
Figura 38 – Foto com pormenor do painel 2 depois do colapso.....	77
Figura 39 – Foto global do painel 4 sem fissuras	79
Figura 40 – Foto com pormenor do painel 4 depois de fissurar	79

ÍNDICE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Valor de betão pré-fabricado na EU-27, entre 2005 e 2009.....	18
Gráfico 2 – Valor de betão pré-fabricado em Portugal, entre 2005 e 2009.....	18
Gráfico 3 – Evolução da pré-fabricação de betão em 2009 face a 2008 (%).....	19
Gráfico 4 – Índice de produção mensal na Construção e Obras Públicas (2010 2011)	20
Gráfico 5 – Distribuição das empresas segundo evolução das vendas em 2005 e 2008.....	23
Gráfico 6 – Distribuição das empresas segundo o grau de envolvimento em processos de certificação de sistemas de gestão	24
Gráfico 7 – Resultado da pegada de carbono por cada metro cúbico de betão.....	58
Gráfico 8 – Resultado da pegada de carbono por cada metro cúbico de betão.....	59
Gráfico 9 – Efeito dos álcalis na resistência à tração do BarChip ao longo de 100 anos.....	67
Gráfico 10 – Efeito dos álcalis no alongamento do BarChip ao longo de 100 anos	67
Gráfico 11 – Comparação da ductilidade entre o betão e o betão reforçado com fibras BarChip...72	
Gráfico 12 – Comparação de flexão com diferentes reforços de betão de baixa resistência ..74	
Gráfico 13 – Comparação de flexão com diferentes reforços de betão de alta resistência.....74	

ÍNDICE TABELAS

Relativamente a Portugal, a redução da produção rondou os 17%, entre 2008-2009, ficando abaixo da média, quando comparado com os outros países.	16
Tabela 1 - Valor da produção (K €) de 2005 a 2009.....	17
Tabela 2 - Valor da produção (K €) de betão pré-fabricado na EU-27 e Portugal.....	18
Tabela 3 – Volume de negócios e VABpm segundo a forma jurídica, por secção da CAE Ver. 3, 2011 (INE).....	20
Tabela 4 – Fabricação de produtos de betão em Portugal em 2011 (INE).....	21
Tabela 5 – Fabricação de elementos pré-fabricados de betão em Portugal 2011 (INE).....	21
Tabela 6 – Distribuição das empresas, segundo a evolução das vendas entre 2005 e 2008.....	23
Tabela 7- Fator de segurança parcial (tabela 5.6-1 do MC2010).....	51
Tabela 8 – Comparação da pegada de carbono entre o aço e a fibra em diferentes lajes.	60
Tabela 9 – Características da fibra sintética BarChip 48.....	71
Tabela 10 – Comportamento do painel 1 ao esforço axial submetido.....	76
Tabela 11 – Comportamento do painel 2 ao esforço axial submetido.....	77
Tabela 12 – Comportamento do painel 3 ao esforço axial submetido.....	78
Tabela 13 – Comportamento do painel 4 ao esforço axial submetido.....	79
Tabela 14 – Tempo (segundos) utilizado nas várias estações da fabricação de dois painéis.....	80
Tabela 15 – Quantidades utilizadas para a elaboração de um painel.....	80
Tabela 16 – Preço dos materiais e o custo associado a um painel.....	81

1. FUNDAMENTOS E OBJETIVOS

1.1. INTRODUÇÃO

A pré-fabricação impõe-se como a melhor alternativa à construção tradicional. Já que não só reduz os custos dos investimentos, como também possibilita a diminuição dos prazos de execução da obra.

Com o recurso à pré-fabricação, a atividade do estaleiro é reduzida, porque muitos dos elementos da construção são preparados em fábrica, para que à posteriori sejam levados para a empreitada.

Até agora, o aço é o material de eleição para reforço do betão. As estruturas reforçadas com aço têm sofrido fissuras, o que provoca um problema na durabilidade, diminuindo a vida útil das estruturas de betão armado. Essas fissuras possibilitam o movimento de materiais, como os cloretos, o que origina a despassivação das armaduras e conseqüente corrosão. A corrosão das armaduras das estruturas de betão diminui a vida útil das mesmas, causando a manutenção prematura das estruturas.

Face ao exposto, há necessidade de procurar materiais alternativos ao uso do aço, para diminuir o custo económico, melhorar a sustentabilidade e aumentar a durabilidade das estruturas de betão armado, por exemplo face a corrosão das armaduras estruturas. Decorria o ano de 1960, quando surgem as primeiras pesquisas para usar as fibras sintéticas como alternativa ao uso do aço como reforço das estruturas de betão.

Contudo, apenas 30 anos mais tarde, com o desenvolvimento das técnicas de fabricação das tecnologias de plásticos é que se descobriu uma fibra sintética com características semelhantes às do aço no betão.

As fibras sintéticas têm sido usadas como alternativa ao reforço de malha de aço. Estas fibras constituem uma boa opção, aumentando as suas aplicações em grandes obras públicas, como túneis, infraestruturas marítimas e civis, proporcionando maior segurança, desempenho e vantagens económicas e, em muitos casos, diminuindo o impacto ambiental geral.

1.2. OBJETIVOS

A presente dissertação pretenderá alcançar, principalmente, os seguintes objetivos:

- a) Apresentação e caracterização do sistema construtivo convencional (betão reforçado com aço) e betão reforçado com fibras sintéticas;
- b) Verificação das diferenças entre ambos os sistemas construtivos;
- c) Comparação do desempenho de produção, mecânico, económico e da sustentabilidade de ambas as soluções.

Para a elaboração desta tese, recorreu-se a pesquisa bibliográfica e a ensaios práticos para que se possa comparar a utilização entre betão reforçado com aço e betão reforçado com fibras sintéticas.

Nesta dissertação é pretendido verificar a diferença entre ambos os sistemas construtivos, destacando as vantagens e desvantagens de cada um.

Será apresentada a comparação da produtividade, preço e custo da utilização das fibras sintéticas como reforço, que será o objeto de estudo.

Formular, fundamentar e comparar entre o betão reforçado com aço e o betão reforçado com fibras sintéticas.

Expor os dados obtidos, através da análise dos ensaios, e a respetiva interpretação dos mesmos, para que se possa concluir qual o melhor material para reforçar o betão.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente tese apresenta-se planificada em seis capítulos. O primeiro capítulo e o último capítulo englobam, respetivamente, a introdução e conclusão da tese. Os capítulos dois, três e quatro integram a argumentação teórica e a apresentação dos dados.

No capítulo 1, contextualiza-se a dissertação de forma a introduzir os assuntos que serão abordados e as metodologias empregues ao longo da mesma.

No capítulo 2, é apresentada a revisão do estado de arte, com a inserção deste ponto pretende-se realizar uma pesquisa sobre o tema pré-fabricação de betão.

Relativamente ao capítulo 3, será apresentada a empresa que proporcionou este estudo, com a qual se estabeleceu a parceria para a realização desta dissertação, explicitando o seu papel na indústria da construção. Neste ponto são expostos, igualmente, o objeto de estudo.

Já o capítulo 4, abarca a caracterização dos materiais utilizados, o método de cálculo, a sua produção e os testes realizados.

O capítulo 5, engloba a análise comparativa da pesquisa teórica, que será comprovada pelo estudo realizado.

No capítulo 6 é exposto a conclusão e as ilações que se tiram do estudo.

2. ESTADO DE ARTE

2.1. A PRÉ-FABRICAÇÃO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

2.1.1. DEFINIÇÃO DE PRÉ-FABRICAÇÃO

Para uma melhor percepção da importância do processo de pré-fabricação, irão elencar-se algumas definições:

“Fabricação de certo elemento antes do seu posicionamento final na obra”. (Revel, 1973)

Na visão Revel (1973), a pré-fabricação é a produção de elementos de construção civil em indústrias, a partir de matérias-primas e semi-produtos, previamente selecionados e utilizados, com a conclusão da produção são levados até à obra para serem montados.

“A pré-fabricação é uma forma de manifestação da industrialização”. V. Halasz, Prof.

“Por pré-fabricação entende-se a produção de elementos de construção fora do local do seu destino final, tratando-se de elementos que na construção tradicional se realizariam in situ”. Lewicki, Prof.

“A pré-fabricação é um método industrial da construção em que se fabricam grandes séries de elementos e a sua montagem processa-se em obra com a utilização de equipamentos e dispositivos elevatórios” (Koncz, 1975).

“A pré-fabricação é um método para simplificar a construção, por aumento da percentagem de trabalho concluído antes ser construído” (Kelly, 1951).

Para mim a pré-fabricação consiste na fabricação de elementos construtivos fora do local de implantação.

2.1.2. O APARECIMENTO DO CIMENTO

A busca pela criação de uma pedra artificial, que fosse capaz de unir pedras numa massa sólida e coesa vem já das civilizações antigas.

Existem registos que os Assírios e Babilónios, usaram como material ligante a argila; os Egípcios descobriram e utilizaram a cal e o gesso, mas foram os Romanos que desenvolveram um cimento altamente durável, o caementum, que resultava da combinação de cal com "pozzolana", uma cinza vulcânica da zona de Pozzuoli. A maior vantagem deste cimento era a sua resistência à ação da água, quer esta fosse doce ou salgada.

No século XVIII, ocorreu o “redescobrimto” do cimento, devido a um engenheiro britânico chamado John Smeaton. Na década de 1750, realizou inúmeras experiências, constatando que ao misturar a argila com a cal viva, por ação da água, ocorria um processo de colagem e endurecimento.

Os cimentos hidráulicos foram utilizados pela primeira vez, em 1743, para a construção do farol de Eddystone, na costa da Cornualha, em Inglaterra, devido à necessidade de se construir uma estrutura sólida, já que os anteriores faróis tinham sido destruídos pelas tempestades e pela força do mar. Este cimento consistia numa mistura de cal viva, argila, areia e escória de ferro em pó e foi utilizada para unir as pedras do farol (Giedion, 2009).

Em 1796, o britânico James Parker criou um cimento, que se obtinha através da calcinação de pedaços de calcário impuro contendo argila. Com a comprovação da aplicabilidade desta invenção nas construções, James Parker vendeu a sua patente à família Wyatt, uma família tradicional de engenheiros e arquitetos Ingleses.

Mais tarde, em 1824, Joseph Aspdin, de Leeds, prosseguiu com as experiências de Smeaton, e utilizou materiais em estado natural, o que resultou no primeiro ligante hidráulico, que endurecia por ação da água. O método consistia em combinar proporções bem definidas de calcário e argila, reduzindo-as a pó e calcinando-as num forno, de forma a obter um clínquer, que era moído até se transformar em cimento, denominando-se de cimento Portland, devido à cor e às características semelhantes às pedras da Ilha de Portland.

No decorrer do ano de 1824, Joseph Aspdin patenteou o processo de fabrico do cimento Portland, criando um material que haveria de modificar toda a cultura construtiva do século.

O fabrico industrial do cimento Portland desencadeou, em meados do século XIX, o desenvolvimento dos processos industriais de pré-fabricação de elementos resistentes em betão, em alternativa aos elementos de ferro laminado que se produziam então.

O cimento Portland é hoje um processo de fabrico complexo, que resulta numa combinação química do cálcio, da sílica, do ferro e do alumínio se fundem em quantidades proporcionais.

2.1.3. O BETÃO PRÉ-FABRICADO

O betão tem-se revelado um material essencial, uma vez que é a segunda substância mais consumida no mundo.

Embora seja um material de construção recente, contribuiu mormente para o desenvolvimento da arquitetura moderna devido à sua fluidez e capacidade moldável, possibilitando uma diversidade de soluções na materialização da conceção arquitetónica.

De uma forma básica, o betão é uma mescla de areia, brita e/ou outros agregados, que se unem através do cimento e da água.

O betão armado decorre da junção de armaduras de aço à mistura mencionada anteriormente. As armaduras são montadas seguindo os protocolos dos projetos de especialidade.

O processo desenrola-se por diversas fases. A primeira é o escoramento, à que se seguem a montagem de cofragem, e de armaduras, culminando na betonagem, ou seja, descarregar o betão fresco nas armaduras.

Para atingir a sua resistência máxima, o betão armado necessita de um tempo de cura. De acordo com Camposinhos, seguindo uma perspetiva técnica resulta em converter pedra natural (agregado, cimento, ferro) em pedra artificial.

O produto de betão pré-fabricado tem origem na fábrica através da produção de elementos simples em betão, que numa fase mais avançada do processo se unirá com outras peças, tornando-se parte de uma estrutura maior.

Os elementos pré-fabricados de betão são produzidos na totalidade em fábrica, isto significa que são preparados, moldados e curados em fábrica, para após este processo serem transportadas e montados in situ. É um processo com as seguintes vantagens:

- a) **Segurança e controle de qualidade:** antes de serem incluídos na obra poderá ocorrer a verificação das características do betão endurecido e a posição dos reforços. A qualidade intrínseca de um produto industrial, fabricado com controle ambiental e com métodos adequados;
- b) **Acessibilidade:** o betão pré-fabricado alia a qualidade da produção industrial com material com baixo custo. A manutenção e/ou reparação das estruturas não acarretam elevados custos.
- c) **Sustentabilidade:** o betão pré-fabricado reduz o impacto no meio ambiente, porque recorre a recursos naturais, que se encontram disponíveis em grande parte dos sítios e em elevadas quantidades.

d) **Rapidez:** a produção não está sujeita a condições climáticas, podendo ser produzido independentemente da localização da obra de construção a que se destina. Em algumas situações o uso de substâncias de betão pré-fabricado poderá reduzir os constrangimentos da aplicação in situ.

2.1.4. A EVOLUÇÃO DA PRÉ-FABRICAÇÃO

A partir de 1890

Em 1890, o construtor francês François Hennebique foi o grande instigador da aplicação do betão armado em grande escala. Apesar do seu conhecimento não ter base científica, possuía conhecimento acerca não só das características dos diversos materiais, do ferro e do betão, mas também sobre a sua combinação, a disposição das barras de ferro para armar betão em função das solicitações das cargas, o que possibilitou o desenvolvimento das primeiras aplicações.

O sistema criado apoiava-se na decomposição da estrutura em elementos reticulares formados por pilares, vigas e lajes em betão armado, diminuindo a estrutura dos edifícios ao esqueleto portante.

Contudo, o método empírico usado por François Hennebique não reunia consenso, e na Alemanha em contraposição surgiu uma escola de engenharia, que criou métodos de cálculo das estruturas em função do comportamento do betão, baseando-se no método científico. Este método tem por base os sistemas criados por Monier, mais concretamente a patente de 1877 das vigas pré-fabricadas, onde se explanava o papel do ferro no material.

Os métodos referidos para a conceção estrutural do betão armado, originaram duas correntes: o sistema francês e o sistema alemão.

Finais do séc. XIX até ao final da Segunda Guerra Mundial

O desenvolvimento do betão armado impeliu fortemente a indústria da pré-fabricação. O betão armado passou a ser o material preferencial na construção, a partir dos finais do séc. XIX até ao final da 2ª Guerra Mundial, possibilitando o aparecimento de novas soluções e aplicações de pré-fabricação. No final do século XIX, o betão armado tinha alcançado um papel importante no contexto técnico/económico no setor da construção civil, particularmente pelas construções desenvolvidas pelos engenheiros François Hennebique, François Coignet, Gustav Adolf Wayss, Conrad Freytag e Paul Cottancin.

Este lugar na construção civil foi alcançado porque o betão apresentava características técnicas, como é o caso da sua grande resistência quer estrutural, quer ao fogo e a capacidade de ser moldável (cofragem), o que permite a expansão da criatividade dos projetistas, nomeadamente nas construções em aço. Pesou, igualmente, o fator económico, dada a utilização de matérias-primas baratas, permitindo um produto final mais económico.

Apesar dos pontos positivos, ocorriam algumas contrariedades do ponto de vista prático, para a execução da tecnologia do betão, especialmente o custo do transporte dos elementos pré-fabricados, da fábrica para a obra, este gasto era, apenas, vantajoso em aplicações de larga escala.

Início do século XX

No início do século XX, John Conzelmann registou em seu nome, um método para a construção de prédios com elementos pré-fabricados de betão armado. Enquanto isso, em França um grupo de arquitetos experimentavam técnicas de pré-fabricação, no sentido de solucionar a falta de habitação, procurando alcançar com a maior rapidez a construção de novos edifícios habitacionais, não descurando o baixo custo, e procurando refinar os procedimentos.

O arquiteto suíço Le Corbusier, evidenciou-se, na procura de viabilizar edifícios habitacionais serie estudou várias soluções pré-fabricadas de habitações em série. Como resultado do seu estudo, surge em 1915 a “Casa Domino”, como obra primogénita. A “Casa Domino” baseava-se na elaboração de elementos normalizados, que se aliam entre si, possibilitando diversas opções na organização das casas das casas em grupos.

Após a primeira Guerra Mundial

Com o fim da Primeira Guerra Mundial levaram-se a cabo outras iniciativas, ao que à pré-fabricação de edifícios diz respeito. Os arquitetos Le Corbusier(1921), Buckminster Fuller (1927), procuraram solucionar os problemas de habitação que existiam nos seus países recorrendo à pré-fabricação. Em 1930, Marcel Lods e Beaudouin idealizaram as primeiras casas pré-fabricadas em França, na "Cité des Oiseaux", em Bagneuse. Contudo, a fraca viabilidade económica acabou por ditar a baixa difusão do projeto.

O final da Guerra Mundial ditou a premência em gerar habitações de forma rápida e económica, galvanizando a pré-fabricação em massa de elementos para a edificação dos complexos habitacionais multifamiliares de cariz social.

Assim, formalizou-se os sistemas de pré-fabricação, onde se adicionaram os elementos de betão armado.

As soluções encontradas para os complexos habitacionais foram utilizadas para a construção de outros tipos de edifícios, como é o caso das escolas.

Década de 40

No final da década de 40, em Portugal iniciam-se as experiências de pré-fabricação, que englobava asnas e vigas trianguladas industriais.

Finda a Segunda Guerra Mundial

Decorria a década de 50, quando emergiram as construções mais destacadas e totalmente pré-fabricadas, estas davam origem a pavilhões industriais.

Na visão de Ordonéz (Ordonéz, 1974), a história real da pré-fabricação é a “manifestação mais significativa da industrialização na construção”, começou após a Segunda Guerra Mundial, nomeadamente na Europa, já que a construção em massa se tornava urgente. A escassez de edifícios, devido à ruína causada pela guerra, o boom demográfico e a condensação da indústria nas grandes cidades, levou que fosse imprescindível a construção rápida e económica.

O betão tornou-se o elemento construtivo preferencial, para debelar a insuficiência de edifícios, uma vez que permitia a produção em serie. A construção vira-se para a pré-fabricação (Koncz, 1975).

A produção em série constituía-se, do ponto de vista económico, viável, uma vez que ocorreu a mecanização das linhas de produção, esta permitiu que as peças fossem aplicadas em várias obras. Assinalando o início da industrialização da construção, marcado não só pela quantidade, mas também pela disseminação da construção, procurando resolver-se a questão de escassez habitacional (Pinto, 2000).

Durante este tempo a economia cresceu significativamente, em que a quantidade se impôs face à qualidade, havendo envolvimento do Estado neste crescimento e com responsabilidade no financiamento para incrementar os processos de construção industrializada.

A construção tradicional estava desordenada, devido à escassez de recursos humanos qualificados, de materiais, de equipamento e de energia. Deste modo, a construção industrializada torna-se o manifestamente a melhor solução no que diz respeito à quantidade, tempo de construção e preço.

Na ex-URSS, foi onde mais se recorreu à construção industrializada, tendo-se erguido mais de duzentas novas localidades num curto espaço de tempo, os métodos tradicionais de construção não teriam esta capacidade de resposta. Para que a reconstrução se tornasse possível aplicaram painéis de grandes dimensões em betão, dando origem à expressão o “logótipo da reconstrução europeia” (Serrano, 1997).

O destaque que a pré-fabricação avoca hoje em dia deve-se à solução técnica e económica adotada após a segunda guerra mundial.

Por esta altura, surgiram dois métodos de construção industrializada com rentabilidade económica, que concorriam entre si e estipulavam os preços do mercado:

- a) A Pré-Fabricação (total ou parcial, pesada ou leve, nas suas vertentes plana, linear, plano linear e tridimensional);
- b) O Tradicional Evoluído ou Racionalizado, com base no betão moldado in situ, com origem no "béton banché". Nesta construção são, também, usados materiais novos derivados do cimento e matérias tradicionais. Há uma racionalização dos métodos de construção em obra e o recurso à aplicação de equipamentos especiais.

Década de 70

Entre 1970 e 1973, ocorreu a primeira crise energética, como consequência do primeiro choque petrolífero. Esta situação condicionou a utilização da energia, os diferentes governos impuseram leis restritas, nomeadamente o isolamento térmico dos painéis.

As leis impostas permitiram o fortalecimento da resistência térmica dos painéis e o conforto hidrotérmico, permitindo a economia da energia, a melhoria do estado de saúde dos utentes, diminuição de doenças e dos valores da manutenção, possibilitando o aumento do ciclo de vida dos edifícios.

As exigências impostas para o conforto térmico e às elevadas críticas dos utilizadores à construção em massa, referindo que se tornava monótona e pouco flexível, levando a um afastamento progressivo dos sistemas fechados à base de grandes painéis simples, que agora se denominam como “a primeira geração de tecnologias de industrialização” (Serrano, 1997).

Segundo Pinto (Pinto, 2000), nesta altura, em toda a Europa, dá-se o encerramento gradual das grandes fábricas de pré-fabricação total pesada de betão. As mudanças do mercado não foram acompanhadas pelas fábricas com este tipo de pré-fabricação, já que necessitavam de

investimentos de capital fixo e por serem pouco flexíveis, não sendo fácil escoar o produto face à capacidade instalada.

As construções são mais reduzidas e encontram-se dispersas, aumentando a distância das fábricas aos estaleiros, porque o raio de ação face à procura amplia, o que resulta no aumento dos custos de transporte e dificuldades nas acessibilidades.

Na ótica de Serrano (Serrano, 1997), foi nesta altura que se sucederam acidentes com edifícios construídos através da construção industrializada, incitando a negação deste tipo de construção pela sociedade.

O acidente que mais contribuiu para a rejeição, aconteceu em Londres, em 1968, nos apartamentos Ronan Point, que desabou parcialmente depois de uma botija de gás explodir. A construção com painéis pré-fabricados foi confrontada com o facto de se parecer com um castelo de cartas, que facilmente colapsa por reação em cadeia. O acidente pôs em causa os processos construtivos em grandes elementos pré-fabricados, tendo favorecido o afastamento gradual dos sistemas pré-fabricados de ciclo fechado de produção.

Para Pinto (Pinto, 2000), nesta época a qualidade foi-se impondo à quantidade. O dilema da escassez de edifícios nos países Europeus foi amplamente resolvido, devido à política de massificação da construção, registando-se pelo menos 10 fogos por cada 1.000 habitantes, tendo afetando 5% do seu P.I.B.

A supremacia da qualidade face à quantidade foi o resultado da carência de variação e melhor desenho dos edifícios, reivindicada pelos projetistas, particularmente pelos arquitetos, e de satisfazer as imposições qualitativas dos utilizadores, tais como o conforto hidrotérmico e acústico.

Esta exigência na melhoria da qualidade dos projetos e da construção, como por exemplo a variação de elementos, apreciando as estruturas e jogando com as formas e os materiais, e a exigência crescente, levou a que a pré-fabricação encerrasse o seu ciclo, contrapondo-se ao “Sistema de Pré-fabricação Aberta”. Do novo ciclo destacam-se os novos materiais e maiores exigências estéticas, as vantagens são a possibilidade dos elementos poderem desempenhar diferentes funções, incluindo novas formas estruturais e possuírem distintas aplicações (Santiago, 1999).

Década de 80

Em 1980, surgiu a “segunda geração tecnológica” no que à construção pré-fabricada em betão armado diz respeito. Esta situação deveu-se a dois fatores. O primeiro, pela demolição dos conjuntos habitacionais, fundamentada por um quadro negativo, principalmente a rejeição social e deterioração funcional. O segundo, pela consolidação de uma pré-fabricação com sistemas de ciclo aberto de produção, que conciliam os processos de produção flexíveis, à base de componentes compatíveis e de origens diversas, concludentemente, de distintos produtores, com os conhecimentos heterogêneos que contribuem para uma maior qualidade geral do produto final. Os componentes ou elementos de fábrica são construídos por meio de procedimentos industrializados, em fábrica ou em obra, em coordenação dimensional modular, não ligados à partida a tipos particulares de construção de matriz fechada.

O ciclo aberto de produção possibilitou o progresso da produção industrial de elementos construtivos coordenados, alicerçada na coordenação modular. No sentido de uniformizar a junção e a estruturação foram efetuadas diversas investigações e tentativas, sendo o módulo corbusiano, o exemplo mais claro da nova sensibilidade pela invenção de uma ordem métrica universal.

Bergvall e Dahlberg, na Suécia, analisaram a coordenação modular tomando o módulo de 10 cm como base, enquanto na América do Norte era o de 4 polegadas (10,16 cm). Na Europa, com exceção da Alemanha, que discutia na altura as vantagens da anuência do módulo octamétrico (12,50 cm) ou do decimétrico (10,00 cm), e da Inglaterra (4 polegadas), não houve obstáculo à adoção do módulo de 10,00 cm. Dos países membros da International Organization for Standardization (ISO), 31 adotaram o módulo decimétrico, o Canadá e os Estados Unidos normalizaram o módulo em 4 polegadas (Greven, 2007).

Outros dos sistemas que foi desenvolvido foi o da normalização, criando regras e definindo técnicas para garantirem a uniformização e a qualidade das edificações.

“A Normalização é a atividade destinada a estabelecer, face a problemas reais ou potenciais, disposições para a utilização comum e repetida, tendo em vista a obtenção do grau ótimo de ordem, num determinado contexto” (IPQ, 2009).

A normalização pretende assegurar a aptidão ao uso de um produto, processo ou serviço, limitar a variedade, assegurar a compatibilidade, assegurar a intermutabilidade, garantir a segurança (proteção da vida humana e da saúde) e a proteção do ambiente.

A ISO nasceu da união de duas organizações, a International Federation of the National Standardizing Associations (ISA), criada em Nova Iorque em 1928, e a United Nations Standards Coordinating Committee (UNSCC) criada em 1944. Começou, oficialmente, as suas funções em 23 de fevereiro de 1947, tendo 25 países como participantes.

Depois da Segunda Guerra Mundial, houve uma grande adesão à ISO, incitada pela carência dos países retomarem a normalidade.

Entre 1947 e 2008, a ISO difundiu mais de 16.500 Normas Internacionais, compreendendo várias atividades associadas à construção e às engenharias, evidenciando-se as séries ISO 9000 (Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos) e ISO 14000 (Gestão ambiental nas empresas).

No ano de 1990, foi subscrito um acordo de colaboração técnica, entre a ISO e o CEN, intitulado “Acordo de Viena”. Uma série de mecanismos processuais foram criados para que se certificassem, sempre que possível, a compatibilidade entre as Normas Internacionais e as Normas Europeias, e que idealmente fossem idênticas.

No setor dos sistemas pré-fabricados, a construção é regulada por normas, que atestam os vários processos, nomeadamente o de fabrico e o de montagem.

Os sistemas pré-fabricados de “ciclos abertos” são determinados pela pré-fabricação de componentes padronizados, que podem ser relacionados a produtos de outros fabricantes, e onde a modulação e a padronização de componentes fornecem a base para a compatibilidade entre os elementos e subsistemas (Ferreira, 2003).

Década de 90

A partir da década de 90, volta-se a presenciar a construção de painéis de betão pré-fabricado, usado frequentemente em edifícios de hotéis e indústrias. Apesar disso, a prática de produção de betão expõe consideráveis evoluções, confirmando, a maior leveza aos painéis, alcançada pela utilização e combinação de outros materiais (argila expandida, fibras, betão celular, etc.), ou pela diminuição de massa (painéis ocos e cascas).

Elliot (Elliott, 2002) considera uma terceira geração de sistemas pré-fabricados para edificações, porque os projetistas europeus nos últimos 30 anos investigaram e desenvolveram soluções consentindo a impressão de acabamentos de alta qualidade aos elementos pré-fabricados.

A concepção tradicional do projeto dos sistemas pré-fabricados de betão deve considerar a nova realidade tecnológica, sendo a indústria da construção chamada para o projeto multifuncional, onde a otimização de todos os componentes que formam o edifício deve ser maximizada.

Ferreira (Ferreira, 2003) considera que os sistemas flexibilizados na produção podem ser aplicados fora da fábrica, já que existem elementos que poderão ser construídos no estaleiro de obra, considerando o controlo da qualidade e do sistema de produção in situ. Depois dos elementos alcançarem o tempo de cura necessário, que aprove obter a resistência para seu levantamento, serão posicionados e montados nos pontos previstos em projeto, juntando-se a outros elementos já montados.

Pinto (Pinto, 2000), “o estaleiro tende a ser um local de montagem, não só de materiais industrializados, mas também de componentes pré-fabricados, mais leves e flexíveis, com ligações metálicas a seco, facilmente montáveis e desmontáveis”.

Entre estes componentes temos os painéis em GFRC (betão reforçado com fibra de vidro), assim sendo originam peças mais graciosas e mais leves do que as produzidas só em betão. A montagem é básica, sendo na maior parte das ocorrências, somente, necessário socorrer-se a uma grua, tendo em conta que o peso da peça é baixo, assim a operação é menos dispendiosa.

Períodos de pré-fabricação

A evolução da pré-fabricação está dividida em períodos, o número estabelecido varia conforme o autor.

Por um lado, para o arquiteto Alberto Reaes Pinto (Pinto, 2000), o progresso da pré-fabricação, em França (CSTB 1997), fez-se através de dois grandes períodos:

- a) Primeiro período - de 1947 a meados da década 1970;
- b) Segundo período - a partir de meados da década de 1970.

Por outro lado, Julián Salas Serrano (Serrano, 1997) institui que o percurso dos sistemas pré-fabricados em betão fez-se através de três períodos:

- a) Primeiro período - de 1950 a 1970;
- b) Segundo período - de 1970 a 1980;
- c) Terceiro período - a partir de 1980.

Recentemente

Ultimamente a utilização da pré-fabricação tornou-se mais frequente, principalmente nas obras de edificação de pontes e viadutos, também foi usada em várias obras de arte, muros de contenção, perfis de proteção, redes de drenagem de águas (pluviais e residuais) e outras infraestruturas.

No que diz respeito à pré-fabricação, foram criados novos produtos com algum destaque na construção industrializada, especificamente são as instalações sanitárias pré-fabricadas ou “casas de banho prontas”.

Os elementos das estruturas têm um melhor comportamento, dado o controlo de qualidade em fábrica e por ser fabricado, na maior parte dos casos, como uma peça única. Porém, as acoplagens entre os vários elementos podem impedir o comportamento do conjunto, pois as acoplagens, particularmente as monolíticas, não são fáceis de executar conforme o pretendido no projeto. Devido a esta situação, os sistemas pré-fabricados não tenham sido aplicados em grande número na construção corrente de edifícios. A pré-fabricação é empregada para a consecução de elementos construtivos resistentes, como pilares, vigas e lajes ou como elementos de revestimento.

Atualmente a pré-fabricação apresenta-se como uma alternativa viável à construção tradicional em betão. Os elementos são produzidos em indústrias especializadas, são transportados e montados em obra, configurando estruturas idênticas às estruturas tradicionais em betão.

Prognóstico

Durante esta década, a indústria de pré-fabricação será conveniente desafiar a sua produção estimulando o seu desenvolvimento, mesmo que comedido, durante. Antecipa-se que a pesquisa destes elementos amplie face à construção tradicional, dando espaço para a indústria estabelecer estratégias de resposta, em tempo útil, às novas necessidades do mercado, socorrendo-se a recursos humanos especializados e ao exigente controlo de qualidade, quer dos materiais, quer da produção [adaptado de (Mondragão, 2011)].

A meu ver a indústria da pré-fabricação irá aumentar a nível mundial, no ramo de grandes infraestruturas, podendo ainda atuar na construção de moradias em banda.

2.1.5. A PRÉ-FABRICAÇÃO NOS DIAS DE HOJE

2.1.5.1. NA EUROPA

O 20º Congresso Internacional da BIBM (Bureau International du Béton Manufacturé), Federação Europeia da Indústria de Pré-fabricação em Betão, realizado nos dias 16 e 17 de junho de 2011, subordinado ao tema “Life is so concrete” (A vida é tão real/betão), fazendo referência ao duplo sentido da palavra inglesa “concrete”, foi divulgado um relatório sobre o mundo da pré-fabricação na Europa.

A indústria da pré-fabricação dentro da União Europeia dava emprego a aproximadamente 210.000 trabalhadores, divididos pelas 8.000 unidades de produção, empregando 26 trabalhadores por cada unidade de produção.

A indústria da pré-fabricação não escapou à crise mundial (financeira e económica). A crise teve início no sistema financeiro e no mercado imobiliário, que depressa dispersou o seu impacto negativo sobre a economia real, pela redução da procura global e os fluxos de comércio. Os resultados de tal quadro impuseram as contrações no desenvolvimento. Após a redução dos níveis de atividade no setor da construção, o volume de produção de betão pré-fabricado tombou, conforme se pode observar na tabela 1 - Valor da produção (k €) de 2005 a 2009, assentando as taxas de crescimento mais baixas na maioria dos países europeus.

Em 2009, a produção de betão pré-fabricado na União Europeia decresceu 28% face a 2008, conforme representada tabela 2 e gráfico 1.

Relativamente a Portugal, a redução da produção rondou os 17%, entre 2008-2009, ficando abaixo da média, quando comparado com os outros países.

Tabela 1 - Valor da produção (K €) de 2005 a 2009

Fonte: Eurostat (Faltam dados para Chipre, Luxemburgo, Islândia)

País	2005	2006	2006/ 2005 (%)	2007	2007/ 2006 (%)	2008	2008/ 2007 (%)	2009	2009/ 2008 (%)
Áustria	652.872	679.605	4,1	687.620	1,2	826.259	20,2	721.023	-12,7
Bélgica	999.923	1.111.099	11,1	1.182.903	6,5	1.247.124	5,4	1.104.059	-11,5
Bulgária	44.835	66.523	48,4	87.211	31,1	114.989	31,9	79.490	-30,9
República Checa	434.439	395.833	-8,9	690.499	74,4	794.313	15,0	588.954	-25,9
Dinamarca	153.144	158.634	3,6	-	-	811.967	-	469.876	-42,1
Estónia	90.648	120.870	33,3	151.680	25,5	96.131	-36,6	44.871	-53,3
Finlândia	517.560	585.144	13,1	712.116	21,7	718.965	1,0	443.597	-38,3
França	3.100.425	3.408.413	9,9	3.172.543	-6,9	3.586.453	13,0	2.945.788	-17,9
Alemanha	5.374.470	5.767.479	7,3	4.517.551	-21,7	4.516.826	0,0	1.455.573	-67,8
Grécia	84.610	88.088	4,1	116.515	32,3	139.762	20,0	63.405	-54,6
Hungria	272.684	286.418	5,0	314.829	9,9	358.869	14,0	260.090	-27,5
Irlanda	608.167	692.034	13,8	665.231	-3,9	626.504	-5,8	329.737	-47,4
Itália	5.470.415	5.651.574	3,3	5.492.200	-2,8	5.444.541	-0,9	4.300.000	-21,0
Letónia	52.593	80.125	52,3	109.679	36,9	93.881	-14,4	32.599	-65,3
Lituânia	89.267	131.419	47,2	164.240	25,0	143.865	-12,4	62.248	-56,7
Polónia	783.965	1.017.034	29,7	1.492.499	46,8	1.741.673	16,7	1.259.150	-27,7
Portugal	443.090	389.249	-12,2	420.604	8,1	383.933	-8,7	317.945	-17,2
Roménia	183.983	239.087	30,0	335.085	40,2	374.478	11,8	233.579	-37,6
Eslováquia	150.033	92.931	-38,1	213.013	129,2	274.549	28,9	187.685	-31,6
Eslovénia	51.673	65.128	26,0	74.145	13,8	98.887	33,4	87.348	-11,7
Espanha	3.358.933	3.950.431	17,6	4.206.015	6,5	3.623.201	-13,9	2.493.621	-31,2
Suécia	594.433	721.440	21,4	868.422	20,4	922.177	6,2	643.457	-30,2
Holanda	1.600.419	1.602.427	0,1	1.859.340	16,0	2.072.591	11,5	1.808.723	-12,7
Reino Unido	3.474.329	3.474.204	0,0	3.525.686	1,5	2.713.768	-23,0	1.945.902	-28,3
EU27	29.192.031	31.598.122	8,2	33.625.107	6,4	35.834.621	6,6	25.935.923	-27,6
Croácia	97.486	100.277	2,9	118.230	17,9	130.124	10,1	105.280	-19,1
Noruega	478.481	564.484	18,0	598.327	6,0	552.205	-7,7	383.028	-30,6

Tabela 2 - Valor da produção (K €) de betão pré-fabricado na EU-27 e Portugal

País	2005	2006	2007	2008	2009	2009/ 2008 (%)
Portugal	443.090	389.249	420.604	383.933	317.945	-17,2
EU27	29.192.031	31.598.122	33.625.107	35.834.621	25.935.923	-27,6

Fonte: Eurostat

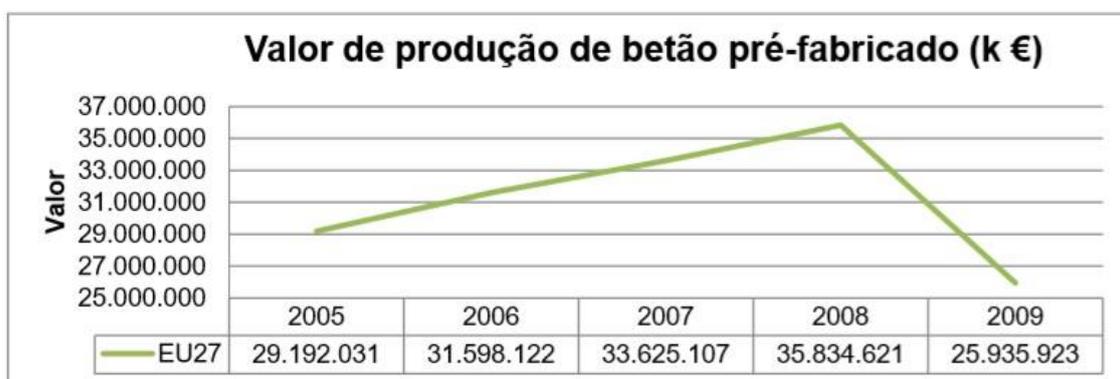


Gráfico 1 – Valor de betão pré-fabricado na EU-27, entre 2005 e 2009

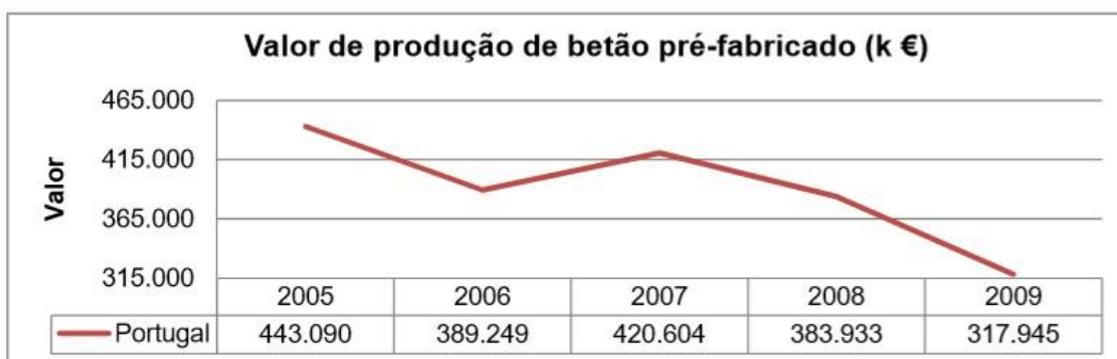


Gráfico 2 – Valor de betão pré-fabricado em Portugal, entre 2005 e 2009

Apesar de a situação alterar de país para país, a indústria do betão pré-fabricado está a defrontar tempos muito difíceis, sobretudo como efeito da crise de crédito, que atinge o setor da construção. De acordo com os dados do Eurostat, neste mesmo período, países como a Estónia, Alemanha, Grécia, Letónia e Lituânia tiveram uma redução mais significativa, superados os 50% (figura 3 – Evolução da pré-fabricação em betão em 2009 face a 2008 (%)).

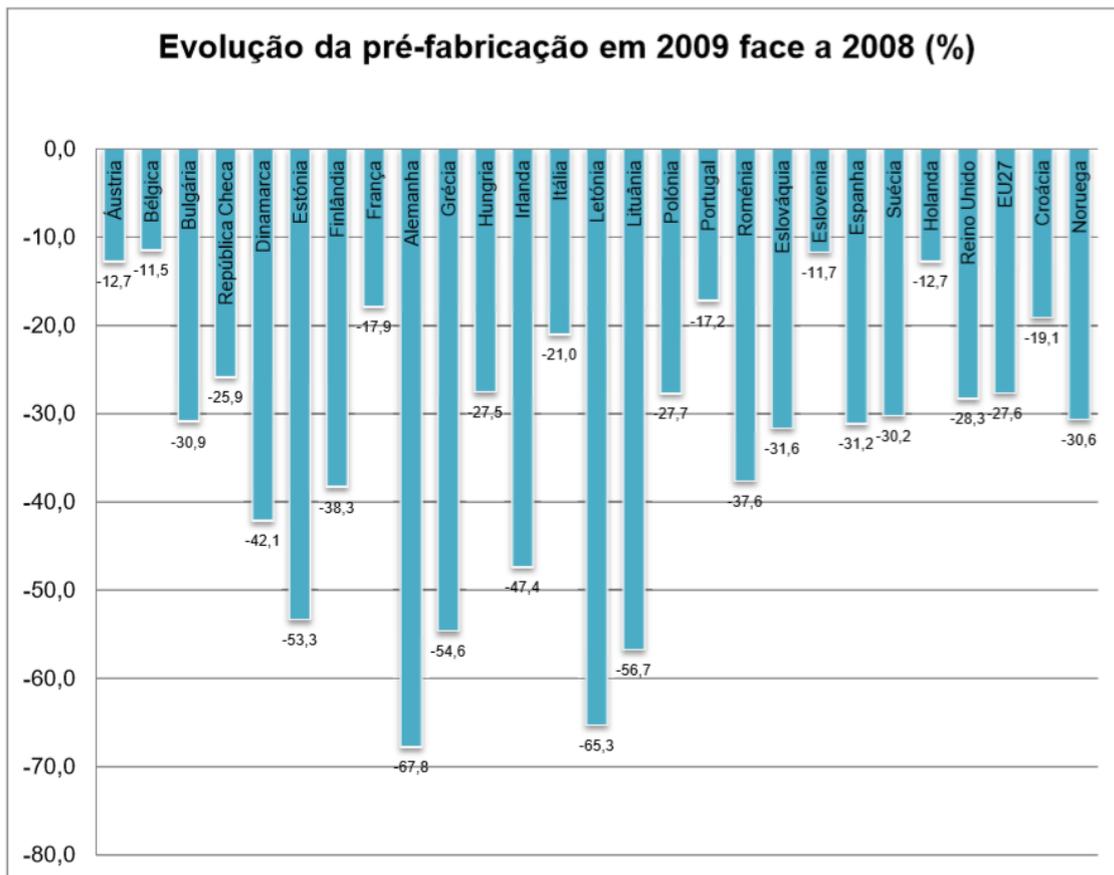


Gráfico 3 – Evolução da pré-fabricação de betão em 2009 face a 2008 (%)

2.1.5.2. EM PORTUGAL

Em Portugal a análise dos dados estatísticos relativos às duas indústrias é retirada do INE. Segundo dados do INE (INE, 2013), em 2011, a indústria de construção em Portugal, era composta por 54.359 empresas individuais e 44.820 sociedades, perfazendo o total de 99.179 empresas.

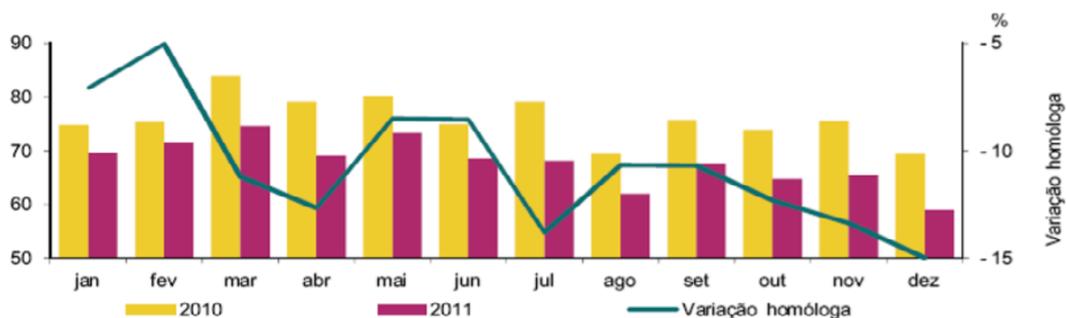
No ano de 2011, a Construção e as Atividades Imobiliárias foram os setores que assinalaram as maiores descidas nos principais indicadores económicos, assim como as maiores reduções percentuais no número de empresas e de pessoas ao serviço.

Pela observação da tabela 3, o volume de negócios (VVN) na construção reduziu em 2011, face a 2010, sendo as diminuições muito significativas (-16,6%) e nas atividades imobiliárias (-16,5%). O VVN da construção que mais apertou foram nas sociedades (-5.452 milhões de euros que em 2010), nas empresas individuais foi o volume de negócios do comércio que mais decresceu (-382 milhões de euros face ao ano anterior).

Tabela 3 – Volume de negócios e VABpm segundo a forma jurídica, por secção da CAE Ver. 3, 2011 (INE)

Secção CAE Ver. 3	Total				Empresas Individuais				Sociedades			
	Volume de negócios		VABpm		Volume de negócios		VABpm		Volume de negócios		VABpm	
	10 ³ Euros	Tx. Var. 10/11 (%)	10 ³ Euros	Tx. Var. 10/11 (%)	10 ³ Euros	Tx. Var. 10/11 (%)	10 ³ Euros	Tx. Var. 10/11 (%)	10 ³ Euros	Tx. Var. 10/11 (%)	10 ³ Euros	Tx. Var. 10/11 (%)
F – Construção												
2010	35.120.584		8.873.102		1.674.938		774.912		33.449.839		8.096.231	
2011	29.290.567		7.497.771		1.293.052		599.782		27.997.515		6.897.989	
Diferença	-5.830.017	-16.6	-1.375.331	-15.5	-381.886	-22.8	-175.130	-22.6	-5.452.324	-16.3	-1.198.242	-14.8
L – Atividades imobiliárias												
2010	5.541.634		1.843.774		137.377		81.972		5.405.844		1.761.109	
2011	4.627.264		1.598.552		107.978		52.298		4.519.286		1.546.254	
Diferença	-914.370	-16.5	-245.222	-13.3	-29.399	-21.4	-29.674	-36.2	-886.558	-16.4	-214.855	-12.2

Através da análise do índice de produção mensal na Construção e Obras Públicas, em 2010 e 2011, representados na figura 4, apura-se que as taxas mensais de variação homóloga adotaram sempre valores negativos, danificando-se durante 2011.



Fonte: INE, Índice de produção na Construção e obras públicas (Base 2005=100)

Gráfico 4 – Índice de produção mensal na Construção e Obras Públicas (2010 2011)

A fabricação de produtos de betão em Portugal

No ano de 2011, observou-se, em Portugal, a venda de 298.394.536,00 € em produtos de betão (tabela 4), sendo a fabricação de elementos pré-fabricados para a construção, de betão ou de pedra artificial, no valor de 108.401.403,00 € (tabela 5), exibindo este valor 36% do total de produtos de betão vendidos. A quebra nas vendas ocorreu de 2010 para 2011 de 174.656.873,00 € (-15%).

O volume de negócios na Construção, do mesmo ano, no valor de 29.290.567,00 milhares de euros e o valor de vendas de elementos pré-fabricados para a construção de 108.401.403,00 €, pode concluir-se que este participa em cerca de 4% para este sector.

Tabela 4 – Fabricação de produtos de betão em Portugal em 2011 (INE)

Designação	Valor das Vendas			
	Mercado Nacional	União Europeia	Países Terceiros	Total
	Euros			
Fabricação de produtos de betão para a construção	205.641.520	46.157.503	8.802.049	260.601.072
Fabricação de outros produtos, betão, cimento e gesso	33.369.779	4.181.072	242.613	37.793.464
Total	239.011.299	50.338.575	9.044.662	298.394.536

Tabela 5 – Fabricação de elementos pré-fabricados de betão em Portugal 2011 (INE)

Produtos Produzidos	Uni.	Quantidades			Valor das Vendas (Euros)
		Produzidas		Vendidas	
		2010 (Rv)	2011		
Elementos pré-fabricados (inclui vigas) para a construção, de betão ou de pedra artificial	Kg	1.152.270.344	977.613.471	956.202.119	108.401.403

A Indústria de Pré-fabricação em Betão, em Portugal.

Pela informação que consta num estudo realizado pela ANIPB (ANIPB, 2008), em 2008, com o tema “A Indústria de Pré-fabricação em betão em Portugal”, até então não havia capacidade de avaliação da indústria do betão. Este estudo tem como principal objetivo contradizer e clarificar a informação estatística documental, uma vez que esta é reduzida. O estudo descreve e analisa a situação deste setor até ao ano de 2008, antevendo tendências quanto à sua progressão.

Domínios da atividade

O principal domínio da indústria de pré-fabricação em betão é a fabricação de produtos destinados à construção civil e obras públicas.

Os produtos podem ser catalogados segundo as aplicações a que se designam, e encontram-se agrupados em três domínios:

- a) Produtos para construção de edifícios;
- b) Produtos para engenharia civil;
- c) Produtos para aplicações específicas

Em termos da Classificação das Atividades Económicas (CAE), o setor é composto pelas empresas que se encaixam na classe CAE (Rev. 2.1) 26610 – “Fabricação de Produtos de Betão para a Construção”, agregando similarmente e residualmente, algumas empresas selecionadas na CAE (Rev. 2.1) 26660 – “Fabricação de Outros Produtos de Betão, Gesso, Cimento e Marmorite”.

Registo de empresas da Indústria de Pré-fabricação em Betão

Segundo os registos do FGUE (INE, 2005), em 2005 estavam inscritas 360 empresas com o CAE 26610 – “Fabricação de Produtos de Betão para a Construção”. Todavia, este número precisaria de ser corrigido em baixa, já que cerca de 10% destas empresas não se encontraria a exercer a atividade nesta data, portanto não havia informação disponível sobre o seu volume de vendas ou de pessoal no ativo.

No que diz respeito à Eurostat, referindo-se a 2005, contesta este número com os dados da Prodcom (Prodcom, 2005), aludindo que se encontravam registadas 410 empresas, na classe NACE 26610, um número acima do registado pelo INE.

A ANIPC (ANIPC, 1998), realizou um estudo de campo, para a indústria de produtos de cimento, e registou a existência de 381 empresas.

Apesar da discrepância de números e tendo em consideração alguma margem de erro no registo e avaliação destas empresas, pode considerar-se que os três valores se inscrevem na mesma ordem de grandeza. Poderá, então, referir-se, com alguma cautela, que as empresas de pré-fabricação, em 2005, contariam com menos de 360 empresas ativas.

Através do inquérito Tecinvest (2008), entre 2005 e 2008, transposto na tabela 6 e figura 5, só 29% das empresas mostraram um volume de vendas com incremento, tendo a maioria das empresas (71%) baixado ou mantido similar volume de vendas. Esta progressão não causa surpresa, considerando o comportamento recessivo do setor da construção neste período.

Tabela 6 – Distribuição das empresas, segundo a evolução das vendas entre 2005 e 2008

Decresceu mais de 30%	Decresceu entre 10% e 30%	Decresceu menos de 10%	Manteve-se idêntico	Cresceu menos de 10%	Cresceu entre 10% e 30%	Cresceu mais de 30%
7.9%	25.4%	9.5%	28.6%	15.9%	9.5%	3.2%

Fonte: Inquérito Tecninvest, 2008

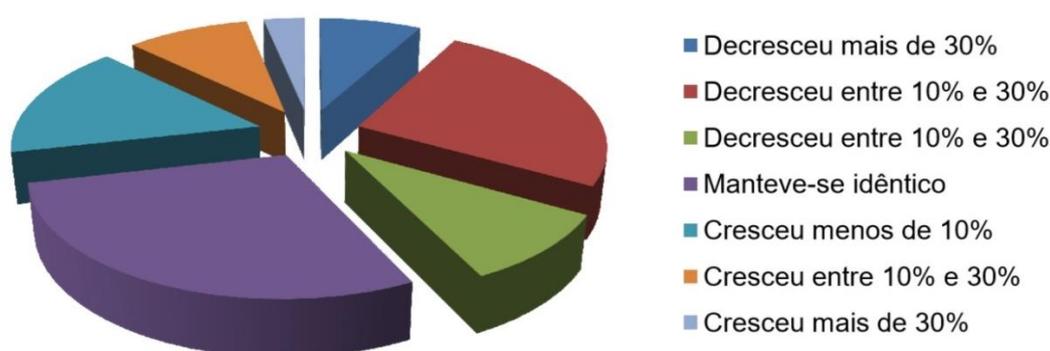
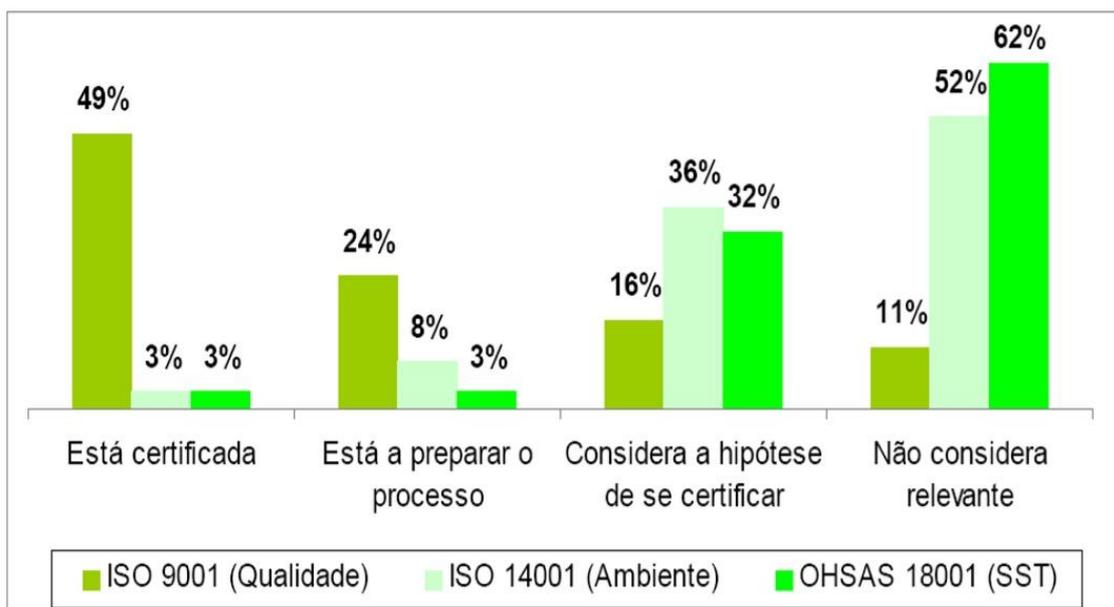


Gráfico 5 – Distribuição das empresas segundo evolução das vendas em 2005 e 2008

Certificação do sistema de gestão da qualidade

A certificação do sistema de gestão da qualidade (ISO 9001) é um dos fatores de maior aposta nesta área, já que 49% das empresas indagadas confirmaram possuir a certificação do seu sistema, e 24% afirmaram estar a desenvolver o processo, o que se traduz numa provável adesão efetiva de 73%, conforme se pode observar na figura 6, relativa à distribuição das empresas, segundo o grau de envolvimento em processos de certificação de sistemas de gestão.

Esta situação, em 2008, através ao inquérito ANIPC (ANIPC, 1998), em 1998/99, apresenta uma alteração muito substancial, dado que nesta altura apenas foi identificada 1 empresa com o sistema de gestão da qualidade certificado.



Fonte: Inquérito Tecninvest, 2008

Gráfico 6 – Distribuição das empresas segundo o grau de envolvimento em processos de certificação de sistemas de gestão

Considerações a ter no desenvolvimento da atividade de pré-fabricação em betão

O desenvolvimento de produtos pré-fabricados está geralmente dependente do ambiente económico e, particularmente do comportamento do setor da construção.

Em 2008, período de maior estagnação e recessão, o ritmo de crescimento verificado na indústria de pré-fabricação foi suspenso.

O progresso da indústria de produtos pré-fabricados está sujeito à evolução averiguada na atividade de construção e obras públicas. Esta atividade estava subjugada ao lançamento de empreendimentos do erário público (aeroporto de a extensão e manutenção da rede rodoviária); pelos promotores privados (construção de edifícios não residenciais); pela iniciativa pública e privada de obras de manutenção do parque residencial; de obras de saneamento básico (previa-se em 2008 que esta cobertura viesse a atingir em 2013 entre 90% a 95% da rede total do país). Dado que a concretização de grandes empreendimentos, não se verificou até junho de 2013, refletiu um impacto negativo na dinamização do mercado de pré-fabricação nacional.

Análise SWOT do Sector

A ANIPB (ANIPB, 2008), em 2008, realizou uma análise SWOT do setor, indicando como:

Pontos Fortes

- a) Tendência gradual (lenta), maior racionalização do mercado, com fenómenos provenientes de convergência, pelo meio de algumas empresas de maior dimensão e de alguns grupos empresariais;
- b) Gama de produtos em multiplicação, com inclusão no mercado nacional de novos produtos ou variantes de novas aplicações;
- c) Melhoria da qualidade dos produtos;
- d) Esforços de investimento e de formação do pessoal, com o foco nas operações produtivas e na qualidade.

Pontos Fracos

- a) Rivalidade destacada devido à significativa segmentação da atividade e à sua estruturação predominantemente regional;
- b) Reduzido valor acrescentado dos produtos mais tradicionais;
- c) Fraca endogeneização de tecnologias evoluídas e de processos de automatização avançados;
- d) Esforços reduzidos de I&D e de aquisição de conhecimento técnico/tecnológico qualificado;
- e) Reduzidos níveis de produtividade, que se situam em 55% da média da União Europeia;
- f) Diminuída capacidade de identificação e de exploração dos estímulos e mecanismos de apoio à competitividade das empresas.

Ameaças

- a) Concorrência de produtos/materiais sucedâneos;
- b) Poder negocial dos clientes de maior dimensão.

Sintetizando, quando os fatores são reconhecidos, podem categorizar-se em dois conjuntos:

- a) Fatores internos, isto é, pontos fortes que poderão sustentar o desenvolvimento e conservação do setor e pontos fracos, que constam limitações ao seu desenvolvimento sustentado;
- b) Fatores externos, isto é, oportunidades, que brindam possibilidades complementares de progresso futuro para do setor e ameaças, que constituem possíveis obstáculos a esse desenvolvimento.

As empresas do setor desejando potenciar os seus pontos fortes, e minimizar os seus pontos fracos, assim como pesquisar as oportunidades e defrontar as ameaças com que o setor se depara, devem desenvolver as suas próprias estratégias competitivas, com vista à subsistência atual e ao desenvolvimento futuro da atividade.

Apesar disso, no sentido de aperfeiçoar a capacidade competitiva individual, não se deverá negligenciar o desenvolvimento de soluções colaborativas com outras empresas, já que a junção de esforços poderá ser bastante útil para a resolução dos pontos fracos da atividade de pré-fabricação e para melhorar a capacidade de resposta a possíveis ameaças.

Este tipo de soluções poderá passar por soluções colaborativas de investigação e desenvolvimento, soluções colaborativas no domínio da formação específica dos profissionais do setor, e soluções colaborativas para potenciar a capacidade coletiva de exportação para mercados geográficos de proximidade.

2.2. BENEFÍCIOS DA PRÉ-FABRICAÇÃO DO BETÃO REFORÇADO COM AÇO

O produto de betão reforçado com aço pré-fabricado decorre da produção em fábrica de componentes básicos em betão reforçado com aço, depois em conjunto com outras peças se tornará numa estrutura maior.

Os componentes pré-fabricados de betão reforçado com aço são aprontados, moldados e curados nas fábricas, e posteriormente transportados e montados em obra. Este processo apresenta vantagens tais como:

- a) Maior hipótese de evidenciar o empreendimento;
- b) Melhoria na qualidade de administração do projeto;
- c) Construção menos suscetível a mudanças climáticas;

- d) Maior planeamento no estaleiro de obra;
- e) Garantia de rápida concretização da obra;
- f) Garantia de qualidade;
- g) Diminuição de diversos custos indiretos ou de difícil contabilização:
- h) Maior segurança na execução do cronograma;
- i) Rastreabilidade de processos;
- j) Menor rotatividade de mão-de-obra;
- l) Menor estrutura administrativa, fiscalização, e controlo em obra;
- m) Redução do nº de horas dos trabalhadores expostos a riscos;
- n) Acessibilidade.

3. SHAY MURTAGH

3.1. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Fundada em 1971, a Shay Murtagh é uma empresa familiar Irlandesa com mais de 45 anos de experiência, especializada em projeto, fabricação e entrega de produtos pré-fabricados em betão reforçado com aço.

Independentemente da escala do projeto, a empresa tem a capacidade de projetar e produzir componentes pré-fabricados tendo realizado os maiores projetos de infraestruturas na Irlanda, e a partir de 2007 no Reino Unido. Com experiência para desenvolver elementos pré-fabricados sob medida, a empresa definiu padrões de referência do sector e impulsionou o desenvolvimento de soluções externas.

Tendo em conta os pequenos detalhes, a Shay Murtagh lidera a indústria de pré-fabricação de betão reforçado com aço na Irlanda e no Reino Unido. Sendo a primeira empresa de betão a conseguir o Sistema de Gestão de Qualidade ISO 9001; o Sistema de Gestão Ambiental ISO 14001; e o sistema de gestão de Saúde e Segurança Ocupacional OHSAS 18001.



Figura 1 – Fabrica da Shay Murtagh Precast

Para tal sucesso a empresa conta com uma estrutura formada pelo Shay Murtagh Group:

- a) A Shay Murtagh Precast e Limited é uma empresa com 45 anos de experiência, com mais de 350 funcionários diretos. As instalações estendem-se por uma área de produção de 121 406 metros quadrados tendo 30 000 metros quadrados cobertos, possuindo 3 centrais de dosagem de última geração; capacidade de pré-

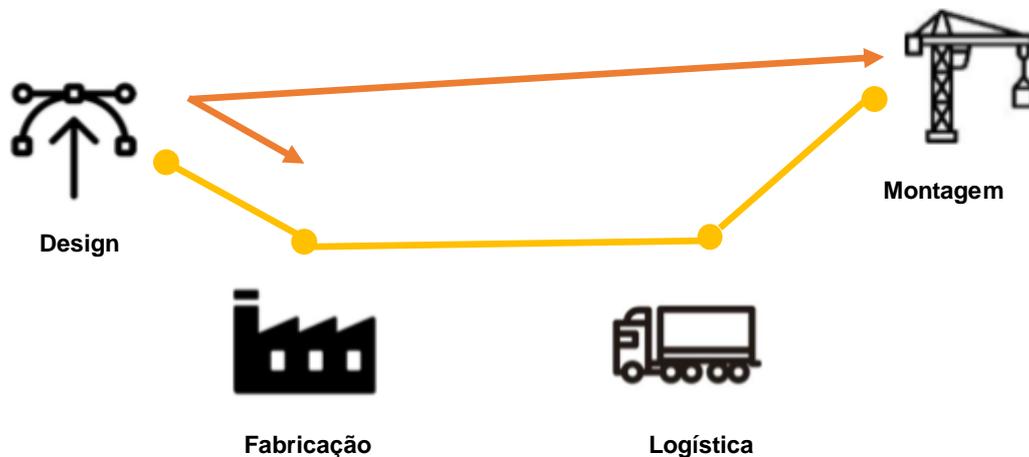
tensionamento de até 4 000 toneladas; elevação superior a 200 toneladas; possui uma frota de transporte interno e equipas qualificadas nos programas BIM e Tekla e de design experiente, conforme representado na figura 1;

- b) Alcrete Building Systems foi adquirida em 2016 pelo grupo Shay Murtagh Precast. Obtendo do grupo a experiência para executar soluções completas de design, fabricação e logística. A empresa instalada em Arthurstown, Co. Kildare foi reintegrada e atualizada para os mais altos padrões, tornando-se um sistema de produção de pré-moldado de última geração totalmente automatizado com recursos BIM. A fábrica estende-se por uma área de 11 613 metros quadrados, reconhecida por possuir o equipamento tecnologicamente mais avançado do mundo e desenvolve projetos desde do desenho à instalação;
- c) Evans Precast Concrete é uma empresa com 100 anos de experiência, tornando-se numa força dominante na indústria de pré-fabricado em betão sob medida, tendo empreendido vários projetos de prestígio em todo o Reino Unido nos últimos anos. O trabalho qualificado da Evans projeta e fabrica cada produto de acordo com os mais altos padrões, garantindo máxima qualidade, custo-benefício e eficiência. É uma empresa especialista em arquitetura paisagista e em revestimentos arquitetónicos. Localiza-se em Derbyshire, estendendo-se por uma área de 110 000 metros quadrados. Em 2016 tornou-se parte da Shay Murtagh Group;
- d) Structural Research – Empresa fundada pela Shay Murtagh Group, sediada em Viana do Castelo, para investigação estrutural, contando com uma equipa de engenharia estrutural qualificada, com foco no design de rodovias e ferrovias, e habilidades de design arquitetónico do revestimento.

Os Procedimento de execução

Nesta parte do trabalho, ficará explicitado os procedimentos da empresa desde da execução até à montagem do betão pré-fabricado. O processo inicia-se na equipa de design (recorre aos programas AutoCAD e BIM, entre outros para o desenvolvimento do projeto), que após a conclusão do projeto é enviado para a fabricação (nesta etapa são aplicados os processos para a elaboração do betão pré-fabricado); no final da fabricação a equipa de logística assume o seu papel (assegura que os prazos de entrega sejam cumpridos), o procedimento fica concluído na montagem (instalação do projeto final).

A figura que se segue esquematiza todo o procedimento de execução.



Design

Equipa de projeto e engenharia, que utiliza os programas AutoCAD e BIM durante todo o processo de design. Começando nos conceitos iniciais e progredindo até à produção de desenhos completos, incluindo o desenho de fixações associado e detalhes finais do projeto.

Fabricação

Especialização em fabricação de moldes, métodos de pré-tensionamento e pós-tensionamento, controlo de mistura de betão e gestão da qualidade. Toda a produção é planeada e coordenada, com programas definidos em vigor para todos os negócios associados. Controlo da qualidade, atendimento a requisitos específicos de projetos individuais e trabalho em parceria com os clientes para atender aos rígidos padrões de qualidade.

Logística

Logística altamente qualificada e experiente com uma frota interna de camiões, reboques, equipamentos de transporte de carga anormal e, mais importante, uma equipa experiente. A entrega é cuidadosamente planeada para garantir que os prazos do projeto sejam cumpridos, reduzir os impactos ambientais e obedecer às responsabilidades sociais.

Montagem

Com a experiência de instalar uma gama diversificada de projetos. Fornecem um contacto completo, dando recursos dedicados ao projeto, quando este é entregue, a equipa de projeto trata de todos os aspetos até à fatura final.

3.2. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

A Shay Murtagh é uma empresa, cujas as respostas na utilização do betão pré-fabricado são vastas. Desta forma, ao longo deste ponto serão apresentadas e definidas as diversas soluções disponibilizadas pela empresa, que englobam as vigas para pontes (utilizadas nas pontes rodoviárias, ferroviárias e pedestres); tanques para armazenamento (utilizados em reservatórios de armazenamento de água, tanques de aeração, tanques de clarificador/liquidação, tanques SBR, tanques anóxicos, tanques de espessamento de cerca de piquete, tanques de armazenamento de chorume); box culvert (usado para envolver pequenas estradas, caminhos ou água corrente); segmento de túnel (soluções integradas de sistema de molde para segmentos de túnel); estruturas de betão para edifícios (é uma forma estrutural adequada para edifícios industriais, armazéns, pavilhões desportivos, salas comunitárias, etc.); hexlok (ideal para fornecer a estabilidade do solo); gridlok (método eficaz de reforço do solo); archlok (a sua instalação é rápida e fácil, o que reduz o tempo de construção); paredes de retenção de betão (ideal para reter terra ou materiais, como resíduos industriais húmidos ou secos); e sistema de recolha de águas (são vantajosos porque resistem à corrosão, são duráveis e robustos).

Vigas para pontes

O betão estrutural é bem conhecido pela sua resistência, durabilidade e versatilidade. O uso de pré tensão permite que vigas de pontes em betão percorram longas distâncias. Não só fabrica vigas tensionadas de alta qualidade, como também é um recurso valioso em todas as fases para garantir uma construção rápida e eficiente. As vigas pré-fabricadas em betão reforçado com aço são ideais para:

- a) Pontes Rodoviárias;
- b) Pontes ferroviárias;
- c) Pontes de pedestres;
- d) Qualquer aplicativo que incorpora longos períodos.



Figura 3 – Mersey Gateway

Tanques de armazenamento

A Shay Murtagh Precast é líder de mercado na fabricação e instalação de tanques de armazenamento de betão pré-tensionados e pós-tensionados no Reino Unido e na Irlanda. O sistema de tanque de armazenamento pode ser usado para uma ampla gama de aplicações, incluindo:

- a) Reservatórios de armazenamento de água;
- b) Tanques de aeração;
- c) Tanques de clarificador / liquidação;
- d) Tanques SBR;
- e) Tanques anóxicos;
- f) Tanques de espessamento de cerca de piquete;
- g) Tanques de armazenamento de chorume.



Figura 4 – Structure 17. M50 Dublin

Box Culvert

Box Culvert de betão pré-fabricada é uma conduta de fácil instalação usado para envolver pequenas estradas, caminhos ou água corrente (por exemplo, riachos, águas pluviais ou esgotos) que passam por baixo de estradas, ferrovias ou aterros. Fabrica-se uma gama de Box Culvert padrão de tamanho standard, mas a maioria das unidades que são projetadas e fabricadas para atender às especificações individuais do projeto, permitindo a flexibilidade completa e permite serem acomodadas em qualquer situação.



Figura 5 – Ponte de Shefferlands, Heysham

Segmentos de túneis

Com investimento contínuo nos mais modernos sistemas de fabricação, foi realizada uma parceria com a Herrenknecht Formwork Technology GmbH . Juntos, fazem um pacote completo de soluções integradas de sistema de molde para segmentos de túnel para a Irlanda e o Reino Unido. Este sistema de carrossel de última geração fabrica segmentos de túneis de acordo com as especificações mais precisas, sob rigorosos procedimentos de controlo de qualidade adaptados por Shay Murtagh Precast com um sistema de gestão integrado.



Figura 6 – Crossrail C310, Thames Tunnel, Londres

Estruturas de betão para edifícios

O sistema betão armado A-Beam é extremamente económico, não requer pintura, acabamento ou proteção contra incêndio. É uma forma estrutural adequada para edifícios industriais, armazéns, pavilhões desportivos, salas comunitárias, etc.

O sistema consiste em betão pré-fabricado e reforçado com vigas 4ªA fixadas em pilares de betão armado, com extensão de até 24,40 metros em centros de baias de até 9,0 metros. Altura livre de trabalho pode ser obtida, entre o nível do piso acabado e o intradorso da viga, até 9.145m. O sistema incorpora o uso de calhas de betão pré-fabricado que podem ser usadas tanto em beirais, quanto em vales, paredes e coberturas podendo variar ser de acordo com os requisitos do cliente.



Figura 7 – Structure 17, M50 Dublin

HexLok

O HexLok é uma solução simples, porém robusta, composta de elementos de reforço do solo, preenchidos para fornecer a estabilidade ideal do solo. A estrutura é revestida com painéis de betão em forma hexagonal que são conectados aos reforços de aço e que se encaixam perfeitamente para produzir um padrão geométrico limpo. Cada painel é feito usando os moldes HexLok feitos sob encomenda e reforçados com varões de aço para garantir a resistência ideal. As vantagens deste sistema construtivo são as seguintes:

- a) Fácil de instalar;
- b) Redução do tempo de construção;
- c) Economicamente viáveis;
- d) Estável e seguro;
- e) Sem necessidade de manutenção;
- f) Adequado para muros de contenção e pilares de pontes;
- g) Estruturas podem ser construídas em camadas para atender a alturas extensas.



Figura 8 – Pilares da ponte reforçada A1

GridLok

Composto por painéis frontais de malha de aço entrelaçados com barras de tração horizontais, o Gridlok é um método eficaz de reforço do solo. As inclinações de solo reforçadas estão geralmente na faixa de 60 ° a 70 ° e, após completadas, podem receber uma superfície

vegetativa. O acabamento esverdeado é normalmente fornecido à mão, semeando o solo durante o enchimento. As vantagens deste sistema construtivo são as seguintes:

- a) Fácil e rápido de instalar;
 - b) Custo efetivo;
 - c) Estável e seguro;
 - d) Autoportante;
 - e) Tolera a liquidação diferencial;
 - f) Manutenção mínima necessária;
 - g) Adequado para inclinações reforçadas de 60 ° a 70 °;
- f) O reforço de solo de gancho de cabelo de aço não se move ou se estende como geogrelhas de polímero e, portanto, a posição da face da parede é previsível.



Figura 9 – Carlyon Bay Cornwall

ArchLok

O sistema ArchLok é composto por duas ou mais unidades de betão pré-moldado reforçado na forma de segmentos curvos, construídos separadamente e depois encostados um no outro para formar um arco. O arco repousa sobre bases fundidas com chavetas nas quais os segmentos são colocados. Para adicionar suporte, uma viga de coroa fundida e ranhura de argamassa são adicionadas à junção onde os segmentos se encontram.

No que concerne a vantagens, o sistema ArchLok caracteriza-se por ser uma instalação rápida e fácil, numa redução de tempo de construção, é economicamente viável, estável e durável. O impacto ambiental é mínimo e não requer manutenção, o ArchLok pode ser construído ao longo de uma linha central curva usando unidades cônicas e a produção de fábrica garante uma maior qualidade no serviço.



Figura 10 – Cwm Road Brigge, Gales do Sul

Paredes de retenção de betão

Um muro de contenção é uma estrutura que retém a terra ou, em alguns casos, outros materiais, como resíduos industriais húmidos ou secos, produtos agrícolas ou recicláveis. Haverá, portanto, uma diferença na elevação entre os dois lados da parede, que deve ser construída para resistir à pressão lateral exercida pelo material no lado superior. O método pelo qual esta pressão é resistida define o tipo de parede de retenção.



Figura 11 – Parede de retenção em L

Sistema de recolha de águas pluviais

Fabricados numa variedade de tamanhos com um rigoroso processo de qualidade, os tanques de betão pré-fabricado oferecem vantagens como resistência à corrosão, durável e robusta. Estes tanques não requerem nenhum trabalho adicional no solo, como a preparação da base e umas camadas de betão de leitura simétrica. Como resultado, o trabalho no local e os custos de material são drasticamente reduzidos. Estes coletores são executados para o sector doméstico, comercial, agrícola e público.



Figura 12 – Desenho elucidativo de um sistema de recolha de águas pluviais doméstica

3.3. SOLUÇÃO CONSTRUTIVA ADOTADA PARA ESTUDO

Para a realização deste estudo optou-se juntamente com a empresa por utilizar três soluções de painéis de fachada, sendo elas o painel plano, o painel em L e o painel em U.

Estes painéis, estruturalmente, têm que resistir à ação do vento e ao próprio peso.

Painel plano

O painel plano é somente utilizado para acabamentos de fachada, por questões meramente estéticas.

Inicialmente foi executado um dimensionamento tradicional, (reforço em aço) num painel com dimensões de 4 metros de comprimento, 1,8 metros de largura e 0,10 metros de espessura como a figura 13 abaixo o demonstra.

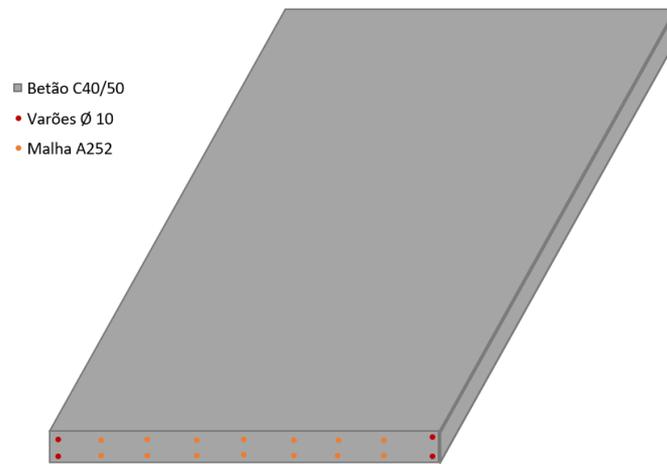


Figura 13 – Desenho do painel plano com o reforço em aço

Painel em L

O painel em L é um painel usado para o acabamento de esquinas de fachada e a platibandas.

Na primeira fase, foi executado um dimensionamento tradicional, (reforço em aço) num painel com dimensões de 4 metros de comprimento, 0,28 metros de largura, 1 metro de altura e 0,12 metros de espessura como a figura 14 abaixo o demonstra.

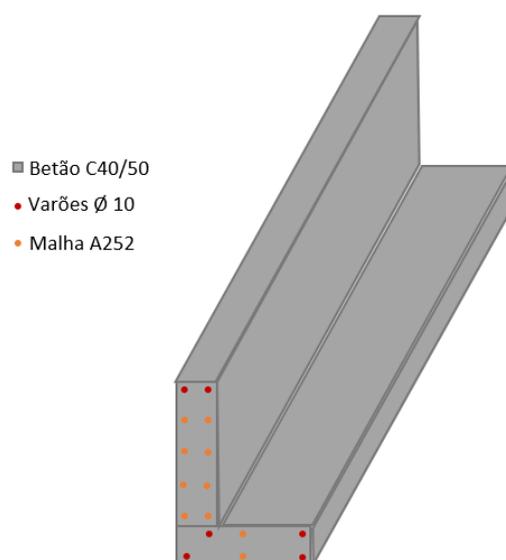


Figura 14 – Desenho do painel em L com o reforço em aço

Painel em U

O painel em U é um painel usado para o acabamento de vigas e de pilares.

No estágio inicial foi executado um dimensionamento tradicional, (reforço em aço) num painel com dimensões de 4 metros de comprido, 0,40 metros de largura, 0,20 metro de altura e 0,12 metros de espessura como a figura 15 abaixo o demonstra.

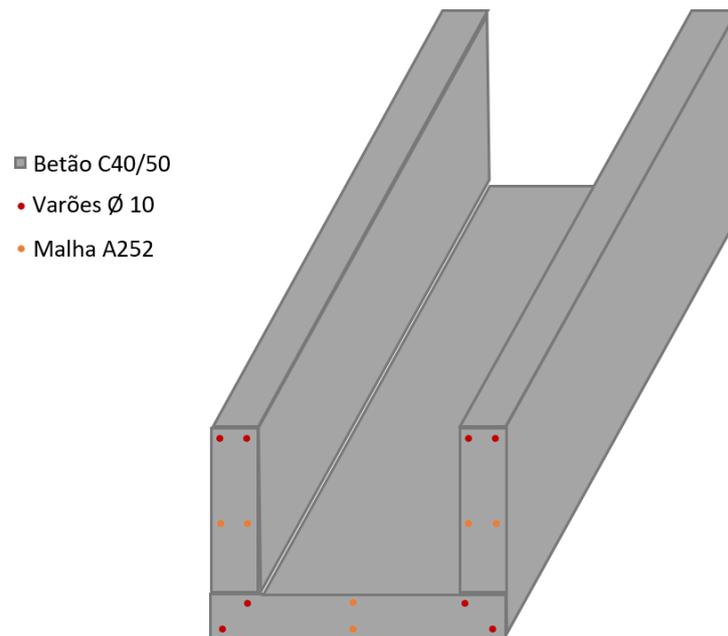


Figura 15 – Desenho do painel U com o reforçado em aço

4. PAINÉIS DE FACHADA COM BETÃO REFORÇADO COM FIBRAS SINTÉTICAS

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Na realização do painel utilizam-se materiais tais como o betão, o aço como reforço principal e a fibra sintética (BarChip 48) como reforço de distribuição. Abaixo segue-se a explicação da caracterização de cada um destes materiais.

Betão

O betão é constituído por três elementos distintos, o ligante (cimento), os agregados (finos e grossos), água e ar.

O ligante utilizado para o estudo foi o betão C40/50, que juntamente com água forma uma pasta que une os agregados (geralmente areia e brita), formando uma massa pétreia. À medida que a pasta seca e endurece, devido à reação química que ocorre entre o cimento e a água, a mistura em si numa quantidade de ar propositadamente. A pasta constitui 23% do volume total do betão, sendo que este, após ser misturado durante aproximadamente de 245 segundos apresenta uma densidade (molhada) de 2344 kg/m³. A nível dos constituintes do betão individualmente, estes apresentam percentagens de volume na ordem de 16% de cimento, 75% de agregados, 7% de água e 2% de ar, como indicado na figura 16.

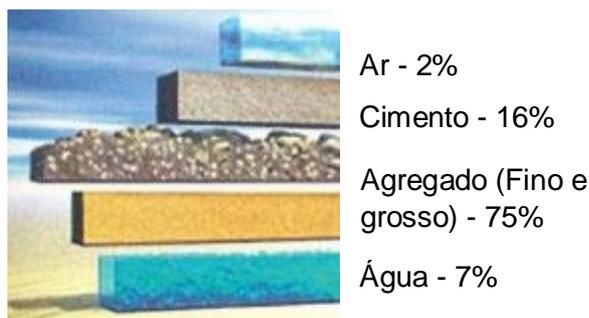


Figura 16 - Constituintes do Betão

Varão de aço

O aço é um produto siderúrgico constituído essencialmente por ferro, apresentando habitualmente entre 0,2 a 2,1% de carbono, sendo ainda constituído por diversos outros

elementos que são utilizados em menor quantidade, tal como o crómio, o manganês e o vanádio.

O aço utilizado para o estudo é o B500 um aço obtido por laminação a quente seguida de estiramento ou trefilação.



Figura 17 – Varões de aço B500

Fibra sintética

A fibra sintética a utilizar é o BarChip 48 da EPC (Elasto Plastic Concrete) maioritariamente constituída por polipropileno virgem (97% a 99%) ou reciclado, utilizado como substituto da malha de aço. Esta fibra estrutural foi desenvolvida para reforçar o betão em pavimentos, pisos industriais, ou elementos pré-fabricados.

O sistema de reforço BarChip 48 funciona distribuindo centenas de milhares de fibras de alta resistência a tração em toda a mistura de betão. Reforçando todas as partes da estrutura de betão, de frente para trás e de cima para baixo, não deixando uma cobertura de betão não reforçada e vulnerável.

O BarChip 48 possui uma taxa de dosagem normal de 2,5 quilos a 6 quilos por metro cúbico. A taxa de dosagem deve ser determinada com base nos requisitos de desempenho.

Para executar a mistura, inicialmente é adicionado a fibra BarChip 48 “com saco e tudo” ao misturador com água. De seguida, são colocados os materiais secos e misturados a alta velocidade nas rotações necessárias. Podem ser aplicadas outras técnicas alternativas de processamento.

Para executar este processo automaticamente, estas fibras podem ser bombeadas através de mangueiras de borracha de 50mm sem dificuldades. Deve-se ter precaução para garantir que a fibra possa passar livremente pela entrada do funil.

O embalamento é feito em sacos de papel de 3 quilos (432 quilos por palete) e distribuído em paletes de plástico duráveis e recicláveis com uma capa impermeável adequada para permitir o armazenamento ao ar livre. Os sacos armazenados individualmente devem ser protegidos contra danos advindos da água.

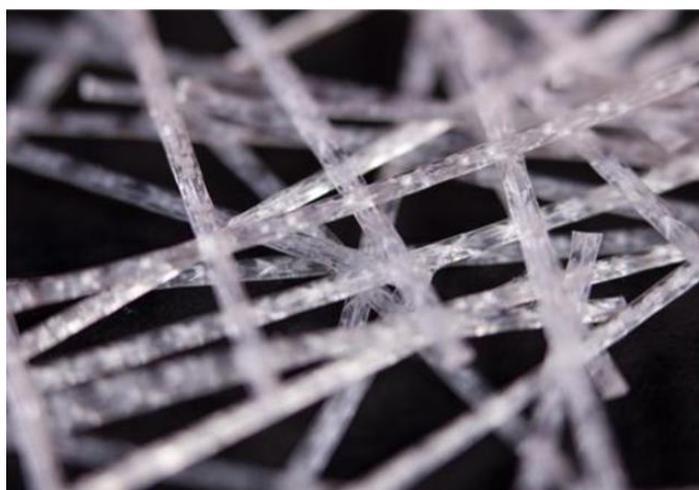


Figura 18 – Fibra sintética BarChip 48

4.2. CÁLCULO E DIMENSIONAMENTO COM O MODEL CODE 2010

O fib Model Code 2010 para estruturas de Betão é uma recomendação abrangente para o projeto de betão armado. Pretende ser uma base para futuros códigos para estruturas de betão e a próxima geração do Eurocode2 (EC2). Ele também apresenta novos desenvolvimentos em relação às estruturas de betão, materiais estruturais e novas ideias, a fim de alcançar um comportamento estrutural e sustentável ideal.

A última edição do Model Code 2010 (MC2010), publicada em março de 2012, incorpora fibras como reforço nos capítulos sobre materiais e verificação estrutural. As regras do MC2010 são baseadas principalmente na experiência adquirida com o betão reforçado com fibra de aço. Assim, é percebido no mercado, como o guia de projeto para o betão reforçado com fibra de aço. No entanto, também pode ser usado para projetar estruturas de betão usando fibras sintéticas ou outros tipos de fibras.

O MC2010 permite que os projetistas tenham um código de referência que define os critérios de desempenho para estruturas FRC (Fibre Reinforced Concrete), mas deve ser lembrado que existem vários outros códigos de projeto e diretrizes disponíveis para projetistas que se podem adequar melhor à promoção de fibras sintéticas.

Os capítulos relevantes de fibra do MC2010 são:

- a) Capítulo 5.6 Fibras / Betão Reforçado com Fibras, cobrindo os aspetos do material e valores de projeto;
- b) Capítulo 7.7 Verificação de segurança e facilidade de manutenção de estruturas FRC, cobrindo aspetos de projeto estrutural.

Essencialmente, o MC2010 detalha como os projetistas:

- a) Podem orientar apropriadamente uma verificação;
- b) Avaliam os resultados;
- c) Aplicam os resultados num projeto estrutural.

Para o betão reforçado com fibras, a indústria de revestimento segmentado de pré-fabricados é o principal mercado onde este Código pode ser usado.

O MC2010 está aberto a todos os materiais de fibra, desde que seu comportamento seja independente do tempo. Lista os tipos de fibras, que podem ser usadas no reforço de betão, que incluem fibras de aço, polímero, carbono, vidro ou material natural. A referência em todo o documento é apenas para "Fibras". Assim, em geral, as fibras sintéticas do BarChip são cobertas pelo escopo do MC2010. A seguir estão duas ressalvas importantes para os pontos acima, que podem impedir o uso de fibras sintéticas em projeto. O MC2010 declara:

- a) “Os materiais de fibra com um Módulo de Young que é significativamente afetado pelo tempo e / ou fenómeno Termo higrométrico não são cobertos pelo Model Code 2010.”
- b) “No caso de fibras orgânicas ou naturais, o comportamento de longo prazo pós-fissura pode ser afetado por uma fluência adicional das próprias fibras.”

4.2.1. REQUISITOS DE DESEMPENHO DO MODEL CODE 2010 - CAPÍTULO 5.6

O desempenho da FRC é obtido de acordo com a norma EN 14651. Os valores de resistência à flexão residual são obtidos em diferentes estágios de abertura de fissura (CMOD).

Para o projeto estrutural, os valores importantes são:

- f_{R1} a 0,5 mm CMOD. Este valor representa o estado limite de serviço (SLS) para controlar as larguras das fissuras depois de atingir o pico de tensão elástica (LOP); também produz o intervalo de força da classe de desempenho.
- f_{R3} a 2,5 mm CMOD. Este valor representa o estado limite último (ULS), isto é, capacidade de suporte de carga no limite de esforço máximo permitido.

O MC2010 não especifica, explicitamente, os valores mínimos para f_{R1} e f_{R3} . No entanto, para atingir a classe de resistência residual mínima **1**, os seguintes valores devem ser atingidos:

$$- f_{R1k} \geq 1,0 \text{ MPa} \quad (4.1)$$

$$- f_{R3k} \geq 0,5 \text{ MPa} \quad (4.2)$$

Mais importante, o MC2010 requer um desempenho de ductilidade mínimo de FRC para uso estrutural. Para substituir o reforço total ou parcialmente no estado limite último, são dados dois requisitos de desempenho:

$$- 1) f_{R1k} / f_{Lk} > 0,4 \quad (4.3)$$

$$- 2) f_{R3k} / f_{R1k} > 0,5 \quad (4.4)$$

Estes são requisitos de ductilidade para evitar qualquer falha frágil. Em detalhe, eles significam:

- 1. A relação entre tensões residuais em CMOD 0,5 mm e tensão de pico (resistência à flexão) não deve ser inferior a 40%. Este critério é introduzido predominantemente para o controlo da largura da fissura e visa proteger qualquer reforço de aço (barras ou fibras), os testes mostraram que larguras de fissura tão baixas quanto 0,1 mm podem resultar em corrosão da fibra de aço. Este critério de relação de ductilidade é algumas vezes mais difícil de ser alcançado com fibras sintéticas macro do que com fibras de aço, devido à queda após o pico de carga, especialmente em baixas doses. No entanto, como a corrosão não é um problema para a fibra BarChip, a necessidade desta especificação pode ser dispensada.
- 2. A relação entre tensões residuais em CMOD 2,5 mm e 0,5 mm não deve ser inferior a 50%. Este critério visa evitar grandes quedas de desempenho com uma largura de fissura crescente, como pode acontecer com fibras de aço curtas. Este critério normalmente nunca causa um problema para a fibra BarChip.

Leis constitutivas

Uma lei de abertura de fissura em tensão uniaxial é definida para o comportamento pós-fissura da FRC. A sua identificação pode ser obtida seguindo procedimentos diferentes, como mostrado na Figura 19.

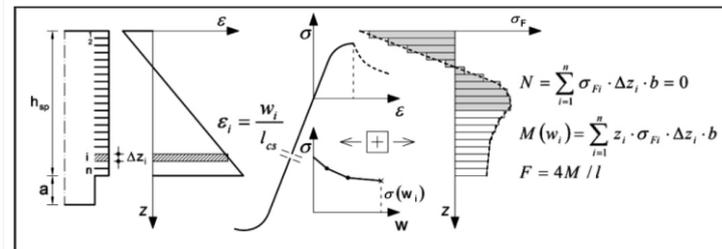


Figura 19 – “Análise inversa de vigas em flexão realizada para obtenção de relação de abertura de tensão-fissura” (figura 5.6-4 do MC2010)

Duas leis constitutivas simplificadas de abertura da fissura em tensão podem ser deduzidas dos resultados do teste de flexão: um comportamento rígido plástico ou um comportamento linear pós-fissuração (endurecimento ou amolecimento) como mostrado esquematicamente na Figura 20, onde f_{Fts} representa a resistência residual de serviço, definida como a resistência pós-fissura para aberturas de fissuras de serviço e f_{Ftu} representa a resistência residual final.

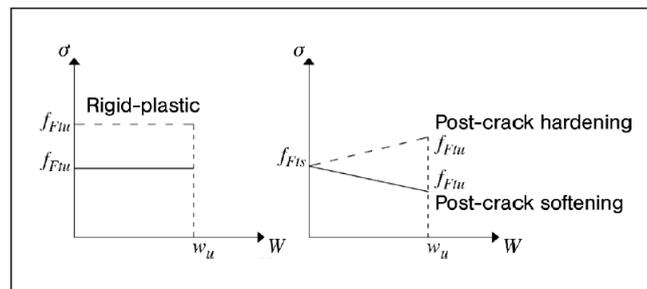


Figura 20 – Leis construtivas pós-fissuração simplificada: abertura de fissuras (linhas contínuas e tracejadas referem-se ao comportamento de amaciamento e endurecimento pós fissuração respetivamente (figura 5.6-7 do MC2010)

Modelo de rígido-plástico

O modelo de rígido-plástico identifica um valor de referência exclusivo, f_{Ftu} , com base no comportamento final. Esse valor é determinado como:

$$- f_{Ftu} = \frac{f_{R3}}{3} \quad (4.5)$$

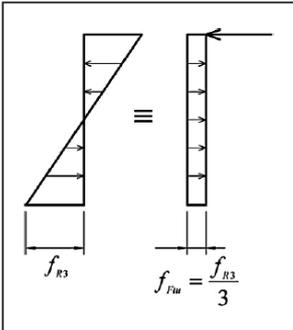
$$M_u = \frac{f_{R3}bh_{sp}^2}{6} = \frac{f_{Ftu}bh_{sp}^2}{2}$$


Figura 21 - Modelo simplificado adotado para calcular a resistência à tração residual final em tensão uniaxial f_{Ftu} por meio da resistência nominal à flexão residual f_{R3} (figura 5.6-8 do MC2010)

Modelo linear

O modelo linear identifica dois valores de referência, ou seja, f_{Fts} e f_{Ftu} .

Eles devem ser definidos através de valores residuais de resistência à flexão usando as seguintes equações:

$$- f_{Fts} = 0.45f_{R1} \quad (4.6)$$

$$- f_{Ftu} = f_{Fts} - \frac{w_u}{CMOD_3}(f_{Fts} - 0.5f_{R3} + 0.2f_{R1}) \geq 0 \quad (4.7)$$

A w_u é a abertura máxima da fissura aceita no projeto estrutural, seu valor depende da ductilidade necessária.

O valor de tensão correspondente à abertura da fissura $CMOD_3$ é determinado a partir do equilíbrio.

Para análises numéricas, recomendam-se leis constitutivas mais avançadas, incluindo a resistência à tração da primeira fissura.

Ao considerar materiais macios, a definição da lei de tensão-deformação baseia-se na identificação da largura da fissura e no comprimento característico estrutural correspondente, l_{cs} , do elemento estrutural. Assim, a tensão pode ser considerada igual a:

$$- \epsilon = w / l_{cs} \quad (4.8)$$

Em elementos com reforço convencional (vergalhões), l_{cs} , podem ser avaliados como:

$$- l_{cs} = \min \{s_{rm}, y\} \quad (4.9)$$

Onde:

- s_{rm} é a distância média entre as fissuras;
- y é a distância entre o eixo neutro e o lado de tração da secção transversal (Figura 22) avaliada na fase elástica fissurada, negligenciando a resistência à tração residual da FRC e para uma carga correspondente ao estado de serviço da fissura abertura e o seu espaçamento.

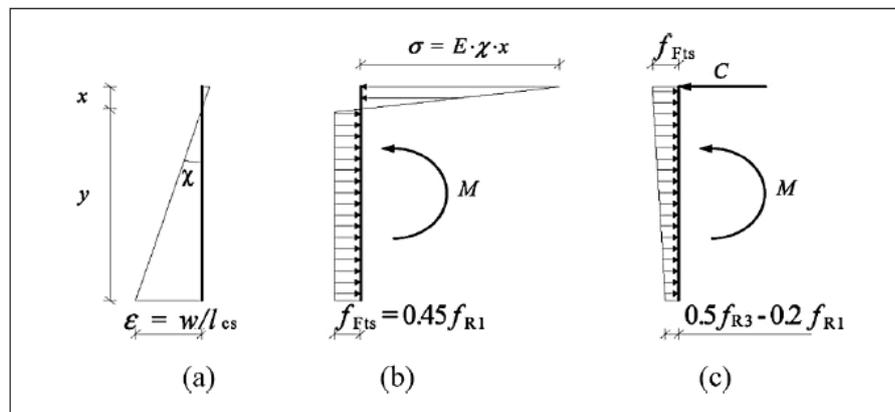


Figura 22- Diagramas de tensão para a determinação da resistência à tração residual f_{Fts} (b) e f_{Ftu} (c) para o modelo linear, respetivamente (figura 5.6-9 do MC2010)

A resistência à tração máxima do f_{Ttu} no modelo linear depende da ductilidade necessária relacionada à largura de fissura permitida. A largura final da fissura pode ser calculada como $w_u = l_{cs} \epsilon_{Fu}$, assumindo que ϵ_{Fu} é igual a 2% para distribuição de deformação variável ao longo da secção transversal e 1% para distribuição de tensão de tração constante ao longo da secção transversal. Em qualquer caso, a largura máxima da fissura não pode exceder 2,5 mm.

Em secções sem reforço tradicional sob flexão ou sob forças combinadas de tração-flexão e compressão-flexão com força resultante externa à secção, $y = h$ é assumido. A mesma suposição pode ser tomada para lajes.

Ao considerar materiais de endurecimento de tensão, ϵ_{Fu} é igual a 2% para distribuição de deformação variável ao longo da secção transversal e 1% para distribuição de tensão de tração constante ao longo da secção transversal.

Um material é considerado como endurecedor de tensão quando mostra um comportamento de endurecimento em tensão até um $\epsilon_{Fu} = 1\%$.

Relação tensão-extensão

Para o ULS, as leis constitutivas como descritas na subsecção 5.6.4 do Model Code 2010 devem ser aplicadas.

Para materiais macios em SLS (caso (I)), a mesma relação constitutiva adotada para o betão simples em tensão uniaxial é usada até a força de pico f_{ct} . No estágio pós-fissura, aplica-se uma relação bilinear (Figura 23).

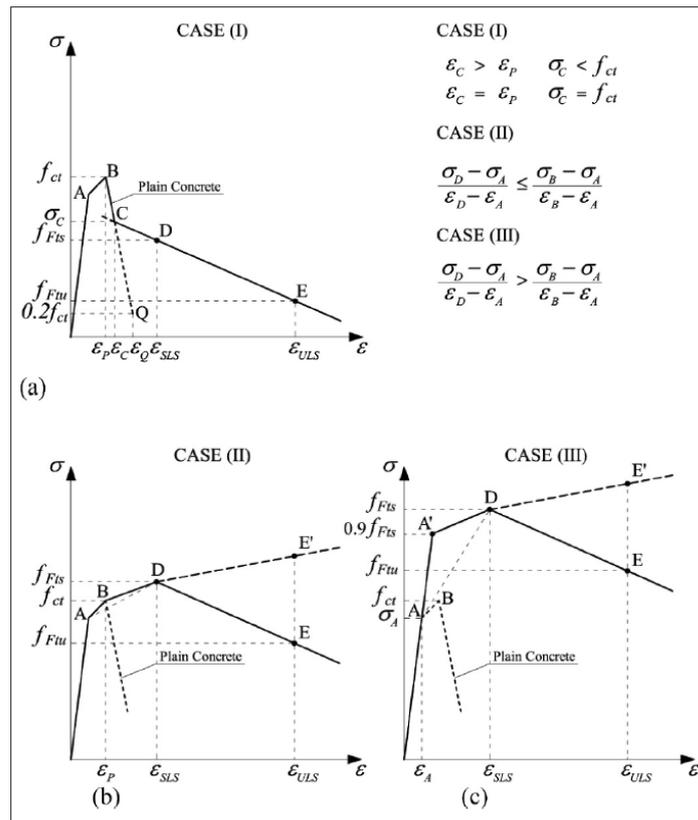


Figura 23 - Relações tensão-deformação no SLS para suavizar (a) e suavizar ou endurecer (b, c) o comportamento do FRC (figura 5.6-11 do MC2010)

O ramo de propagação pós-pico (BC) é analiticamente descrito como:

$$- \frac{\sigma - f_{ct}}{0,2f_{ct} - f_{ct}} = \frac{\epsilon - \epsilon_p}{\epsilon_Q - \epsilon_p}, \text{ for } \epsilon_p \leq \epsilon \leq \epsilon_C \quad (4.10)$$

$$- \text{with } \epsilon_Q = \frac{G_F}{f_{ct} \cdot l_{cs}} + \left(\epsilon_p - \frac{0,8f_{ct}}{E_c} \right) \quad (4.11)$$

O G_F representa a energia de fratura do betão simples.

O ponto A nas curvas da Figura 5.6-11 (a), (b), (c) é definido na Figura 24.

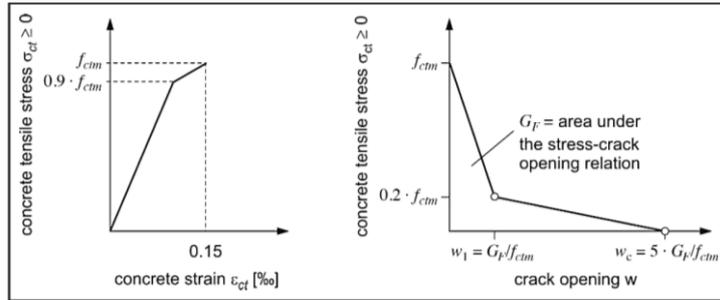


Figura 24 – Representação esquemática da relação tensão-deformação e abertura da fissura por uniaxial (conforme o fib Bulletin 42) (figura 5.1-4 do MC2010)

Para materiais macios, a resistência residual (quarto ramo) é definida por dois pontos correspondentes a $(\epsilon_{SLS}, f_{Fts})$ e $(\epsilon_{ULS}, f_{Ftu})$ onde:

$$- \epsilon_{SLS} = CMOD1 / l_{cs} \quad (4.12)$$

$$- \epsilon_{ULS} = w_u / l_{cs} = \min(\epsilon_{Fu}, 2.5 / l_{cs}) \quad (4.13)$$

Com $\epsilon_{Fu} = 2\%$ para distribuição de deformação variável ao longo da secção transversal e 1% para distribuição de tensão somente ao longo da secção transversal.

Para materiais caracterizados por uma propagação estável até ϵ_{SLS} com uma resistência à tração f_{Fts} maior que f_{ct} , dois casos podem ser considerados:

Caso (II): o processo de fissuração torna-se estável até a linhagem SLS e o quarto ramo define novamente a relação constitutiva. Os dois primeiros ramos permanecem os correspondentes ao betão simples, enquanto o terceiro ramo (BD) é analiticamente descrito como:

$$- \frac{\sigma - f_{ct}}{f_{Fts} - f_{ct}} = \frac{\epsilon - \epsilon_P}{\epsilon_{SLS} - \epsilon_P}, \text{ for } \epsilon_P \leq \epsilon \leq \epsilon_{SLS} \quad (4.14)$$

Caso (III): a fissura permanece estável até a linhagem SLS e três ramos definem a relação constitutiva. O segundo ramo (AD) é definido como:

$$- \frac{\sigma - \sigma_{A'}}{f_{Fts} - \sigma_{A'}} = \frac{\epsilon - \epsilon_{A'}}{\epsilon_{SLS} - \epsilon_{A'}}, \text{ for } \epsilon_{A'} \leq \epsilon \leq \epsilon_{SLS} \quad (4.15)$$

Onde $\sigma_{A'}$ está no ramo elástico para uma tensão igual a $0.9 f_{Fts}$.

Para ambos os casos (II) e (III), o material pode ser amolecimento (DE) ou endurecimento (DE') dependendo da inclinação do último ramo.

Fatores parciais de segurança

Os valores de projeto para o parâmetro de resistência pós-fissura no ULS podem ser determinados como na figura 20:

$$- f_{Ftsd} = f_{Ftsk} / \gamma_F \quad (4.16)$$

$$- f_{Ftud} = f_{Ftuk} / \gamma_F \quad (4.17)$$

Os valores recomendados para os fatores de segurança parciais são dados na Tabela 7.

Tabela 7- Fator de segurança parcial (tabela 5.6-1 do MC2010)

Material	Partial safety factors
FRC in compression	γ_s plain concrete
FRC in tension (limit of linearity)	γ_s plain concrete
FRC in tension (residual strength)	$\gamma_F = 1.5$

Para estados limites de serviço (SLS), os fatores parciais devem ser tomados como 1.0.

Fator de orientação

Em geral, uma distribuição de fibra isotrópica é assumida, de modo que o fator de orientação da fibra $K = 1,0$.

Para efeitos favoráveis, um fator de orientação $K < 1,0$ pode ser aplicado se experimentalmente verificado.

Para efeitos desfavoráveis, um fator de orientação $K > 1.0$ deve ser determinado experimentalmente e aplicado.

Os valores f_{Ftsd} e f_{Ftud} devem então ser modificados para:

$$- f_{Ftsd,mod} = f_{Ftsd}/K; f_{Ftud,mod} = f_{Ftud}/K \quad (4.18)$$

4.2.2. REQUISITOS DE DESEMPENHO DO MODEL CODE 2010 - CAPÍTULO 7.7

O projeto estrutural deve satisfazer os requisitos de resistência e facilidade de manutenção para a vida útil esperada dos elementos FRC. A exigência de ductilidade na flexão pode ser satisfeita pelo reforço convencional mínimo. Em todas as estruturas FRC sem o reforço convencional mínimo, uma das seguintes condições deve ser satisfeita:

$$- \delta_u \geq 20 \delta_{SLS} \quad (4.19)$$

$$- \delta_{peak} \geq 5 \delta_{SLS} \quad (4.20)$$

A δ_u é o deslocamento final, δ_{peak} é o deslocamento na carga máxima e δ_{SLS} é o deslocamento na carga máxima de serviço calculada, através da realização de uma análise elástica linear com as hipóteses de betão não fissurado e módulo de Young elástico inicial.

Normalmente, δ_u está relacionado ao requisito de deformação máxima da estrutura. A carga máxima, P_u , deve ser sempre maior que a carga crítica P_{cr} e superior à carga máxima de serviço P_{SLS} . Quando a estrutura é capaz de redistribuir significativamente as cargas aplicadas na falha, um fator K_{Rd} , que leva em conta efeitos favoráveis devido à redistribuição, pode ser assumido:

$$- P_{Rd} = K_{Rd} \cdot P(f_{Fd}) \quad (4.21)$$

$P(f_{Fd})$ é a carga resistente calculada levando em consideração a carga de projeto do FRC.

Verificação de segurança (ULS)

O estágio de falha de flexão deve ser atingido quando uma das seguintes condições se aplica:

- Obtenção da tensão compressiva final no FRC, ϵ_{cu} ;
- Obtenção da tensão de tração final no aço (se presente), ϵ_{su} ;
- Obtenção da tensão de tração final no FRC, ϵ_{Fu} .

Paredes sem reforço convencional

Para elementos 2D carregados no seu plano, é possível verificar os critérios de estado limite para SLS e ULS por meio do domínio de falha biaxial, onde as forças de tensão uniaxiais são reduzidas para f_{Ft} ou f_{Ftu} , de acordo com o estado limite considerado.

Paredes com reforço convencional

Em estruturas de FRC, a contribuição de fibra pode ser explicada por análises de elementos finitos não lineares ou modelos de escoras e tirantes com as leis constitutivas definidas na subsecção 5.6.4 “Constitutive laws” do Model Code 2010.

Em estruturas FRC que satisfazem requisitos mínimos eqs. (4.3) e (4.4) (Eqs. (5.6-2) e (5.6-3) Model Code), o reforço convencional secundário pode ser omitido.

Verificação de estado limite serviço (SLS)

As tensões de compressão no SLS devem ser limitadas.

As tensões de tração nos vergalhões devem ser limitadas no SLS.

Em elementos estruturais de FRC com um comportamento de suavização de tensão após a fissuração, a verificação de tensão de tração não é necessária se o elemento for verificado no ULS.

Nos elementos estruturais da FRC com comportamento de endurecimento por tensão após a fissuração, a verificação da tensão de tração deve ser feita impondo a limitação:

$$\sigma_t \leq 0,6 \cdot f_{Ftsk} \quad (4.22)$$

Onde:

- σ_t é a tensão de tração principal
- f_{Ftsk} é o valor característico de f_{Fts} .

Largura de fissura em membros com reforço convencional

A largura de fissura do desenho w_d nos elementos FRC pode ser calculada por:

$$w_d = 2 \left\{ k \cdot c + \frac{1}{4} \frac{\phi_s}{\rho_{s,ef}} \cdot \frac{(f_{cm} - f_{Ftsm})}{\tau_{bm}} \right\} \cdot \frac{1}{E_s} \cdot (\sigma_s - \beta \cdot \sigma_{sr} + \eta_r \cdot \varepsilon_{sh} \cdot E_s) \quad (4.23)$$

Onde:

- f_{Ftsm} segue da eq. (4.6) ((eq 5.6-5) Model Code 2010).

Para os outros símbolos, estão expostos na eq. (7.6-5) do Model Code 2010.

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} - \varepsilon_{cs} = \frac{\sigma_s - \beta \cdot \sigma_{sr}}{E_s} - \eta_r \cdot \varepsilon_{sh} \quad (7.6-5)$$

$$\text{Com, } \sigma_{sr} = (f_{ctm} - f_{Ftsm}) \cdot (1 + \alpha_e \rho_s) / \rho_{s, \text{eff}} \quad (4.24)$$

Em σ_s , o efeito das fibras (f_{Ftsm}) precisa ser levado em consideração.

$$- f_{Ftsm} = f_{Ftsk} / 0,7 \quad (4.25)$$

onde f_{Ftsk} é o valor característico de f_{Fts} .

Reforço mínimo para controlo de fissura

Para controlar a largura da fissura nos elementos sob flexão, se necessário, uma armadura mínima deve ser aplicada, pelo menos, igual a:

$$- A_{s, \text{min}} = k_c \cdot k \cdot (f_{ctm} - f_{Ftsm}) \frac{A_{ct}}{\sigma_s} \quad (2.26)$$

Onde:

- f_{ctm} é o valor médio da resistência à tração do betão;
- f_{Ftsm} é o valor médio da resistência residual da FRC;
- A_{ct} é a parte tênsil da secção transversal do betão, avaliada considerando-se um campo de tensão no limite elástico;
- σ_s é a tensão máxima de tração na armadura no estado fissurado, que pode ser considerada igual à tensão de escoamento do aço;
- k_c é um coeficiente que leva em conta a distribuição de tensões na secção transversal imediatamente antes da fissuração e a mudança do braço de alavanca interno; para secções transversais rectangulares $k_c = 1$;
- k é um coeficiente que leva em consideração as tensões não-uniformes e não uniformes, levando a uma redução da carga de fissura: $k = 1,0$ para telas com $h \leq 300$ mm ou flanges com largura ≤ 300 mm; $k = 0,65$ para redes com $h \leq 800$ mm ou flanges com largura ≥ 800 mm; para valores intermediários, a interpolação pode ser aplicada.

Quando $A_{s, \text{min}}$ é negativo, a armadura mínima pode ser imposto apenas ao reforço de fibra.

4.3. PROCESSO CONSTRUTIVO

Neste ponto, explica-se todo o processo referente ao painel em desenvolvimento. Este processo caracteriza-se por sete estações, sendo, que cada uma se desenvolve em diferentes etapas, mas todas elas articulam-se umas com as outras.

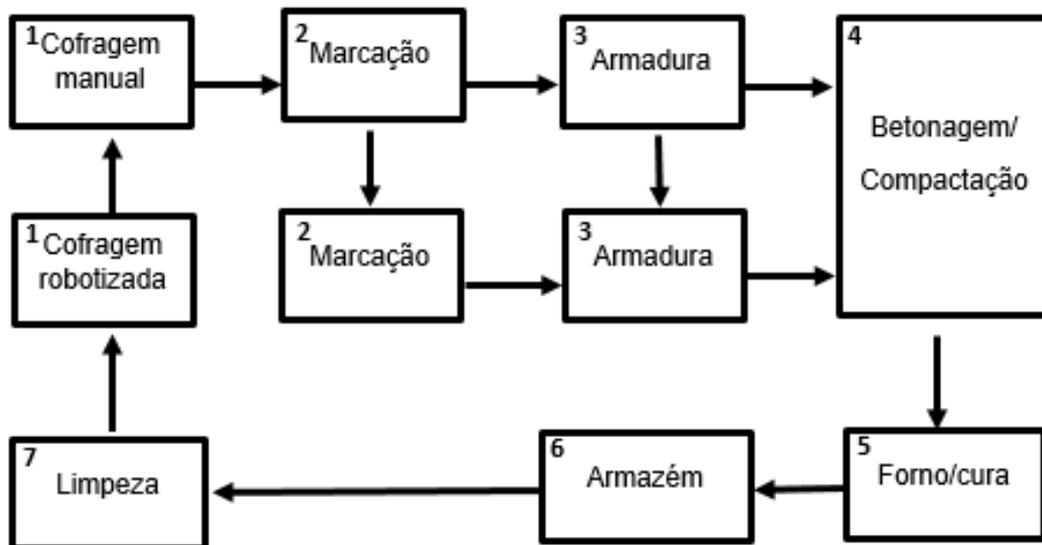


Figura 25 – Processo de fabricação dos painéis

Tal como se pode verificar nas figuras 26 e 27, a primeira estação é a de cofragem, esta pode ser realizada manualmente (cofragem manual) e/ou com recurso a robô (cofragem robotizada). Nesta última, o robô lê as informações do CNC e faz a distribuição necessária na mesa de cofragem metálica, de acordo com a geometria requerida para a preparação do painel. Geralmente, este é um processo automático, mas em caso de falha, pode ser executado manualmente.



Figura 26 – Robô a escolher a cofragem de acordo com o CNC



Figura 27 – Robô a instalar a cofragem

A segunda estação caracteriza-se pela marcação, figura 28, onde com recurso a robô são colocados os acessórios como, janelas, portas etc.

A terceira estação é a armadura, figura 29, esta requer recursos humanos, mais especificamente de três pessoas. A equipa completa a estação anterior colocando a armadura necessária.



Figura 28 – Acessórios instalados



Figura 29 – Armadura colocada

Depois de completar as três estações anteriores, a mesa está pronta para ser preenchida de betão, a este processo chama-se de betonagem/compactação, figura 30 e 31. Esta estação numa característica peculiar, ao contrário das estações anteriores, esta engloba duas etapas. A primeira etapa é a passagem de um controlo de qualidade, onde um técnico qualificado faz a última verificação para ver se tudo está de acordo com o modelo BIM, caso este verifique que está tudo correto é dado a autorização para a realização da segunda etapa. A segunda etapa é a colocação e compactação do betão com o reforço de fibras sintéticas já misturadas com a dosagem calculada.



Figura 30 – Exemplo de betonagem



Figura 31 – Exemplo de betonagem

Quando a mesa é preenchida de betão, é levada para a quinta estação 'Forno/Cura', a temperatura do mesmo, é de cerca de vinte e dois graus. Ficando cerca de doze horas para reduzir o tempo de cura necessário, para executar na próxima estação o 'Armazém'.

Na estação 'Armazém' o painel é retirado da mesa e é colocado em armazenamento temporário, onde fica até ser dada a ordem de envio para a obra.

Completando estas etapas a mesa está pronta para a última estação, a 'Limpeza', esta será limpa e pronta para recomençar o processo novamente.

5. ANÁLISE COMPARATIVA

5.1. SUSTENTABILIDADE

Pegada de carbono

A pegada de carbono de um produto é um inventário das emissões e remoções de gases de efeito estufa em cada estágio do ciclo de vida de um produto. Os gases incluem:

- a) Dióxido de carbono - o gás de efeito estufa mais abundante, normalmente gerado pela combustão de combustível para fins de geração e transporte de energia;
- b) Metano - tipicamente gerado a partir da decomposição de material orgânico;
- c) Óxido nitroso - um subproduto da combustão e um gás medicinal;
- d) Gases sintéticos - como refrigerantes usados em sistemas de ar condicionado e gases isolantes usados na fabricação de metais e em equipamentos elétricos.

Para a realização do estudo, o gás de efeito estufa mais relevante é o dióxido de carbono, que é mais comumente produzido por combustão.

A pegada de carbono normalmente avalia as emissões de gases de efeito estufa desde a extração inicial de todas as matérias-primas, passando por cada estágio do ciclo de vida até ao desfecho final do produto (e as emissões resultantes da decomposição do produto).

As pegadas de carbono são calculadas para determinar a contribuição potencial de um produto, serviço ou organização para a mudança climática, quais opções têm a menor pegada de carbono e ajudam a identificar opções para a redução da pegada de carbono.

Relatório da Pegada de Carbono da SKM para a EPC

Em 2013, a Elasto Plastic Concrete contratou a Jacobs Engineering, que na época chamava-se Sinclair Knight Merz, para calcular a pegada de carbono de dois produtos numa laje de piso, o BarChip 48 e o BarChip 54 comparativamente com o reforço da malha de aço.

O principal resultado da investigação foi a determinação da emissão de dióxido de carbono por metro cúbico de betão. Para tal, as taxas de dosagem utilizadas na investigação foram as seguintes:

BarChip:

- a) 3 quilos de BarChip 48 por metro cúbico de betão;
- b) BarChip 54: 8 quilos por metro cúbico de betão para aplicação estrutural;
- c) BarChip 54: 8 quilos por metro cúbico de betão, mais 70 quilos de reforço em aço;

Reforço tradicional:

- a) 2,8 quilos de malha de aço por metro quadrado de betão para pavimento, com uma espessura de 0,15 metros;
- b) 140 quilos de varões por metro cubico de betão para aplicação estrutural.

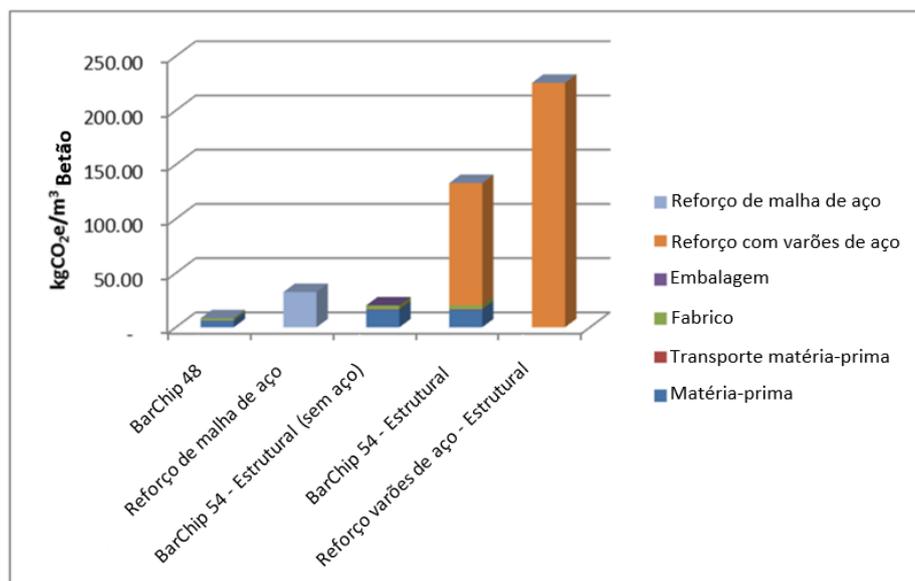


Gráfico 7 – Resultado da pegada de carbono por cada metro cúbico de betão

O estudo determinou que a pegada de carbono do betão armado BarChip é menor do que o reforço de aço tradicional reforçado com betão. Especificamente, e com base nas suposições feitas:

- a) O BarChip 48 oferece uma redução de emissão de carbono de 74% sobre a malha de aço numa placa de 150 mm;
- b) O BarChip 54, quando usado em conjunto com a barra de aço, oferece uma redução de 41% nas emissões de carbono quando comparado ao betão reforçado exclusivamente com barras de aço.

A pegada de carbono dos produtos BarChip é calculada da seguinte forma:

- a) BarChip 48 - 8,33 kgCO₂e / m³ de betão (2,78 kgCO₂e / kg BarChip 48);
- b) BarChip 54 - 20,20 kgCO₂e / m³ de betão (2,52 kgCO₂e / kg BarChip 54).

Quando as emissões associadas à fabricação do betão são adicionadas, a pegada de carbono por metro cúbico de betão é mostrada no gráfico a seguir:

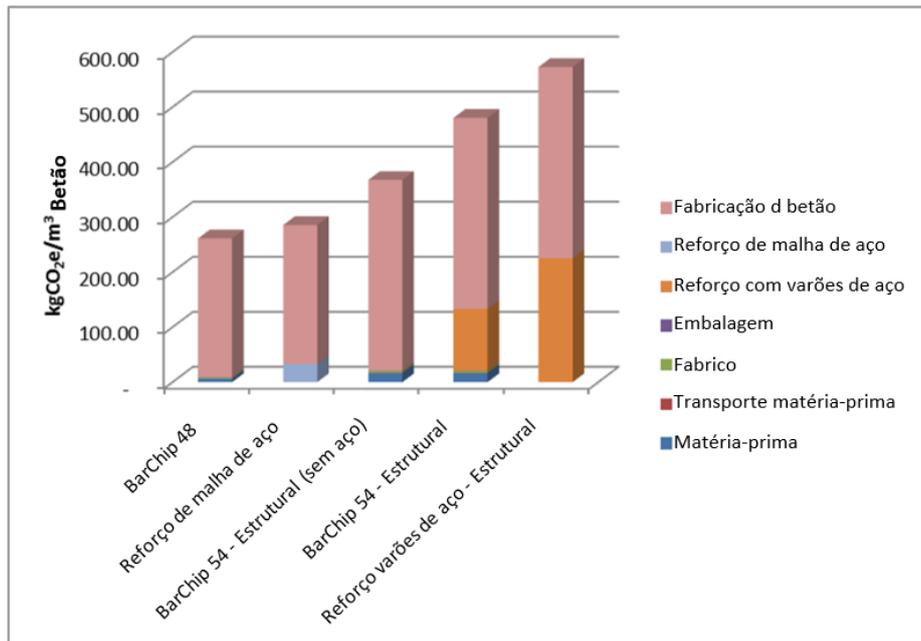


Gráfico 8 – Resultado da pegada de carbono por cada metro cúbico de betão

A pegada de carbono do piso reforçado por malha de aço varia dependendo da espessura da laje e quantas camadas de malha são adicionadas. A tabela 8, abaixo, mostra a pegada de carbono para produzir um metro cúbico de betão com reforço da fibra BarChip 48 e malha de aço tradicional. Os resultados mostram que, em todas as espessuras de placas, o BarChip 48 numa pegada de carbono significativamente menor.

Tabela 8 – Comparação da pegada de carbono entre o aço e a fibra em diferentes lajes.

Slab Thickness	1m ² Slab with Steel Mesh Reinforcement	1m ² Slab with BarChip Reinforcement	BarChip Reduction over Steel
100mm with 1 x mesh	4.87 kgCO ₂ e	0.83 kgCO ₂ e	83%
150mm with 1 x mesh	4.87 kgCO ₂ e	1.25 kgCO ₂ e	74%
200mm with 1 x mesh	4.87 kgCO ₂ e	1.67 kgCO ₂ e	66%
200mm with 2 x mesh	9.74 kgCO ₂ e	1.67 kgCO ₂ e	83%

5.2. DURABILIDADE

Por toda a parte do planeta, tem-se verificado a degradação imprevista das estruturas com betão armado. A título de exemplo, os Estados Unidos da América possuem 575000 pontes, cerca de metade dessas pontes estão afetadas pela corrosão. O custo com uma possível reparação ascende aos 50 biliões de dólares. Estudos efetuados na Noruega demonstraram que mais de 50% de todas as grandes pontes presentes ao longo da costa da Noruega apresentam alterações devido à corrosão ou já tinham sido reparadas devido a problemas de corrosão. Em Portugal, não há estudos realizados que avaliem o estado da degradação das estruturas de betão armado.

Estima-se que num futuro próximo mais de metade do dinheiro do orçamento das obras públicas será para reabilitar ou reparar estruturas de betão armado deterioradas.

A durabilidade das estruturas de betão é um fator de preocupação para proprietários de ativos que precisam justificar os gastos públicos e, portanto, a viabilidade e a longevidade dos ativos. Um ativo mais durável com uma vida útil mais longa e com menos manutenção, seria mais rentável e mais desejável.

A construção e a pesquisa existentes, mostram que há problemas significativos com o uso de betão reforçado com aço, o que pode levar a uma perda considerável no desempenho ao longo do tempo, resultando em situações em que a estrutura de betão projetada não poderia mais atingir a sua vida útil. Esses problemas de desempenho estão relacionados a:

a) Danos provocados pela água do mar, o estrago causado pela ação da água do mar é de origem física e química. A ação física é originada pelas ondas que submetem o betão a cargas

de impacto, levando à erosão da superfície por desgaste e cavitação. Ademais, o betão sofre ação química devido à sua exposição às ações químicas dos constituintes agressivos da água do mar, sujeito a ciclos repetitivos de gelo/desgelo e de secagem/molhagem. O estrago causado pelo ambiente marinho sobre as estruturas de betão armado pode ser dividido em função do posicionamento da componente de betão armado em relação ao nível das ondas do mar. A parte superior do betão armado não sofre a ação da água do mar. No entanto, encontra-se à mercê do ar atmosférico, da ação das geadas e dos sais transportados pelos ventos. A fissuração é o fenómeno mais frequente nesta zona e o que causa maior dano, visto que ocorre corrosão das armaduras ou devido aos ciclos de gelo/desgelo. Na zona entre marés, a estrutura está submetida a períodos alternados de secagem/molhagem, gelo/desgelo, impacto das ondas e de gelo flutuante, abrasão das areias e corrosão das armaduras.

b) Carbonatação, os carbonos em ação com os iões de cloro causam a despassivação das armaduras.

c) Cloretos, são os principais responsáveis pela corrosão do aço presente no betão, consequentemente é esta corrosão que deteriora o betão vizinho. A corrosão das armaduras é a causa primordial para a degradação das estruturas de betão armado.

d) Ataque biológico, corresponde à corrosão do betão das estruturas devido ao contacto deste com águas residuais, resultado da atividade metabólica de várias espécies de bactérias e fungos. A maior parte dos microrganismos existentes nos esgotos, podem oxidar o enxofre e os compostos contendo enxofre para ácido sulfúrico.

e) Causas eletroquímicas de degradação, os cloretos têm criado problemas sérios à corrosão em estruturas de betão armado em vários países. Vários milhões de dólares são precisos para reparar os estragos feitos todos os anos devido à corrosão. A composição e a integridade do betão são modificadas num ambiente agressivo. A diversidade de desgastes e de mecanismos de desgaste em corrosão, interferem na qualidade do betão. Na corrosão eletroquímica, átomos metálicos são retirados do aço, devido à criação de uma célula galvânica.

f) Corrosão de armaduras, o betão concede ao aço dupla proteção. Se por um lado, é uma barreira física que o separa do meio ambiente. Por outro lado, a elevada alcalinidade do hidróxido de cálcio permite formar uma película fina de óxido de ferro na superfície do aço, designada de passivação. A corrosão da armadura do betão compõe a oxidação destrutiva do aço pelo meio que o envolve. Então, a corrosão ocorre como resultado da formação de uma célula eletroquímica. A corrosão eletroquímica do aço, pode resultar na falta de uniformidade

do aço, do contacto com metais menos ativos, conforme a heterogeneidade do meio químico ou físico (betão) que rodeia o aço. Se bem que possa existir um potencial para a corrosão eletroquímica do aço devido à falta de uniformidade do betão armado, a corrosão geralmente é evitada, devido à constituição de uma película passivante de óxido de ferro. Sempre que as condições de serviço se alterem e o betão se modificar, eclode a corrosão da armadura, formando uma tripla consequência: o aço reduz a secção ou converte-se na totalidade em óxido. O betão pode fissurar e/ou distinguir-se devido às pressões que o óxido expansivo exerce (os produtos da corrosão ocupam um volume várias vezes maior que o aço original), simplificando a entrada de agentes agressivos; a junção armadura/betão reduz ou desaparece, diminuindo a capacidade de carga.

Os trabalhos corretivos da estrutura de betão, bem antes da vida útil especificada, resultarão em custos adicionais para o proprietário devido à perda de receita e ao custo das obras para reabilitar a estrutura.

O benefício da durabilidade a longo prazo do betão reforçado com fibra sintética BarChip em contraste com a alta taxa de corrosão da barra de aço e/ou fibra em betão fissurado e sendo imune à fragilização é um indicador-chave de desempenho para o mercado de construção.

5.2.1. TIPOS DE CORROSÃO

Corrosão por picadas

A corrosão por picadas forma-se por dissolução localizada da película passiva tipicamente resultante do ingresso de iões de cloro no meio, vindo do meio exterior ou porque pertencem aos constituintes ou foram introduzidos na amassadura do betão.

Forma-se uma célula de corrosão onde existe uma área passiva intacta, atuando como cátodo, e uma pequena área atuando como ânodo, que perdeu a película passiva e onde se reduz o oxigénio dissolvendo o aço. As picadas são autocatalíticas, e podem gerar as condições necessárias e suficientes para a sua continuação e crescimento [3.100]. No ânodo produz-se ácido, devido aos iões de cloro que favorecem a hidrólise do ferro na água para formar H⁺ e Cl⁻ livre. Esta reação decresce o pH localmente e os iões de cloro permanecem no meio para de seguida intervirem no processo de corrosão, agravando o problema.

Corrosão em espaços confinados

Este tipo de corrosão pode ocorrer quando sobre a superfície do aço existir um espaço suficientemente resguardado que evita o acesso contínuo do oxigênio a essa zona, podendo criar células diferenciais de oxigênio que induzem a corrosão do reforço.

Existem várias situações em que pode ocorrer este tipo de corrosão. A injeção de argamassas com materiais epóxicos como reforço estrutural, criando zonas com falta de oxigênio, havendo aceleração da corrosão por este motivo.

Corrosão de baixa tensão

Este tipo de corrosão ocorre quando se verificam simultaneamente duas circunstâncias: esforços de tração no aço e um meio agressivo. Esta corrosão ocorre preferencialmente no betão pré-esforçado ou pós-esforçado, onde se utiliza aço de elevada resistência devido, em geral, à presença de hidrogênio atômico difundido através do aço. Este hidrogênio pode ter origem nas mais diferentes fontes: corrosão do aço, proteção catódica, etc. A corrosão de baixa tensão é um fenómeno muito específico e normalmente associado à má qualidade do betão, ou a presença de determinados iões.

Corrosão por correntes de interferência

As correntes de interferência designadas também por vagabundas, erráticas ou de fuga, podem ser definidas como correntes que fluem numa estrutura e que não formem parte do circuito elétrico/célula eletroquímica específica. Para que ocorra a corrosão por correntes de interferência deve existir uma troca de correntes entre uma estrutura metálica e um meio eletrolítico. A corrente contínua é a que possui um efeito mais pronunciado sobre a corrosão, porque flui continuamente num só sentido. Ao contrário, a corrente alternada, que inverte de direção uma centena de vezes por segundo, pode causar um efeito muito menos pronunciado.

As fontes mais comuns deste tipo de correntes são: sistemas de proteção catódica operando nas vizinhanças de estruturas de betão armado, especialmente em meios de baixa resistividade, como é o caso da água salobra; sistemas com potencial elétrico, como os comboios elétricos; máquinas de soldar, onde a estrutura ligada à terra se encontra a uma determinada distância dos elétrodos de soldadura.

É importante indicar que, para o aço que se encontra passivado no betão e não contaminado por cloro, as correntes de interferência não produzirão corrosão do reforço.

Corrosão generalizada

A corrosão uniforme ou generalizada resulta de uma perda generalizada da película de passivação, resultante da carbonatação do betão e/ou a presença excessiva de quantidade de iões de cloro. Também pode ocorrer por efeito de lixiviação do betão produzida pela percolação e/ou lavagem por águas puras ou ligeiramente ácidas.

Corrosão galvânica

Este tipo de corrosão pode dar-se quando existem diferentes tipos de metais no meio eletrolítico. No caso do aço no betão, esta situação dar-se-á cada vez que alguma zona se danifica ou não se forma a película de passivação característica. Esta zona atuará como ânodo frente ao resto do aço, onde permanece a camada de passivação que atuará como cátodo.

5.2.2. ESTUDOS REALIZADOS NOS ÚLTIMOS 50 ANOS

Durabilidade do betão reforçado com fibra de aço: corrosão

Com a introdução de fibras de aço nos anos 70, uma quantidade considerável de pesquisas foi conduzida sobre sua durabilidade e resistência à corrosão. Como o reforço de aço convencional, foi mostrado que no reforço de fibra de aço no betão não fissurado mostrou pouca deterioração. As fibras embutidas nos primeiros poucos milímetros da pasta superficial foram corroídas, deixando marcas extensas de ferrugem na superfície, no entanto a expansão de volume não foi suficiente para causar fissuras e a integridade estrutural seria mantida.

Ao mesmo tempo, pesquisas publicadas no início da década de 1970 mostraram que o desempenho do betão reforçado com fibras de aço (SFRC) foi significativamente afetado pela corrosão (Aufmuth, et al., 1974) (Morse, et al., 1977). Além desses relatórios, (Halvorsen & Robinson, 1976) relataram que larguras de fissura tão pequenas quanto 0,05 mm em betão reforçado com fibras de aço são suscetíveis à corrosão, e concluíram que não havia largura de fissura máxima permitida, na qual a corrosão do betão reforçado com fibra de aço não ocorra.

Tendo concluído em 1970 Investigadores identificam que a fissura no betão leva à rápida corrosão do reforço de aço.

Estudos de exposição de Kosa e Naaman em 1990

Kosa e Naaman (1990) realizaram testes de exposição em mais de 1.200 amostras de betão reforçado com fibras submetidas a condições de exposição cíclica. Os resultados mostraram que:

a) A corrosão da fibra de aço resultou numa redução no diâmetro da fibra, que foi a principal responsável por perdas na tenacidade;

b) Amostras padrão expostas por 6 meses mostraram uma redução no diâmetro mínimo de fibra médio de 5-11%, que aumentou para 12-29% após 10 meses;

c) Foi observado que uma redução de cerca de 30% no diâmetro mínimo da fibra levou a uma redução na tenacidade de 40-50%;

Os investigadores observaram, ainda que o efeito da corrosão no diâmetro mínimo da fibra altera gradualmente o tipo de falha do compósito de fibra dúctil típica puxada para rutura de fibra ou “falha quebradiça induzida por corrosão” (Kosa & Naaman, 1990).

Esta pesquisa é de particular importância para FRC para forros de túneis, uma vez que destaca os efeitos da carbonatação, que é uma preocupação substancial para os túneis que serão submetidos a grandes quantidades de emissões de veículos.

Também é destacado, nesta pesquisa, a importância de alcançar compactação adequada e, por sua vez, baixa permeabilidade, pois é demonstrado que as amostras com alta permeabilidade sofreram maiores reduções de diâmetro do que aqueles com baixa permeabilidade.

(Kosa & Naaman, 1991) continuaram seu trabalho comparando a durabilidade de quatro compósitos de cimento reforçados com fibras representativos submetidos a níveis crescentes de exposição em solução de cloreto de sódio, um dos quais era uma fibra sintética de polipropileno (PP). Este foi um dos primeiros estudos comparativos de fibras de aço e PP. Confirmando o estudo anterior, os resultados mostraram que:

a) Após 6 meses de exposição, as amostras padrão mostraram uma redução de 5-20% no pico de stress e tenacidade modificados, aumentando para 8-27% de redução após 10 meses;

b) Embora todas as amostras saturadas durante 6 meses tenham sofrido corrosão severa, variando de 5-70% do diâmetro da fibra, nenhuma fissura induzida por corrosão foi observada na superfície da amostra antes do carregamento;

A aparência da superfície sugere que não é uma indicação do desempenho da amostra. Em comparação, “a amostras reforçadas com fibras de polipropileno expostos a condições similares de corrosão, como amostras reforçadas com fibras de aço, não apresentaram qualquer redução significativa no pico de resistência e tenacidade” (Kosa & Naaman, 1991).

Tendo concluindo que a corrosão leva a uma redução no diâmetro da fibra de aço, resultando numa grande perda de desempenho e que as fibras sintéticas não sofrem corrosão.

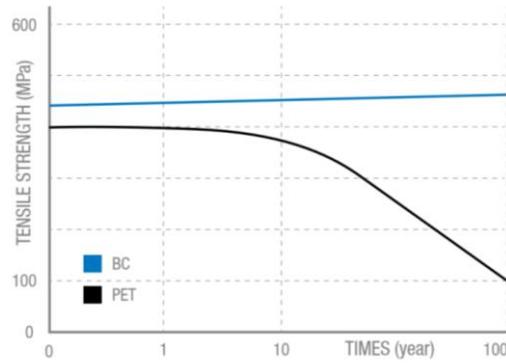
Estudos de durabilidade a longo prazo da Hannant em 1999

Num estudo com mais de 18 anos, de Hannant (1999) (Hannant, 1999), confirmou que os compósitos reforçados com fibras de polipropileno mantêm sua ductilidade e resistência por longo tempo, sem mudanças significativas. As amostras feitas de argamassa fina com camadas de fibras polipropileno foram expostas a diferentes condições de armazenamento: sob a água, ar de laboratório e naturalmente intemperados. Os resultados deste estudo mostraram que:

a) Força e tenacidade do compósito foram mantidas independentemente da condição de exposição;

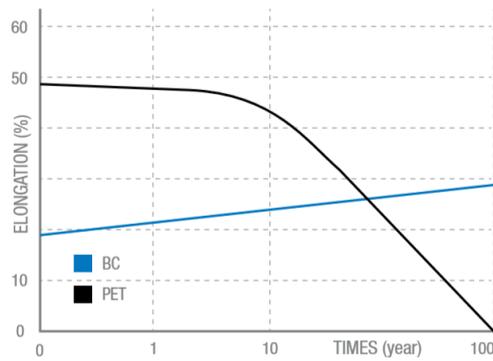
b) O módulo de tração de Young não fissurado, naturalmente desgastado e as amostras armazenadas em água são similares, após 18 anos, ou seja, não houve dano por congelamento e descongelamento no reforço de PP. As amostras pré-fissuradas desgastadas mostraram o mesmo valor, que as amostras armazenadas em água devido à cura autógena;

c) A resistência de união entre PP e a argamassa não foi afetada pela condição de exposição ou pelo tempo até 18 anos, ou seja, o modo de falha do composto não muda com o tempo.



Days	0.1	7	14	21	28	84
Year*	0.1	2	4	5	7	21
BC (MPa)	446	445	449	447	448	480
PET (MPa)	378	402	390	377	368	292

Gráfico 9 – Efeito dos álcalis na resistência à tração do BarChip ao longo de 100 anos



Days	0.1	7	14	21	28	84
Year*	0.1	2	4	5	7	21
BC (%)	19.23	25.43	25.84	25.75	25.5	24.8
PET (%)	37.94	51.25	44.95	41.86	37.15	20.0

Gráfico 10 – Efeito dos álcalis no alongamento do BarChip ao longo de 100 anos

Concluindo, o modo de trabalho (ou modo de falha) não muda com a idade, pois não há mudança significativa na ligação entre a fibra polipropileno e argamassa. Assim, o compósito retém força e resistência com o tempo. Isto está em contraste com o betão reforçado com fibras de aço, onde os efeitos de fragilização alteram o modo de falha e levam a uma perda significativa de desempenho com a idade.

Pesquisas de relatório de Nordström em 2000

Em 2000 foi realizada uma pesquisa para testar a durabilidade do FRC em ambientes de serviço do mundo real. Nordström (2000, 2001) (Nordström, 2000), (Nordström, 2001) realizou testes de exposição das amostras de betão projetado reforçado com fibras de aço (SFRC) em túneis rodoviários reais sujeitos a respingos de água do tráfego. A Nordström confirmou pesquisas anteriores de que a corrosão das fibras de aço resultou numa diminuição no diâmetro da fibra na abertura da fissura e que a corrosão aumentou à medida que a largura da fissura aumentou.

A corrosão localizada nas fissuras foi notada para reduzir significativamente o desempenho pós-fissura do betão projetado reforçado com fibra de aço. O mesmo autor publicou recentemente uma avaliação do betão projetado de fibra de aço fissurado após 17 anos com exposições em campo (Nordström, 2016). O relatório conclui que não é realista esperar uma vida útil de 100 anos com uma capacidade de carga retida particularmente em ambientes agressivos com fibras de aço.

Confirma pesquisas anteriores de laboratório em um cenário do mundo real e mostra que a perda de secção de fibra está diretamente relacionada à largura da fissura. Em 2016 conclui que a SFRC não pode reter capacidade de carga em ambientes agressivos.

Bernard afirma em 2000

O efeito da largura da fissura na durabilidade do betão projetado reforçado com fibra, também, foi examinado por Bernard (2004). O teste de exposição foi conduzido em betão projetado reforçado com fibra sintética e reforçado com fibra de aço em locais costeiros e interiores durante um período de dois anos. Testes demonstraram que:

a) Betão armado reforçado com fibra de aço, tanto no interior como no litoral, sofreu corrosão, sugerindo que o fornecimento de oxigénio pode ter um efeito significativo devido à presença de iões cloreto;

b) Larguras de fissura maiores que 0,1 mm nas amostras de betão projetado reforçado com fibra de aço levaram a taxas substanciais de deterioração;

c) Como Kosa e Naaman (1990), Bernard também observou que a falha frágil induzida pela corrosão era evidente. Durante o tempo de exposição, o mecanismo de falha do betão projetado reforçado com fibra de aço mudou de um puxão dúctil para um modo de falha frágil no local da corrosão;

d) Por outro lado, as amostras de betão projetado reforçadas com fibras sintéticas não apresentaram sinais de perda de desempenho ao longo de dois anos em ambos os locais de exposição.

Assim Bernard afirma que as larguras de fissuras maiores que 0,1 mm levam à corrosão significativa, que a corrosão das fibras de aço resulta numa falha frágil e instantânea e que a fibra sintética de macro não sofre corrosão

Pesquisa de Kaufmann em 2010

Estudos recentes também confirmam este trabalho de pesquisa anterior. Kaufmann (2014) (Kaufmann, 2014) (British Tunnelling Society, 2010) realizou testes em projeção de fibra de aço pré-triturada e reforçada com fibra sintética, submetida à exposição cíclica, com o objetivo de simular diversos ambientes de túneis. Kaufmann descobriu que:

a) Após a exposição de um ano, a corrosão causou uma redução tanto da carga máxima quanto da energia de rutura das amostras de fibra de aço em comparação com as amostras não expostas (não fissuradas);

b) A diminuição média no pico de carga para conjuntos de fibra de aço expostos a uma solução de cloreto de sódio foi de 47%, enquanto a redução média de 25 mm de absorção de energia foi de 52%;

c) Fibras poliméricas foram mostradas para suportar ambientes agressivos e, na maioria dos casos, não foi observada queda significativa na capacidade de carga;

d) Corrosão de fibras de aço resultou numa “falha frágil induzida por corrosão” das amostras.

Kaufmann registrou ainda, talvez pela primeira vez na literatura, as diferenças no desempenho mecânico de diferentes tipos de fibras sintéticas. Kaufmann mostrou que:

a) Fibras poliméricas de baixa qualidade de material podem sofrer danos, como fissuras durante o processo de aplicação.

b) O betão projetado reforçado com fibras de polímero com propriedades mecânicas e qualidade ruins pode sofrer efeitos de fragilização.

A conclusão de que, embora a corrosão do reforço de fibra de aço seja esperada no betão fissurado, as fibras sintéticas de alta qualidade não sofrem perda de desempenho resultante da corrosão.

Evidências de Kaufmann (2014) sugerem que fibras sintéticas de baixa qualidade também podem sofrer fragilização e danos por impacto durante a aplicação, mas fibras macro sintéticas de alto desempenho e qualidade não. Isso confirma que só a fibra sintética macro de alta qualidade especificamente projetada para reforço de betão deve ser usada.

A Diretriz de Tunelamento da British Tunneling Society afirma que a fibra sintética macro deve ter uma resistência à tração mínima de 500 MPa e um Módulo de Elasticidade maior que 10 GPa (British Tunnelling Society, 2010).

Estes estudos, juntamente com outros, fornecem uma série de informações importantes sobre a durabilidade e o desempenho de longo prazo do betão reforçado com fibras, que são:

a) Fibras sintéticas de polipropileno de alta qualidade, como o BarChip, não sofrem os efeitos de corrosão e perda de desempenho, independentemente das condições de exposição conhecidas, mesmo em grandes larguras de fissura;

b) As amostras de betão reforçado com fibra de aço não fissurada não são afetados pela corrosão, no entanto, uma vez que as fissuras são formadas, a deterioração do desempenho como resultado da corrosão é rápida;

c) A corrosão da fibra de aço resulta na perda de diâmetro da fibra na abertura da fissura. A taxa e a quantidade de corrosão aumentam à medida que a largura da fissura aumenta;

d) Larguras de fissura superiores a 0,10 mm levam a taxas significativas de deterioração da fibra de aço como resultado da corrosão, pois a largura da fissura afeta o tempo de início da corrosão;

e) A corrosão do reforço de fibra de aço resulta numa mudança significativa do modo de falha, mudando de uma falha de arrancamento dúctil para uma falha de quebra frágil, causando uma rápida perda de tenacidade. É referido como a falha frágil induzida por corrosão;

f) Fragilização de betão reforçado com fibras de aço ocorre devido ao ganho de força na idade avançada, fazendo com que a ligação entre o betão e a fibra exceda a resistência à tração

das fibras, alterando o mecanismo de falha de uma rutura dúctil causada por rutura das fibras. É referido como a falha induzida por fragilização;

g) A ocorrência de fragmentos tem ocorrido logo aos 30 dias de idade e em betão com resistência nominal tão baixa quanto 40 MPa, e foi mostrado que reduz o desempenho de pós-fissura até 50%;

h) Fibras sintéticas macro de alta qualidade, como o BarChip, não são afetadas pelo ganho de resistência do betão na idade avançada. Em contraste, eles mostram melhor desempenho com a idade. No entanto, um estudo indica que fibras sintéticas de baixa qualidade podem ser afetadas por efeitos de fragilização;

i) As fibras BarChip podem ser usadas como uma alternativa aos reforços de aço com benefícios significativos associados, como maior durabilidade, custos reduzidos e maior sustentabilidade.

Através destes ensaios realizados ao longo dos anos verifico que a fibra sintética é uma boa alternativa ao aço, visto que esta não sofre alterações ao longo do tempo, no seu desempenho nem nas suas dimensões tendo uma durabilidade muito elevado em comparação com o aço, isto se a fibra for uma fibra de alta qualidade.

5.3. RESISTÊNCIA

O BarChip trabalha distribuindo centenas de milhares de fibras de alta resistência à tração em toda a mistura de betão.

Tabela 9 – Características da fibra sintética BarChip 48

Característico	EPC BarChip 48	Padrão
Fibra Classe II	Para uso estrutural em betão, argamassas e reboco.	EN 14889-2
Resistência à tração	640 MPa	JIS L 1013/ ISO 2062
Módulo de Young	12 GPa	JIS L 1013/ ISO 2062
Comprimento	48 mm	
Ancoragem	Contínua gravação em relevo	
Material Base	Polipropileno Virgem	
Resistência à álcalis	Excelente	
Certificação CE		0120 – GB10/79678
Certificação ISSO 9001:2008		JKT0402914

Estas reforçam todas as partes da estrutura de betão, não deixando uma cobertura de betão não reforçada e vulnerável.

O sistema de reforço com fibras sintéticas:

- a) Está dedicado para atuar no início da microfissura;
- b) Controla a propagação de fissura;
- c) Minimiza a largura da fissura.

O resultado final é uma estrutura de betão mais durável, mais dúctil e mais rápida de produzir.

A fibra sintética estrutural aumenta a capacidade de flexão pós-fissura do betão, conhecida como ductilidade ou tenacidade.

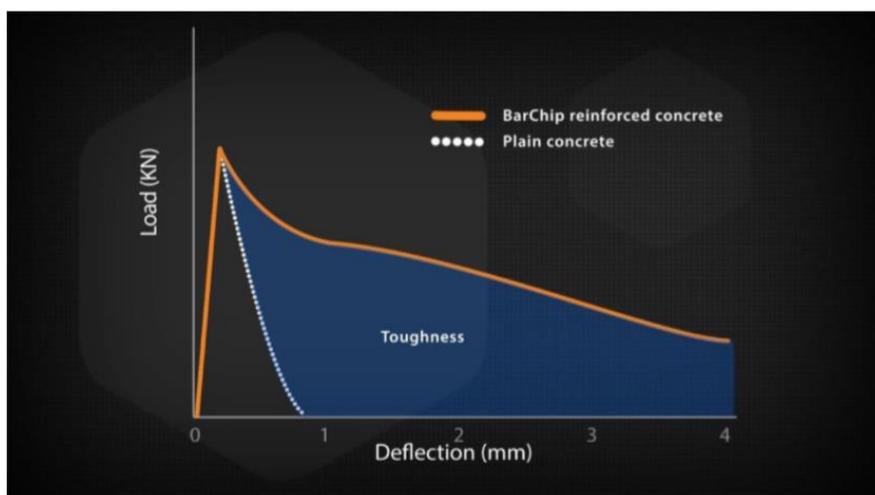


Gráfico 11 – Comparação da ductilidade entre o betão e o betão reforçado com fibras BarChip

No betão tradicionalmente reforçado, as forças de tração precisam de mover-se através de uma zona não reforçada. Este reforço;

- a) Possibilita microfissuras;
- b) Permite a propagação de fissuras;
- c) Não é resistente a movimentos do solo.

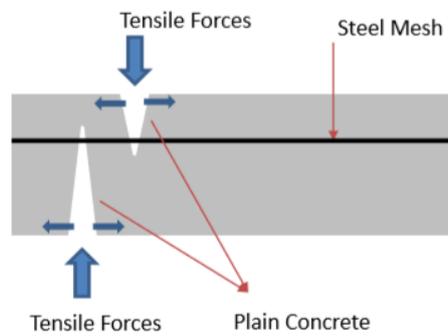


Figura 32 – Desenho das forças de tração no betão reforçado com aço

O betão reforçado com fibras sintéticas atua no ponto exato em que as forças de tração são aplicadas. Este reforço;

- a) Controla microfissuras;
- b) Controla a propagação de fissuras;
- c) É resistente a movimentos do solo.

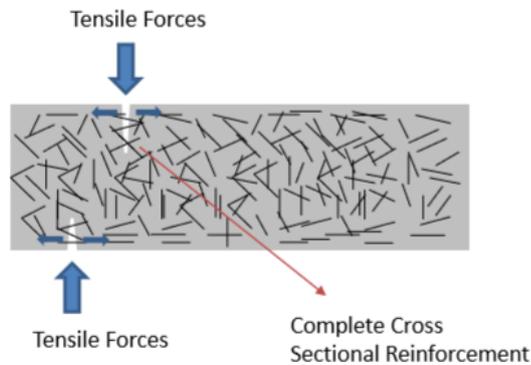


Figura 33 – Desenho das forças de tração no betão reforçado com fibras

Em betão de baixa resistência (18 -28 MPa), as fibras BarChip dosadas a 3 kg/m³ superam o tradicional reforço de aço até 20 mm de deflexão. Uma deflexão de 12 mm é aproximadamente equivalente a uma largura de fissura de 5 mm.

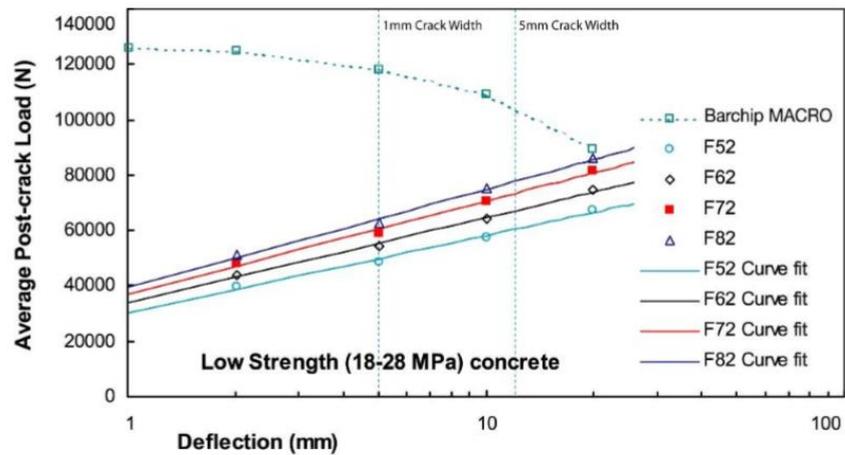


Gráfico 12 – Comparação de flexão com diferentes reforços de betão de baixa resistência

Em betão de alta resistência (32 - 46 MPa), as fibras BarChip dosadas a 3 kg/m³ superam as tradicionais armaduras de aço com até 8 mm de deflexão. Uma deflexão de 8mm é aproximadamente equivalente a uma largura de fissura de 3mm.

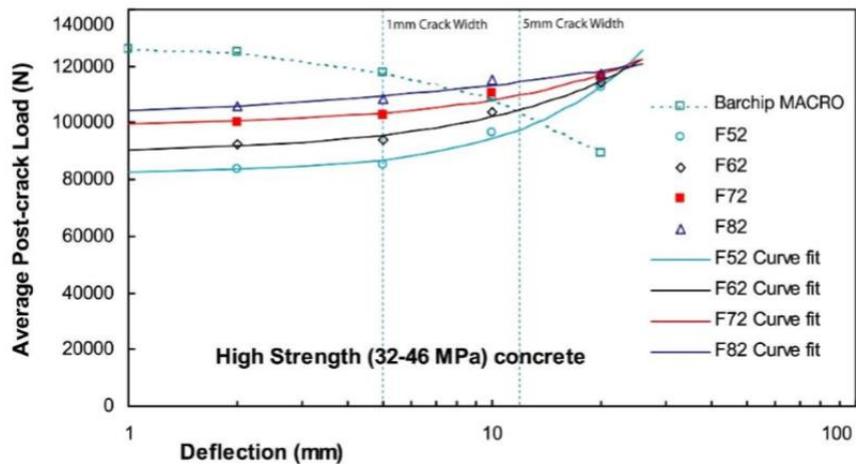


Gráfico 13 – Comparação de flexão com diferentes reforços de betão de alta resistência

5.4. ESTUDO

Para este estudo comparativo serão tidos em conta dois tipos de painéis planos, um com reforço com aço (como referido no ponto 3.3.) e outro com substituição das 2 malhas de aço (A252) por uma dosagem de 5kg/m³ de fibras sintéticas BarChip 48. O objetivo será comparar a resistência, a produtividade, o peso, e o custo, tendo como base a execução de 1000 painéis.

Os dados utilizados para o estudo são fornecidos pela empresa Shay Murtagh, tais como os diferentes tempos de produção entre os dois tipos de painéis, os pesos dos diferentes materiais e os preços.

5.4.1. RESISTÊNCIA

4.3.1.1. REALIZAÇÃO DE ENSAIOS

INTRODUÇÃO

Nesta fase, a empresa decidiu realizar ensaios unicamente no painel plano, excluindo assim o painel em L e o painel em U do estudo.

Para realizar a comparação foram feitos 4 ensaios à flexão com painéis diferentes em que a variável era a armadura de distribuição.

Cada painel terá o seguinte reforço:

- a) Painel 1 – Sem reforço;
- b) Painel 2 – Reforçado uma malha A252;
- c) Painel 3 – Reforçado com fibras sintéticas BarChip 48 com uma dosagem de 5 Kg/m²;
- d) Painel 4 – Reforçado com malha A252 e com fibras BarChip 48 com uma dosagem 5 kg/m².

Os painéis serão testados sob o seguinte esquema (figura 26):

- Dois apoios afastados a 4,5 m;
- Uma carga distribuída em dois pontos afastados a 1,5 m

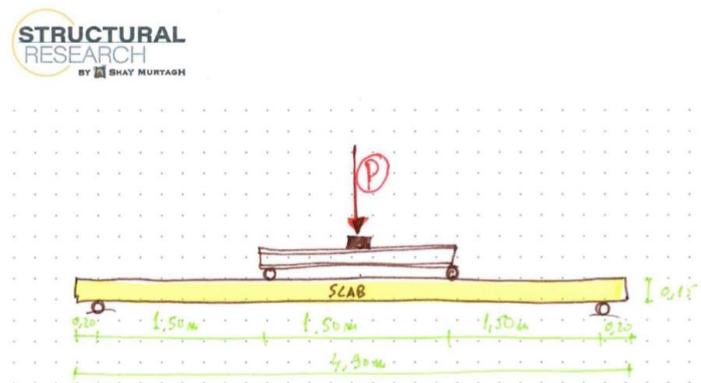


Figura 34 – Esboço do esquema de cargas e apoios aplicados ao painel

4.3.1.2. RESULTADOS E RELATÓRIO FOTOGRÁFICO

Painel 1 – Betão sem reforço

Tabela 10 – Comportamento do painel 1 ao esforço axial submetido

Total Applied Load (kg)	Applied Bending Moment (kN.m)	Total Bending Moment (kN.m)	Applied Disp. (mm)	Total Disp. (mm)	Real Deflection (mm)	Crack Width (mm)	Crack Spacing (mm)
0	0.00	9.49	0.000	1.924	N.A.	N.A.	N.A.
200	1.47	10.96	0.305	2.229	N.A.	N.A.	N.A.
400	2.94	12.44	0.610	2.534	1	0	-
600	4.41	13.91	0.915	2.839	Colapse*	-	-
799.57	5.88	15.38	1.219	3.143	N.A.	N.A.	N.A.
800	5.89	15.38	1.220	3.144	-	-	-
1000	7.36	16.85	1.525	3.449	-	-	-
1200	8.83	18.32	1.829	3.754	-	-	-
1400	10.30	19.79	2.134	4.058	-	-	-
1600	11.77	21.26	2.439	4.363	-	-	-
1739.93	12.80	22.29	2.653	4.577	N.A.	N.A.	N.A.
1800	13.24	22.74	2.744	4.668	-	-	-

Os resultados na tabela 10, mostram que o betão sem reforço tem pouca resistência ao esforço axial ocorrendo o colapso aos 600 kg de carga. Também podemos verificar que este colapso sem aviso prévio sendo que só existiam microfissuras.



Figura 35 – Foto global do painel 1 depois do colapso



Figura 36 – Foto com pormenor do painel 1 depois do colapso

Painel 2 – Betão reforçado com uma malha A252

Tabela 11 – Comportamento do painel 2 ao esforço axial submetido

Total Applied Load (kg)	Applied Bending Moment (kN.m)	Total Bending Moment (kN.m)	Applied Disp. (mm)	Total Disp. (mm)	Real Deflection (mm)	Crack Width (mm)	Crack Spacing (mm)
0	0.00	9.49	0.000	1.924	N.A.	N.A.	N.A.
200	1.47	10.96	0.305	2.229	N.A.	N.A.	N.A.
400	2.94	12.44	0.610	2.534	0	0	-
600	4.41	13.91	0.915	2.839	2	hairline	-
799.57	5.88	15.38	1.219	3.143	N.A.	N.A.	N.A.
800	5.89	15.38	1.220	3.144	Colapse*	-	-
1000	7.36	16.85	1.525	3.449	-	-	-
1200	8.83	18.32	1.829	3.754	-	-	-
1400	10.30	19.79	2.134	4.058	-	-	-
1600	11.77	21.26	2.439	4.363	-	-	-
1739.93	12.80	22.29	2.653	4.577	N.A.	N.A.	N.A.
1800	13.24	22.74	2.744	4.668	-	-	-

Os resultados na tabela 11, mostram que o betão reforçado com uma malha como previsto tem mais resistência ao esforço axial resistindo mais 200 kg de carga do que o betão sem reforço. Ao contrário do anterior este proporciona um aviso prévio sendo que primeiro aparecem fissuras notáveis de 3mm antes do colapso.



Figura 37 – Foto global do painel 2 depois do colapso



Figura 38 – Foto com pormenor do painel 2 depois do colapso

Painel 3 – Betão reforçado com fibras BarChip 48

Tabela 12 – Comportamento do painel 3 ao esforço axial submetido

Total Applied Load (kg)	Applied Bending Moment (kN.m)	Total Bending Moment (kN.m)	Applied Disp. (mm)	Total Disp. (mm)	Real Deflection (mm)	Crack Width (mm)	Crack Spacing (mm)
0	0.00	9.49	0.000	1.924	N.A.	N.A.	N.A.
200	1.47	10.96	0.305	2.229	N.A.	N.A.	N.A.
400	2.94	12.44	0.610	2.534	2mm	0	-
600	4.41	13.91	0.915	2.839	3mm	0	-
799.57	5.88	15.38	1.219	3.143	N.A.	N.A.	N.A.
800	5.89	15.38	1.220	3.144	Colapse	-	-
1000	7.36	16.85	1.525	3.449	-	-	-
1200	8.83	18.32	1.829	3.754	-	-	-
1400	10.30	19.79	2.134	4.058	-	-	-
1600	11.77	21.26	2.439	4.363	-	-	-
1739.93	12.80	22.29	2.653	4.577	N.A.	N.A.	N.A.
1800	13.24	22.74	2.744	4.668	-	-	-

Os resultados da tabela 12, mostram que as fibras têm uma resistência semelhante há malha de aço, mas ao contrário do painel 2 este colapsa sem aviso prévio, visto que não é visível nenhuma fissura, verificando ainda uma maior deformação antes do colapso.

Painel 4 – Betão reforçado com uma malha A252 e fibras BarChip 48

Tabela 13 – Comportamento do painel 4 ao esforço axial submetido

Total Applied Load (kg)	Applied Bending Moment (kN.m)	Total Bending Moment (kN.m)	Applied Disp. (mm)	Total Disp. (mm)	Real Deflection (mm)	Crack Width (mm)	Crack Spacing (mm)
0	0.00	9.49	0.000	1.924	N.A.	N.A.	N.A.
200	1.47	10.96	0.305	2.229	N.A.	N.A.	N.A.
400	2.94	12.44	0.610	2.534			
600	4.41	13.91	0.915	2.839			
799.57	5.88	15.38	1.219	3.143	N.A.	N.A.	N.A.
800	5.89	15.38	1.220	3.144			
1000	7.36	16.85	1.525	3.449			
1200	8.83	18.32	1.829	3.754	24	0.15	70
1400	10.30	19.79	2.134	4.058			
1600	11.77	21.26	2.439	4.363	99	2.1	70
1739.93	12.80	22.29	2.653	4.577	N.A.	N.A.	N.A.
1800	13.24	22.74	2.744	4.668	Colapse		

Os resultados do último painel mostram que a resistência é superior ao dobro do que os painéis anteriores referidos. Aos 1200 Kg o painel mostra uma flexão de 24 mm, com fissura de 0,15 mm e comprimento de 70 mm. Só com uma carga de 1600 kg de carga e com uma flexão de 99mm, mostra fissuras de 2.1mm. O que conclui que com uma diminuição de aço e o acréscimo de fibras o betão fica mais coeso o que proporciona uma flexão maior devido ao aço e com uma aparição de fissuras mais tardia devido as fibras.



Figura 39 – Foto global do painel 4 sem fissuras



Figura 40 – Foto com pormenor do painel 4 depois de fissurar

5.4.2. PRODUTIVIDADE

Como referido anteriormente, a Shay Murtagh forneceu os tempos das várias estações da fabricação de painéis como indica a tabela 14.

Tabela 14 – Tempo (segundos) utilizado nas várias estações da fabricação de dois painéis

Estações	Painel reforçado com aço	Painel reforçado com fibras
Cofragem	20	20
Marcação	45	45
Armadura	50	45
Betonagem	20	20
Total	135	130

Observa-se então que a estação onde ocorre a variação de tempo é na Armadura, sendo que o painel reforçado com fibras obtém uma diminuição de 5 segundos, correspondendo ao tempo que no painel reforçado com aço é necessário para colocar e amarrar as malhas de aço. Dando assim, uma diminuição no tempo total de 5 segundos.

Visto que a fábrica trabalha 24 horas, durante os 5 dias úteis semanais, para a fabricação de 1000 painéis reforçados com aço demoraria 1 dia, 13 horas e 30 minutos e a fabricação de 1000 painéis reforçados com fibras demoraria 1 dia e 12 horas, diminuindo em 1 hora e 30 minutos, o que significa um rendimento superior de 4% na fabricação.

5.4.3. PESO

Para a comparação do peso do painel vai-se descartar o peso dos outros componentes para focar na variação de peso devido à variação dos materiais, a malha de aço e as fibras sintéticas.

Tabela 15 – Quantidades utilizadas para a elaboração de um painel

Descrição	Malha de aço A252	Fibras sintéticas
Quantidades	2 (14,4 m ²)	5.4 Kg
Peso	57 Kg	5,4 Kg

A diferença, como se pode observar, na tabela 15 é enorme, o que determina que em 1000 painéis reforçados com as malhas de aço, o peso aumenta 57 Ton. Enquanto que em 1000 painéis reforçados com fibras sintéticas o peso aumentaria 5,4 Ton, o que se traduz numa diferença de 51,6 Ton. A simples substituição das malhas de aço por fibras sintéticas deu numa redução de peso entre materiais de 90%.

5.4.4. CUSTO

Em termos económicos serão abordados dois temas, o primeiro será a variação de custo tendo em conta a variação dos dois materiais, e a segunda, a variação do rendimento de fabricação entre os dois painéis.

Na tabela 16 estão expostos os preços de cada material e o custo associado à fabricação de um painel.

Tabela 16 – Preço dos materiais e o custo associado a um painel

Descrição	Malha de aço A252	Fibras sintéticas
Preço	3,00 €/m ²	5,75 €/Kg
Custo para executar um painel	43,20 €	31,05 €

Tendo em conta que existe 10% de desperdício na malha de aço (dado fornecido pela Shay Murtagh) ao valor de custo para executar um painel reforçado com malha de aço terá que se acrescentar 10%, o que ficaria em 47,52 €. Sendo assim, para reproduzir 1000 painéis reforçados com malha de aço terá que se gastar 47 520 € em malhas de aço, e para reproduzir a mesma quantidade de painéis, mas estes reforçados com fibras terão de se gastar 31 050 € em fibras o que resulta numa diferença de 16 470 €, podendo concluir-se que ao substituir as malhas de aço por fibras sintéticas existe uma redução de custos em materiais de 35%.

Na produtividade, como referido anteriormente, a utilização de painéis reforçados com fibras sintéticas teve um rendimento superior de 4%, o que permite uma redução de custos diretos-fixos, por exemplo, se os gastos fixos são de 16% o custo por m², fazendo mais 4% de painéis a repercussão nos gastos diretos seria 1%, o que incrementa de forma direta o benefício na totalidade dos m² vendidos.

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS

A invenção do betão pré-fabricado constituiu um avanço para a modernização da construção civil, contribuindo para a sua industrialização. A história permite-nos afirmar que a sua utilização foi crucial em momentos de perturbação, nomeadamente na reconstrução das cidades devastadas durante a Segunda Guerra Mundial.

A utilização do betão reforçado com aço permitiu maior rapidez na execução da obra, reduzindo o risco de ocorrência de acidentes no trabalho. No entanto, há uma maior suscetibilidade à corrosão, diminuindo o seu tempo de vida útil e a sua resistência à tração, que seria a sua principal vantagem.

Com o progresso e a busca por melhores materiais, no sentido de minimizar as desvantagens acarretadas pela utilização do betão reforçado com aço, surge o betão reforçado com fibras sintéticas, substituindo a malha de aço (armadura de distribuição).

O betão reforçado com fibras sintéticas apresenta melhor redistribuição de carga (maior ductilidade/tenacidade), elimina a corrosão (logo aumenta a durabilidade), reduz a pegada de carbono, não ocorre desperdício, dado que os sacos são utilizados na mistura e as paletes usadas no seu transporte são de plástico reciclável.

No que diz respeito aos benefícios de fabricação, o betão reforçado com fibras sintéticas é mais leve que o betão reforçado com aço, permite maior produção e redução de custos, porque torna-se desnecessário o processo de instalação manual das malhas de aço. Há uma melhor organização do espaço laboral, já que não existe necessidade de ter em stock malhas de aço. O ambiente de trabalho fica mais seguro, porque não há necessidade de os trabalhadores manusearem de perto as máquinas e de prender a malha de aço na armadura principal.

Os ensaios realizados para esta dissertação, permitem concluir que as fibras sintéticas são uma boa alternativa à malha de aço, mas não é possível abdicar na totalidade do aço, nomeadamente da armadura principal.

A realização deste trabalho incidiu na análise comparativa entre o betão reforçado com aço e o betão reforçado com fibras sintéticas, particularmente a substituição da malha de aço pelas fibras sintéticas. Para a conceção das conclusões desta tese, foram consideradas as seguintes variáveis: produtividade, custo, peso e pegada de carbono.

Na produtividade, a utilização de painéis reforçados com fibras sintéticas teve um rendimento superior de 4%, o que permite uma redução de custos diretos-fixos, por exemplo, se os gastos fixos são de 16% o custo por m², fazendo mais 4% de painéis a repercussão nos gastos diretos seria 1%, o que incrementa de forma direta o benefício na totalidade dos m² vendidos.

Para além da redução dos custos diretos-fixos, a substituição da malha de aço por fibras sintéticas possibilita uma redução de custos associados aos materiais de 35%.

O aumento da produtividade somado com a redução dos custos associados aos materiais, permite um aumento ao nível da faturação.

A substituição da malha de aço pelas fibras sintéticas reduz em 90% o peso do painel, sem contar com o peso das outras componentes.

Bibliografia

- ANIPB, 2008. *A Indústria de Prefabricação em Betão em Portugal*. Lisboa: ANIPB.
- ANIPC, 1998. *Estudo Sectorial para a Indústria de Produtos de cimento. s.l.* Lisboa: ANIPC – Associação Nacional dos Industriais de Produtos de Cimento.
- Aufmuth, et al., 1974. *Effect of aggressive environments on steel fibre reinforced concrete*. s.l.:s.n.
- Barchip, 2018. *Barchip*. [Online]
Available at: Barchip.com
- Bernard, 2004. *Age-Dependent Behaviour in Fibre Reinforced Shotcrete*. s.l.:s.n.
- Bernard, 2015b. *Effect of Exposure on Post-crack Performance of FRC for Tunnel Segments*. s.l.:s.n.
- British Tunnelling Society, 2010. *Specification for Tunnelling*. s.l.:s.n.
- Concrete, E. P., 2017. *Durability and Long Term Performance of Fibre Reinforced Concrete*. s.l.:s.n.
- Concrete, E. P., 2017. *Environmental Management Plan*. s.l.:s.n.
- Daniela, s.d. *BIM Management in an Automated Concrete Panel Factory*. s.l.:s.n.
- Elliott, K. S., 2002. *Precast concrete structures*. s.l.:ButterworthHeinemann.
- Ferreia, M., 2003. *A importância dos sistemas flexibilizados*. São Paulo: Universidade Federal de São Carlos.
- fib, f. i. d. b. / . I. F. f. S. C., 2013. *fib Model Code for Concrete Structures 2010*. s.l.:Ernst & Sohn.
- Giedion, S., 2009. *Espacio, tiempo y arquitectura*. Barcelona: Editorial Reverté.
- Greven, A. e. B. A., 2007. *Introdução à coordenação modular da construção no Brasil*. Porto Alegre: Coleção HABITARE / FINEP.
- Halvorsen & Robinson, 1976. *Durability and Physical Properties of Steel Fiber Reinforced Concrete*. s.l.:s.n.

Hannant, 1999. *The effects of age up to 18 years under various exposure conditions on the tensile properties of polypropylene fibre reinforced concrete properties. Materials and Structures.* s.l.:s.n.

inc., B., 2018. *Report On The Durability Of BarChip Structural Fibre In A Cementitious Environment.* s.l.:s.n.

INE, 2005. *FGUE – Ficheiro Geral de Unidades Estatísticas (dados de 2005).* s.l. s.l.:Instituto Nacional de Estatística.

INE, 2005. *Ficheiro Geral de Unidades Estatísticas (FGUE).* s.l. s.l.:Instituto Nacional de Estatística.

INE, 2013. *Empresas em Portugal 2011.* Lisboa: Instituto Nacional de Estatística.

IPQ, 2009. *Manual de Normalização.* s.l. Lisboa: Instituto Português da Qualidade.

Kaufmann, 2014. *Durability performance of fiber reinforced shotcrete in aggressive environment.* s.l.:s.n.

Kelly, B., 1951. *The Prefabrication of Houses.* Unites States of America: The Massachusetts Institute of Technology.

Koncz, T., 1966. *Manuale della Prefabbricazione.* Bauverlag, Milano: Edizioni Technique.

Koncz, T., 1975. *Manual de la Construcción Prefabricada: com elementos de hormingón armado e pretensado: construcción, cálculo e ejecución.* Madrid: Hermann Blume.

Kosa & Naaman, 1990. *Corrosion of Steel Fiber Reinforced Concrete.* s.l.:s.n.

Kosa & Naaman, 1991. *Durability of fiber reinforced mortar.* s.l.:s.n.

Magalhães, A., 2013. *A pré-fabricaçãoem betão em Edifícios.* Porto: ISEP.

Merz, S. K., 2013. *Elasto Plastic Concrete – BarChip 48 and 54 Carbon Footprints.* s.l.:s.n.

Mondragão, L., 2011. *Sistemas industrializados de betão armado para a construção de armazéns.* Porto: FEUP.

Morse, D.C., Williamson & G.R., 1977. *Corrosion behaviour of steel fibrous concrete.* s.l.:s.n.

Nordström, 2000. *Steel fibre corrosion in cracks - Durability of sprayed concrete.* s.l.:s.n.

Nordström, 2001. *Durability of steel fibre reinforced shotcrete with regard to corrosion.* s.l.:s.n.

Nordström, 2016. *Evaluation after 17 years with field exposures of cracked steel fibre reinforced shotcrete*. s.l.:s.n.

Ordonéz, J. A. F., 1974. *Pre-fabricacion: teoría y práctica*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados.

Pinto, A. R., 2000. *Pré-fabricação na Indústria de Construção, 1º Congresso Nacional da Indústria de Pré-fabricação em Betão*. Porto: Associação Nacional dos Industriais de Produtos de Cimento.

Prodcom, 2005. *Annual detailed enterprise statistics on manufacturing subsections DF-DN*. s.l.:EUROSTAT.

Revel, M., 1973. *La prefabricacion en la construccion*. Bilbao: Urmo.

Rosso, T., 1976. *Teoria e prática da coordenação modular*. São Paulo: FAUUSP.

Santiago, A., 1999. *Pré-fabricação aberta e pré-fabricação fechada, 3ª Jornadas de Estruturas*. Porto: FEUP.

Serrano, J., 1997. *Construcción industrializada: prefabricación, elementos de la edificación*. Madrid: Fundación Escuela de la Edificación, Colegio Oficial de Aparejadores y A.T.

Shay Murtagh, s.d. [Online]

Available at: www.shaymurtagh.ie

[Acedido em 20 06 2018].