

PAVIMENTOS TÉRREOS INDUSTRIAIS EM BETÃO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO

MANUELA TONINI PASSOS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS

Orientador: Professor Doutor José Manuel Marques Amorim de
Araújo Faria

JULHO DE 2011

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2010/2011

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2010/2011 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

*“Bem-aventurado o homem que encontra sabedoria, e o homem que adquire conhecimento,
pois ela   mais proveitosa do que a prata, e dá mais lucro que o ouro.”*

Provérbios 3:13-14

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Doutor José Amorim Faria pela sua paciência e pelas suas críticas que permitiram uma optimiza o do trabalho produzido. Agradeço a sua ajuda no delineamento da estratégia de abordagem ao tema proposto, proporcionando assim as ferramentas essenciais para a realiza o do mesmo, mas sobretudo, estou muito grata pela possibilidade que me proporcionou de estar presente numa obra, vivenciando os assuntos abordados ao longo da disserta o.

Agradeço ao engenheiro Vítor Monteiro e   equipa destacada para a fiscaliza o do estudo de caso, por me acolherem no seu meio, pela paciência e pela prontidão com que me ajudaram.

Agradeço também aos meus pais, por me incentivarem a ser cada dia uma melhor pessoa, moldando desde cedo o meu carácter. Obrigada por terem sempre feito o melhor que podiam para que eu sentisse feliz e realizada.

Agradeço ao Tiago Ribeiro por a cada dia estimular o melhor de mim, pelo apoio incansável, por estar sempre presente, pelo carinho e dedica o que me concedeu desde o primeiro dia que o conheci.

Aos meus colegas, que me acompanharam nesta jornada, pelo seu apoio, amizade e partilha de conhecimentos, pelas sessões de estudo prolongadas, mas sobretudo, pelo companheirismo, pelas histórias partilhadas, pelos risos, pelas memórias.

Agradeço do fundo do meu cora o a Deus pela vida que me concedeu, pelo Seu cuidado a cada dia, por saciar a minha alma, por ocupar um lugar que jamais nenhum outro poderia.

A todos, os meus profundos agradecimentos.

RESUMO

Esta dissertação tem como objectivo a satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil, no ramo de especialização de Construções.

O trabalho insere-se numa perspectiva tecnológica cujo objectivo é o estudo de pavimentos térreos industriais, nas quais se adicionaram fibras de aço ao betão para melhoria das suas propriedades, nomeadamente para controlo da fendilhação e o incremento da capacidade de absorção de energia do composto, particularidades apresentadas no Capítulo 2.

O mesmo capítulo procura definir as especificidades do sistema construtivo, apurando quantas camadas compõem o pavimento e qual a sua função, atentando para o modo de execução deste tipo de pavimentos, referindo ainda, algumas patologias ou irregularidades mais correntes, alertando a causa das mesmas de modo a providenciar aos agentes de fiscalização a oportunidade de tomar medidas preventivas, no caso deste se deparar com a execução em obra deste tipo de solução.

A necessidade de averiguar a aplicabilidade da solução em estudo levou a uma pesquisa de mercado, de modo a listar as empresas que fabricam betão pronto com fibras e as que executam pavimentos industriais, conferindo se estas possuem os meios necessários para a realização dos mesmos. Algumas empresas que executam pavimentos também comercializam os produtos necessários à sua execução, tais como endurecedores de superfície, auxiliares de cura, com um destaque especial para as fibras de aço, encontrando-se a matéria aqui referida, no Capítulo 3.

A urgência da criação de regras para controlo de qualidade da solução apresentada levou à procura de normalização portuguesa que regulasse o fabrico e os ensaios aplicáveis ao betão com fibras, bem como a procura de regras de qualidade, junto de fornecedores e de sites técnicos, que orientassem a execução em obra de pavimentos de betão com fibras, desde a escolha das características das fibras, à adição destas na betoneira, passando pelo modo de lançamento do betão e o acabamento da superfície culminando na execução de juntas, regras essas apuradas no Capítulo 4. De acordo com as mesmas e conforme a sequência da realização das tarefas referidas no Capítulo 2, produziu-se uma Ficha de Inspeção e Ensaio com o propósito de auxiliar a fiscalização no tocante à execução do tipo de pavimento estudado, de modo a aferir o cumprimento das regras redigidas no Capítulo 4.

A autora teve o privilégio de assistir a um caso real, inserido no tema da dissertação, tendo a oportunidade de vivenciar a execução de pavimentos em betão com fibras de aço numa perspectiva prática da mesma, adquirindo uma percepção mais afinada relativa ao tempo de execução de cada tarefa e as dificuldades sentidas em obra para a realização do pavimento. A descrição deste estudo de caso encontra-se no Capítulo 5. Aproveitou-se a experiência para validar a Ficha efectuada no capítulo anterior, de modo a conferir a sua aplicabilidade a um caso real.

PALAVRAS-CHAVE: pavimentos térreos, uso industrial, betão reforçado com fibras, fibras de aço, regras de qualidade.

ABSTRACT

This work is aimed at satisfaction of the parcial requirements to acquire the degree Civil Engineering Master degree, with specialization at Civil Construction.

The work is part of a technological perspective whose objective is the study of industrial ground floors, in which steel fibers are added to concrete to improve its properties, particularly for control of cracking and increased energy absorption capacity of the compound, theme exposed in Chapter 2.

The same chapter seeks to define the specifics of the construction system, knowing how many layers are part of the ground and what are its role, noticing the execution of this type of flooring, referring also more usual irregularities, warning the supervision team of the cause in order to provide preventive actions in case they have to handle this situation.

Also to verify how this solution is practicable by actual companies, were listed the some of them that manufacture concrete and execute industrial flooring, making sure they have the appropriate means to execute them. Some companies also sell the products needed to slab execution, such as hardeners, curing products, with a special emphasis on the steel fibers. This subject is in Chapter 3.

The upgrading quality control rules has led to demand for portuguese standards that regulate the manufacture and the tests applicable to concrete with fibers, as well as the demand for quality rules, from suppliers and technical sites, which assists the slab execution from helping to select fiber characteristics, guiding its addition in the mixer and placement of the concrete and finishing actions culminating in joints execution, rules defined in Chapter 4. According to these rules and tasks mentioned to in Chapter 2, it has been shown on “FOLHA DE INSPECÇÃO E ENSAIO” for the purpose of assisting the supervision in the slabs execution, to actualy match all procedures in the rules mentioned on Chapter 4.

The author had the privilege of attending in a real case, which belongs to the theme of the thesis, having the opportunity to assist the execution of steel fiber reinforced concrete from a practical perspective, acquiring a closer perception on the runtime on each task and the difficulties related to this work. The description of this case in study can be found in Chapter 5. We took advantage of the experience to validate the FIE made on previous chapter, in order to check for its application on a real schenario.

KEYWORDS: ground floors, industrial use, fiber reinforced concrete, steel fibers, quality rules.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE GERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE QUADROS	xv
ABREVIATURAS	xvii

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJECTO, ÂMBITO E JUSTIFICAÇÃO	1
1.2. BASES DO TRABALHO DESENVOLVIDO	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2

2. PAVIMENTOS TÊRREOS INDUSTRIAIS EM BETÃO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO

5

2.1. INTRODUÇÃO: ENQUADRAMENTO HISTÓRICO	5
2.2. OS MATERIAIS BASE NA COMPOSIÇÃO DO BRFA	6
2.2.1. BETÃO	6
2.2.2. FIBRAS	6
2.2.2.1. Generalidades	7
2.2.2.2. Fibras de aço	8
2.2.3. PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DO BRF	9
2.2.3.1. Trabalhabilidade	10
2.2.3.2. Resistência à compressão	14
2.2.3.3. Resistência à flexão	14
2.2.3.4. Fadiga	14
2.2.3.5. Abrasão	15
2.2.3.6. Resistência ao impacto	15
2.2.3.7. Fluência e retracção	15
2.2.3.8. Módulo de elasticidade	15
2.2.3.9. Absorção de energia	16

2.2.3.10. Durabilidade.....	16
2.3. PAVIMENTOS INDUSTRIAIS: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	17
2.3.1. COMPONENTES DO SISTEMA CONSTRUTIVO	17
2.3.1.1. Solo.....	18
2.3.1.2. Sub-base	18
2.3.1.3. Filmes Impermeáveis/Barreiras pára-vapor	19
2.3.1.4. Betão	20
2.3.1.5. Acabamento superficial	21
2.3.2. TIPOS DE PAVIMENTOS INDUSTRIAIS CONSOANTE A CAMADA DE BETÃO	23
2.3.2.1. Pavimentos de betão simples.....	24
2.3.2.2. Pavimentos de betão reforçado com armadura distribuída	25
2.3.2.3. Pavimentos de betão com reforço estrutural.....	25
2.3.2.4. Pavimentos de betão pré-esforçados.....	26
2.3.2.5. Pavimentos de betão reforçados com fibras	26
2.3.3. TIPOS DE PAVIMENTOS INDUSTRIAIS CONSOANTE A FUNDAÇÃO.....	27
2.3.4. TIPOS DE PAVIMENTOS INDUSTRIAIS CONSOANTE A UTILIZAÇÃO	27
2.3.5. JUNTAS EM PAVIMENTOS INDUSTRIAIS	28
2.3.5.1. Qual a utilidade das juntas?	28
2.3.5.2. Tipos de juntas	29
2.4. EXECUÇÃO DOS PAVIMENTOS INDUSTRIAIS.....	32
2.4.1. SOLO.....	33
2.4.2. SUB-BASE.....	34
2.4.3. COFRAGENS	35
2.4.4. POSICIONAMENTO DA ARMADURA.....	35
2.4.5. BETONAGEM	36
2.4.5.1. Produção e transporte	36
2.4.5.2. Lançamento do betão.....	37
2.4.5.3. Compactação.....	38
2.4.5.4. Acabamento.....	38
2.4.5.5. Cura do betão	40
2.4.6. JUNTAS	40
2.5. PATOLOGIAS EM PAVIMENTOS INDUSTRIAIS	43

3. PESQUISA DE MERCADO: O MERCADO PORTUGUÊS	45
3.1. INTRODUÇÃO	45
3.2. BETECNA – BETÃO PRONTO S.A.	45
3.3. CIMPOR	46
3.4. PAVIN – PAVIMENTOS INDUSTRIAIS, LDA.....	47
3.5. PAVILAJE – PAVIMENTOS INDUSTRIAIS, S.A	49
3.6. PAVIESTE – EXECUÇÃO TÉCNICA DE PAVIMENTOS, S.A.....	49
3.7. PAVIMAIA – SOCIEDADE DE PAVIMENTOS INDUSTRIAIS LDA	52
3.8. SOLPAVE	53
3.9. SERVIPAVI – PAVIMENTOS INDUSTRIAIS UNIPessoal, LDA.....	54
3.10. ROCLAND	55
3.11. EGON – CONSTRUÇÃO S.A	56
3.12. INÉDITBASE – PAVIMENTOS INDUSTRIAIS LDA.....	57
4. REGRAS PARA CONTROLO DA QUALIDADE NA EXECUÇÃO DE PAVIMENTOS INDUSTRIAIS EM BRFA	59
4.1. OBJECTIVOS.....	59
4.2. ENQUADRAMENTO LEGAL E NORMATIVO PORTUGUÊS	60
4.2.1. NP EN 14889-1. FIBRAS PARA BETÃO. PARTE 1: FIBRAS DE AÇO. DEFINIÇÕES, ESPECIFICAÇÕES E CONFORMIDADE.....	60
4.2.2. NP EN 14845-1: MÉTODOS DE ENSAIO DE FIBRAS NO BETÃO. PARTE 1. BETÕES DE REFERÊNCIA	61
4.2.3. NP EN 14845-2: MÉTODOS DE ENSAIO DE FIBRAS NO BETÃO. PARTE 2. INFLUÊNCIA SOBRE A RESISTÊNCIA	62
4.2.4. NP EN 14488-5: ENSAIO DE BETÃO PROJECTADO. PARTE 5: DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ENERGIA DE PROVETES DE LAJES REFORÇADOS COM FIBRAS.....	63
4.2.5. NP EN 14488-7: ENSAIO DE BETÃO PROJECTADO. PARTE 7: DOSAGEM DE FIBRAS NO BETÃO REFORÇADO COM FIBRAS	63
4.3. REGRAS DE BOA PRÁTICA: INDICAÇÃO DE FABRICANTES	63
4.3.1. PAVIMENTOS INDUSTRIAIS: GUIA TÉCNICO DE APLICAÇÃO, PELA SIB.....	64
4.3.2. STEEL FIBRE REINFORCED CONCRETE FOR INDUSTRIAL FLOORS, ESPECIALLY FLOORS WITHOUT JOINTS AND FLOORS ON PILES: A PRACTICAL GUIDE	65
4.4. REGRAS DE BOA PRÁTICA: SITES TÉCNICOS SOBRE A CONSTRUÇÃO	68
4.4.1. ENGENHARIACIVIL.COM	68
4.4.2. REVISTA TÉCHNE.....	69
4.4.3. PORTAL PISOS INDUSTRIAIS	70

4.5. FICHA DE INSPECÇÃO E ENSAIO	71
---	-----------

5. ESTUDO DE CASO: AMPLIAÇÃO DA CONTINENTAL MABOR

75

5.1. INTRODUÇÃO	75
------------------------------	-----------

5.2. A EMPRESA CONTINENTAL MABOR	75
---	-----------

5.3. DESCRIÇÃO DA OBRA	76
-------------------------------------	-----------

5.4. COMPONENTES DO SISTEMA CONSTRUTIVO: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	78
---	-----------

5.4.1. SOLO.....	78
------------------	----

5.4.2. SUB-BASE.....	79
----------------------	----

5.4.3. LÂMINA DE NÓDULOS.....	79
-------------------------------	----

5.4.4. BETÃO.....	80
-------------------	----

5.4.5. ACABAMENTO SUPERFICIAL.....	81
------------------------------------	----

5.4.6. JUNTAS	82
---------------------	----

5.4.6.1. Juntas de dessolidarização (ou isolamento)	83
---	----

5.4.6.2. Juntas serradas (de retracção)	83
---	----

5.4.6.3. Juntas de construção (ou de betonagem)	84
---	----

5.5. EXECUÇÃO DA OBRA	85
------------------------------------	-----------

5.5.1. SOLO.....	85
------------------	----

5.5.2. SUB-BASE.....	87
----------------------	----

5.5.3. LÂMINA DE NÓDULOS.....	88
-------------------------------	----

5.5.4. BETONAGEM E ACABAMENTO SUPERFICIAL	90
---	----

5.5.5. JUNTAS	92
---------------------	----

5.6. CONTROLO DA QUALIDADE – FICHAS DE INSPECÇÃO E ENSAIO	95
--	-----------

6. CONCLUSÃO

99

6.1. VERIFICAÇÃO DO CUMPRIMENTO DOS OBJECTIVOS PROPOSTOS.....	99
--	-----------

6.2. DIFICULDADES SENTIDAS	100
---	------------

6.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	100
--	------------

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
---	------------

SITES CONSULTADOS	103
--------------------------------	------------

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.2.1 – Execução de tijolos com fibras.....	5
Fig.2.2 – Tipos de fibras	7
Fig.2.3 – Esquerda: Diferentes formas das fibras de aço; Direita: Fibras de aço em plaquetas.....	9
Fig.2.4 – <i>Slump Test</i>	11
Fig.2.5 – Ensaio Vêbê	12
Fig.2.6 – Ensaio da mesa de espalhamento	12
Fig.2.7 – Grau de compactabilidade	12
Fig.2.8 – «Ouriço»	13
Fig.2.9 – Sistema construtivo de um pavimento industrial.....	17
Fig.2.10 – Preparação de um solo	18
Fig.2.11 – Sub-base granular.....	19
Fig.2.12 – Filme impermeável.....	20
Fig.2.13 – Betão com fibras	21
Fig.2.14 – Texturização mecânica	21
Fig.2.15 – Aspersão do endurecedor de superfície	22
Fig.2.16 – Aplicação do RAD	23
Fig.2.17 – Corte: Pavimento industrial de betão simples.....	24
Fig.2.18 – Corte: Pavimento industrial de betão reforçado com rede electrossoldada	25
Fig.2.19 – Corte: Pavimento industrial de betão com reforço estrutural.....	25
Fig.2.20 – Corte: Pavimento industrial de betão pré-esforçado.....	26
Fig.2.21 – Corte: Pavimento industrial de betão reforçado com fibras	26
Fig.2.22 – Corte: Junta de dessolidarização	29
Fig.2.23 – Corte: Esquerda: Junta em forma de diamante; Direita: Junta de construção circular	30
Fig.2.24 – Esquerda: Junta de construção com ferrolhos e protecção de juntas; Direita: Ligação macho-fêmea.....	31
Fig.2.25 – Esquerda: Posicionamento dos ferrolhos; Direita: comportamento dos painéis com e sem barra de transferência	32
Fig.2.26 – Esquerda: Motoniveladora; Direita: Pá carregadora.....	33
Fig.2.27 – Esquerda: Cilindro pés de carneiro; Direita: Placa vibratória	34
Fig.2.28 – Exemplo de curva de compactação	34
Fig.2.29 – Exemplo de cofragem com aberturas para posicionamento de ferrolhos	35
Fig.2.30 – Exemplo de posicionamento da armadura utilizando espaçadores metálicos	36

Fig.2.31 – Camião auto-betoneira	37
Fig.2.32 – Esquerda: Esquemas de betonagem: primeiro em xadrez, o intermédio por faixas e o último por placas; Direita: Lançamento do betão com auxílio de bomba.....	37
Fig.2.33 – Esquerda: Laser, régua graduada e tripé; Direita: Laser screed	38
Fig.2.34 – Esquerda: Talochamento; Direita: Sarrafeamento	39
Fig.2.35 – Esquerda: Utilização de régua vibratória; Direita: Utilização de um «helicóptero»	39
Fig.2.36 – Esquerda: Cura química; Direita: Cura húmida.....	40
Fig.2.37 – Execução de juntas serradas	41
Fig.2.38 – Limitador de profundidade do selante para juntas serradas (fundo de junta)	42
Fig.2.39 – Selagem de juntas	42
Fig.2.40 – Delaminação do pavimento	43
Fig.2.41 – Desgaste do pavimento	43
Fig.3.1 – Esquerda: Espalhamento; Direita: Nivelamento do betão	48
Fig.3.2 – Cura do betão	48
Fig.3.3 – Diferentes cores do acabamento, dadas pelo endurecedor de superfície.....	48
Fig.3.4 – Pavimento impresso	50
Fig.3.5 – Exemplo de superfloor.....	50
Fig.3.6 – Exemplo de microterrazzo	51
Fig.3.7 – Esquerda: Betão lavado; Direita: Betão poroso	51
Fig.3.8 – Utilização do Laser Screed.....	52
Fig.3.9 – Execução de trabalhos de compactação de pavimentos	52
Fig.3.10 – Execução de pavimentos industriais	53
Fig.3.11 – Esquerda: Lançamento do betão; Direita: Regularização com régua vibratória.....	54
Fig.3.12 – Esquerda: Alisamento da superfície com «helicóptero»; Direita: Serragem de juntas	54
Fig.3.13 – Esquerda: Alisamento da superfície com «helicóptero»; Direita: Recuperação de um pavimento	56
Fig.3.14 – Exemplos de betão impresso	57
Fig.3.15 – Exemplos de pavimentos em resina epóxi compacto multicamada.....	57
Fig.5.1 – Planta do pavimento térreo: A vermelho, o local com a solução LT2; o restante recorre à solução LT1	76
Fig.5.2 – Esquerda: Pavimento LT1; Direita: Pavimento LT2	77
Fig.5.3 – Zona de passadiço metálico destinado a um posto de transformação. Também recorre à solução LT1	77

Fig.5.4 – Rolo de geotêxtil.....	78
Fig.5.5 – Lâmina de nódulos Delta-MS 20.....	79
Fig.5.6 – Corte tipo: Pavimento têrreo LT1.....	81
Fig.5.7 – Corte tipo: Pavimento têrreo LT2.....	81
Fig.5.8 – Planta do pavimento têrreo: pormenor de juntas de retracção no pavimento e em forma de diamante, à volta dos pilares.....	82
Fig.5.9 – Corte tipo: Junta de isolamento.....	83
Fig.5.10 – Corte tipo: Junta serrada.....	83
Fig.5.11 – Corte tipo: Junta de betonagem.....	84
Fig.5.12 – Corte tipo: Ligação do pavimento têrreo novo ao existente.....	85
Fig.5.13 – Cilindro compactador.....	86
Fig.5.14 – Esquerda: Controlo do peso volúmico por transmissão indirecta; Centro: Controlo do peso volúmico por transmissão directa; Direita: Controlo do teor em água por transmissão indirecta.....	87
Fig.5.15 – Equipamento radioactivo para controlo da compactação - Troxler 3440.....	87
Fig.5.16 – Esquerda: Pá carregadora a despejar o material britado no local; Direita: Regularização do material despejado.....	88
Fig.5.17 – Esquerda: Material britado regularizado por um compactador de rolo, Direita: Compactador tipo «sapo».....	88
Fig.5.18 – Aplicação da lâmina de nódulos.....	89
Fig.5.19 – Exemplo de pormenor de reforço auxiliar em torno de uma caixa.....	89
Fig.5.20 – Aplicação de armadura de reforço.....	89
Fig.5.21 – Aplicação armadura de reforço na zona do passadiço metálico.....	90
Fig.5.22 – Cofragem das caixas.....	90
Fig.5.23 – Lançamento e espalhamento do betão.....	91
Fig.5.24 – Esquerda: Talochamento; Direita: Alisamento com auxílio da régua vibratória.....	91
Fig.5.25 – Utilização de um laser emissor rotativo para controlo da espessura de betão.....	92
Fig.5.26 – Aspersão dos agregados e posterior passagem do «helicóptero».....	92
Fig.5.27 – Dispositivos de protecção e ferrolhos nas juntas de betonagem.....	93
Fig.5.28 – Colagem do aglomerado de cortiça nos elementos a separar.....	93
Fig.5.29 – Marcação da zona a serrar.....	94
Fig.5.30 – Serragem das juntas.....	94
Fig.5.31 – Esquerda: Aspecto final das juntas de betonagem; Direita: Aspecto final das juntas serradas.....	95

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1. – Raz�es para aplica�o do BRFA nos diversos tipos de estruturas	10
Quadro 2.2. – Fun�o das camadas que comp�em o pavimento industrial.....	18
Quadro 2.3. – ACI 302: Classe dos pavimentos industriais consoante a utiliza�o	27
Quadro 2.4. – ANAPRE: Classe dos pavimentos industriais consoante a utiliza�o	28
Quadro 2.5. – Propriedades dos materiais usados na selagem das juntas	42
Quadro 2.6. – Principais patologias em pavimentos industriais	44
Quadro 4.1. – Declara�o dos fabricantes em rela�o �s fibras, segundo a NP EN 14889-1.....	63
Quadro 4.2. – Redu�o do <i>Slump</i> , em rela�o ao bet�o sem fibras, consoante dosagem de fibras (de 1mm de di�metro e 50mm de comprimento)	66
Quadro 4.3. – S�ntese das principais regras de qualidade a considerar no BRFA	71
Quadro 4.4. – Proposta de Ficha de Inspe�o e Ensaio de pavimentos industriais	72
Quadro 5.1. – Factores de seguran�a: dados para dimensionamento.....	80
Quadro 5.2. – Exemplo de preenchimento da Ficha de Inspe�o e Ensaio, de acordo com o estudo de caso	96

ABREVIATURAS

- ACI – American Concrete Institute
- ANAPRE – Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho
- APCER – Associação Portuguesa de Certificação
- ASTM – American Society for Testing and Materials
- BRF – Betão Reforçado com Fibras
- BRFA – Betão Reforçado com Fibras de Aço
- CEN – Comité Européen de Normalisation (European Committee for Standardization)
- CPF – Controlo da Produção em Fábrica
- EC2 – Eurocódigo 2
- EN – Normas Europeias Harmonizadas
- FIE – Ficha de Inspeção e Ensaio
- IQNet – The International Certification Network
- ISO – International Organization for Standardization
- JSCE – Japan Society of Civil Engineers
- LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
- NP – Norma Portuguesa
- RAD – Revestimentos de Alto Desempenho

1

INTRODU O

1.1. OBJECTO, ÂMBITO E JUSTIFICA O

A descoberta da melhoria da capacidade resistente de um material na qual foram incorporadas fibras remete para milhares de anos A.C. e   uma técnica actualmente e válida e utilizada.

Consta-se que a generaliza o da introdu o de fibras ao betão ocorreu após a I Guerra Mundial e desde então têm-se feito esforços no sentido de apurar o impacto que estas têm no composto, realizando ensaios que permitam investigar propriedades específicas do betão reforçado com fibras. Presentemente e após vários estudos realizados, concluiu-se que a adi o de fibras ao betão   uma técnica passível de se utilizar na constru o civil, existindo regulamenta o portuguesa aplicável ao mesmo e várias regras que apontam para uma realiza o correcta dos pavimentos aos quais se juntaram fibras.

A introdu o de fibras no betão funciona como um reforço, principalmente no controlo da fendilha o e absor o de energia, tornando possível a redu o da espessura da camada de betão e do número de juntas que o pavimento requer. Uma vez que uma má concep o ou execu o de juntas d o origem a várias patologias nos pavimentos, deve-se reduzir o seu número tanto quanto possível, benefício esse proporcionado pelas fibras.

Para que o funcionamento do composto seja o esperado, deve-se ter em aten o as características das fibras, providenciando uma boa mistura, de modo a evitar a aglomera o das mesmas e garantir que estas se encontram dispersas segundo várias orienta oes, o que exige cuidados na vibra o do composto no decorrer das opera oes de compacta o.

A coloca o em obra do compósito, em termos de tempo e facilidade de aplica o,   outra vantagem desta soluço uma vez que as fibras a incorporar encontram-se dispersas no betão não havendo necessidade de se proceder   sua «montagem», como acontece, por exemplo, com as armaduras ordinárias. Não obstante, sublinha-se que as fibras não são um substituto   armadura corrente, antes possuem outras propriedades que aprimoram as características do compósito.

Apesar das vantagens apresentadas, a composi o do betão tem de ser corrigida devido   afecta o que a incorpora o de fibras provoca na trabalhabilidade do composto, havendo a necessidade do recurso a superplastificantes.

Com a presente disserta o, cujo tema   «Pavimentos T rreos Industriais em Betão Reforçado com Fibras de Aço», pretende-se estudar do ponto de vista tecnológico os pavimentos industriais em betão reforçado com fibras de aço, incluindo materiais e processos de constru o, de modo a definir as várias camadas que compõem os pavimentos desta índole e a ordem de trabalhos que este tipo de pavimento exige na sua execu o.

Neste estudo consideraram-se os pavimentos de natureza industrial com incorporação de fibras metálicas em aço, no betão que integra estes pavimentos.

Sintetiza-se assim, como principal objectivo deste trabalho a criação de um documento técnico, compilando as melhores práticas na execução de pavimentos téreos industriais reforçados com fibras metálicas usados em geral em situações de cargas pesadas.

Como objectivos mais específicos podem indicar-se a realização de um compêndio dos principais documentos técnicos aplicáveis ao tema, a caracterização do mercado português no domínio, a preparação de uma Ficha de Inspeção e Ensaio inédita e o acompanhamento de uma obra real para aferição e melhoria do trabalho realizado nas fases iniciais da pesquisa.

1.2. BASES DO TRABALHO DESENVOLVIDO

O trabalho desenvolvido tem como bases bibliográficas principais as dissertação de Mestrado Integrado da FEUP «Betões reforçados com fibras de aço. Modelação do comportamento à compressão uniaxial» de Rui Neves e «Influência das características das Fibras no Desempenho do Betão» de Nuno Ferreira e, ainda, a monografia «Pavimentos Industriais de Concreto. Análise do sistema construtivo» do autor Rafael Cristelli da Universidade Federal de Minas Gerais, no Brasil.

Também foram relevantes outros documentos, tais como «Betão reforçado com fibras de aço. Aplicação de pavimentos industriais» do autor Luís Evangelista e «Concreto com fibras de aço» de Antônio Figueiredo.

É imprescindível referir a consulta de normas portuguesas aplicáveis ao betão com fibras e documentos que contêm regras de qualidade aplicáveis à solução em análise e ainda a pesquisa de sites técnicos relacionados com o tema, também vocacionado para a procura de regras de qualidade.

Além disso, foi fundamental a pesquisa de sites efectuando um estudo de mercado, de modo a avaliar a aplicabilidade deste tipo solução do seio das empresas vocacionadas para a execução de pavimentos e para o fornecimento de betão pronto com fibras.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação apresentada organiza-se em seis Capítulos. Depois desta breve introdução, o Capítulo 2 apresenta o Estado da Arte, que no presente trabalho tem um papel fundamental. Começa por apresentar os vários tipos de fibras, destacando as de aço, revelando as suas principais características, demonstrando de seguida quais as principais propriedades do BRFA. Segue-se a apresentação das especificações técnicas de pavimentos industriais, indicando a função de cada camada que os compõem e abordando o processo de realização desta solução. Por fim, realça-se algumas das anomalias respeitantes a este tipo de solução, anunciando quais as suas causas mais prováveis.

O capítulo sucessor (Capítulo 3) apresenta o mercado português no âmbito deste estudo, nomeadamente empresas que fornecem betão pronto com fibras e empresas que realizam pavimentos industriais, em relação às quais importa referir que algumas delas também comercializam as fibras de aço, vendendo-as a outras empresas do ramo.

O Capítulo 4 pretende compilar regras de qualidade a partir de indicação de fabricantes, sites técnicos e regulamentação portuguesa, com o objectivo de executar uma solução durável e apta ao uso. Propôs-se no final do Capítulo 4, com base das questões abordadas neste e no Capítulo 2, uma Ficha de Inspeção e Ensaio (tipo check-list), pretendendo funcionar como auxiliar do trabalho da fiscalização.

O Capítulo 5 apresenta um caso real de execu o de um pavimento industrial em betão com fibras de aço em que a autora teve oportunidade de presenciar tentando absorver todos os ensinamentos que este tipo de contacto real com a obra proporciona. Testou-se a Ficha de Inspe o e Ensaio realizada no capítulo anterior de modo a conferir a sua concordância com uma situa o prática de obra.

Por fim, no sexto e último Capítulo conclui-se o trabalho realizado fazendo uma aprecia o sobre o cumprimento dos objectivos propostos, indicando também as limita es sentidas. Neste capítulo, propõem-se outros assuntos que poderão funcionar como eventuais prolongamentos do estudo realizado e cuja investiga o traria benefícios para um conhecimento mais alargado da execu o de pavimentos industriais e de betão com fibras.

2

PAVIMENTOS TÉRREOS INDUSTRIAIS EM BETÃO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO

2.1. INTRODUÇÃO: ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

A adição de fibras a materiais mais frágeis é uma técnica antiquíssima. Na verdade há registos que datam de 3500 A.C. na qual foi incorporada palha na execução de tijolos de barro, para construção de uma colina. No Egipto antigo há relatos da incorporação de palha para fabrico dos tijolos, como revelam as Sagradas Escrituras: «Naquele mesmo dia o Faraó deu esta ordem aos inspectores do povo e aos capatazes: não continueis a fornecer palha ao povo, como antes, para o fabrico dos tijolos».

Também segundo Evangelista (2003), os Romanos incorporaram crinas de cavalo nas suas argamassas. O adobe, um dos mais antigos materiais de construção, utilizava a palha no seu composto, para o reforço dos tijolos.

Já a inclusão de materiais inorgânicos datam de 2500 A.C. com a introdução de amianto para reforço de louças de barro (Neves, 2003).



Fig.2.1 – Execução de tijolos com fibras (<http://resgateanatureza.blogspot.com/2011/04/tijolo-natural.html>).

De acordo com Neves (2003), a introdução de fibras no betão iniciou-se nos finais século XIX/princípios do século XX, mas o seu grande desenvolvimento deu-se após a I Guerra Mundial mobilizado pela procura, por parte de militares, de um material resistente às explosões. A passagem para o meio civil aconteceu rapidamente.

Desde então este composto tem sido alvo de investigação, pois acreditava-se que este seria capaz de melhorar significativamente a resistência à tracção embora tal objectivo não tenha sido exequível. A correcta produção e colocação das fibras em obra revelaram-se difícilimas, não se obtendo o resultado pretendido. Deste modo, o BRF foi estudado noutra perspectiva de modo a obter uma melhoria de comportamento pós-fendilhação, o que é actualmente aceite, pois verificaram-se melhorias na ductilidade e absorção de energia (Neves, 2003).

Desde os anos 60 que o betão reforçado com fibras tem sido acompanhado de uma aplicação mais industrial. Foram desenvolvidas técnicas de ensaio que tornaram possível a demonstração dos seus benefícios. Contudo, é de realçar a falta de regras simples e fiáveis de forma a generalizar o seu emprego.

2.2. OS MATERIAIS BASE NA COMPOSIÇÃO DO BRFA

2.2.1 BETÃO

Compósitos são materiais da construção civil, compostos pela matriz e por fibras (Figueiredo, 2000). Neste caso, a matriz é constituída pelo betão, material formado pela mistura de água, cimento e agregados grossos e finos, podendo ser acrescentados aditivos à sua composição.

Chama-se betão reforçado com fibras de aço (BRFA) um betão na qual se juntaram pequenas fibras de aço, discretas e dispersas, dispostas de uma forma aleatória. O fabrico de um betão simples ou armado pode não ser adequado para o BRF. De facto, um bom estudo de composição de um betão corrente não resulta necessariamente num bom estudo para a composição do BRF. Deste modo, conclui-se que a distribuição de fibras no betão proporciona propriedades resistentes isotrópicas que não são comuns ao betão armado (Neves, 2003).

Neste contexto, o mesmo autor afirma que a sua composição deve ser estudada de forma a garantir a trabalhabilidade e homogeneidade do betão e é função da natureza, geometria e dosagem de fibras a introduzir.

Apesar da carência de um código que estabeleça a adequada dosagem e característica dos seus componentes, existem regras de boa prática, realçando que o composto ideal garante a coesão da mistura, em que a argamassa envolve os agregados e as fibras. Para tal, o betão deve possuir uma dosagem de inertes finos – com dimensão máxima inferior a 20mm, mas preferencialmente não excedendo os 10mm – superior à do betão corrente bem como uma maior dosagem de cimento, com junção de um adjuvante plastificante ou superplastificante, podendo o cimento ser parcialmente (30%) substituído por cinzas volantes. Outra forma de melhorar a interacção fibra-matriz passa pela adição de fumo de sílica ou escórias de alto-forno que contribuem para o aumento da aderência e resistência ao arrancamento da fibra (Neves, 2003).

Existem também várias recomendações para ajuste da composição do BRF, sendo apresentado pelo ACI um quadro de composições tipo («receitas - tipo»), diferente da abordagem do *Laboratoire Central des Ponts et Chaussés* (França), que utiliza métodos experimentais de estudo das composições mais adequadas a cada caso, o que em geral também corresponde à metodologia seguida em Portugal.

2.2.2 FIBRAS

São vários os tipos de fibras comercializáveis mas apenas alguns, quer pelas suas características quer pelo seu custo, são passíveis de se usar na construção civil. Note também que tem havido investigação no sentido da incorporação de outros tipos de fibras que satisfaçam as crescentes exigências do mercado, nomeadamente fibras naturais como as de coco, entre outras.

No ponto seguinte irá explorar-se os vários tipos de fibra já alvos de estudos, indicando qual a sua utilização na actualidade. De seguida, focar-se-á nas fibras no âmbito da presente dissertação: as de aço.

2.2.2.1 Generalidades

As fibras são elementos finos - com diâmetros inferiores a 1mm - e longos, com comprimentos máximos até 76mm.

Apesar de existirem vários tipos de fibras, que podem ser de aço, vidro, sintéticas ou naturais, nem todas são aplicáveis na construção civil, uma vez que as fibras de vidro revelam alguns problemas de durabilidade bem como as naturais, e as sintéticas são bastante onerosas, sendo a sua utilização reduzida a fins laboratoriais.

O tipo de fibras a utilizar tem grande influência no comportamento do composto, pois «das características das fibras resultará um comportamento específico do composto resultante». Esta influência aumenta com a quantidade de fibras no composto. Contudo, há que ter em consideração a percentagem de fibras a incorporar no betão, valor esse que geralmente é limitado a 2% e é, na maior parte das vezes, inferior ao volume crítico (volume a partir do qual as fibras suportam as solicitações antes de o composto fendilhar). Ainda assim, o volume atrás citado, é considerado excessivo, pois é passível de provocar perturbações no desempenho global do composto, tendo-se verificado melhores resultados para dosagens menores (Neves, 2003).

É de notar que as fibras não constituem um substituto à armadura convencional disposta em locais estratégicos de modo a resistir a esforços de tracção e corte, antes, dispostas de forma aleatória e próximas entre si, têm função de controlo de fendilhação, também melhoram a capacidade da matriz de absorver energia e de aumentar a resistência ao impacto e à fadiga. Além disso apresentam outras vantagens, tais como redução de mão-de-obra visto que, como são dispostas de forma dispersa e aleatória na matriz, evitam o trabalho necessário de dobragens dos varões e sua disposição correcta aquando da betonagem, e ainda, alguns tipos de fibras, como as sintéticas, as de carbono ou as de material amorfo, apresentam boa resistência à corrosão.



Fig.2.2 – Tipos de fibras (<http://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/fibras-para-concreto/>).

2.2.2.2 Fibras de aço

A junção de fibras ao betão impede a propagação de fissuras, permitindo uma maior redistribuição de esforços, pois as fibras funcionam como uma ponte de transferência de tensões entre as fissuras. Polisseni (2008) afirma que tal acontecimento permite que o betão continue a apresentar uma resistência a esforços aplicados à peça, mesmo após a fissuração.

Como já atrás referido, as fibras apresentam uma gama variada de diâmetros, forma e comprimento, e as de aço não são excepção. Apresentam um diâmetro que pode oscilar entre 0,25 e 1mm, nas de secção circular, enquanto que as que apresentam secção rectangular, a menor dimensão está compreendida entre 0,15 e 0,64mm e a maior dimensão entre 0,25 e 2,03mm. Quanto ao comprimento, este pode variar entre os 15 e os 75mm, o que conduz, assim, uma esbelteza entre os 20 e os 100 (Proença).

Estas também podem apresentar várias formas (Fig.2.3 à esquerda) podendo ser lisa, com extremidade em gancho, ondulada, com secção variável ou rugosas (Proença). As indentadas ou rugosas e as com a extremidade em forma de gancho apresentam um maior atrito e uma melhor interacção fibra-matriz, verificando-se assim uma maior resistência ao arrancamento (Ferreira, 2008).

As formas descritas dependem do tipo de produção a que estas estão sujeitas, sendo as fibras rugosas são produzidas a partir de sobras industriais, o que origina um baixo custo. As fibras em forma de gancho, com secção transversal rectangular, são produzidas a partir de chapas de aço. Quando a secção é circular, a sua execução provém de fios que são trefilados progressivamente até obter o diâmetro desejado. Estes possuem maior resistência mecânica, sendo que os seus comprimentos variam de 25 a 60mm e o seu diâmetro de 0,5 a 1mm (Figueiredo, 2000).

A norma portuguesa NP EN 14889-1 define os grupos e as formas que as fibras podem ter, função do seu processo de fabrico:

- Grupo I: fio estirado a frio;
- Grupo II: cortado a chapa;
- Grupo III: extraído a quente;
- Grupo IV: fio estirado a frio por aplainamento;
- Grupo V: extraído de blocos de aço por fresagem.

Existe um conjunto de características das fibras que deverá ser declarado pelo fabricante, tais como o comprimento, o diâmetro e a resistência à tracção. Tais aspectos serão tratados com mais pormenor no Capítulo 4.

Importa também referir que o aço que as constitui pode ser macio ou duro, podendo ainda ter um revestimento anticorrosivo – aço galvanizado. De notar que o tipo de aço influencia a capacidade de resposta à exposição a temperaturas elevadas. Apresentam-se isoladas ou em plaquetas, tendo estas últimas a característica de a cola que as mantém unidas dissolve-se quando as fibras são adicionadas à mistura, o que permite uma fácil dispersão das mesmas (Proença) (Fig.2.3 à direita).

Além da dosagem de fibras, abordada no ponto antecedente (2.2.2.1), o desempenho do betão depende de outros factores tais como a forma, a secção, o comprimento, bem como com a sua orientação.

Quanto menor for o diâmetro, maior é a aderência pois a superfície específica também é maior. Por outro lado, quanto maior for o comprimento da fibra, maior será a área em contacto com a matriz, reforçando a ligação entre as mesmas. Aliás, deve-se ter em consideração o comprimento crítico de fibras, ou seja, o comprimento mínimo de fibras que permite a mobilização da sua força máxima, e está dependente da ligação fibra-matriz, do comprimento e do diâmetro da fibra. Todavia, como será

exposto no Capítulo 4, o comprimento máximo das mesmas também é limitado e não deve ser superior ao dobro da dimensão máxima do agregado, para que se verifique o alinhamento da fibra em relação à fissura (<http://www.pisosindustriais.com.br>), dito por outras palavras, há autores que consideram que as fibras, quando estão na direcção do carregamento, funcionam como vazios e o composto tende a fissurar segundo essa orientação. Sem esquecer que não se apresentam todas na direcção do carregamento, e na ocorrência de tal fenómeno, vai-se verificar que as fibras que atravessam a fissura, vão ser capazes de mobilizar a sua resistência máxima à tracção, fenómeno que importa ocorrer, pois é desejável a rotura das fibras por cedência. Por outro lado, se as fibras tiverem uma dosagem e comprimento diferente dos recomendados, estas atravessam as fissuras travando a fissuração do composto, nunca se chegando a observar a mobilização da sua máxima resistência (<http://www.engenhariacivil.com>).

É ainda necessário limitar o factor de forma das fibras (L/d – razão entre o comprimento e o diâmetro), sendo preferível que este valor não ultrapasse os 100, devido à possível formação de ouriços, na qual se falará adiante, e à dificuldade em misturar. Note ainda que ao aumentar a força de ligação fibra-matriz, ou seja aumentando a aderência, aumenta-se a tensão pós-fendilhação, a absorção de energia e a ductilidade (Neves, 2003).

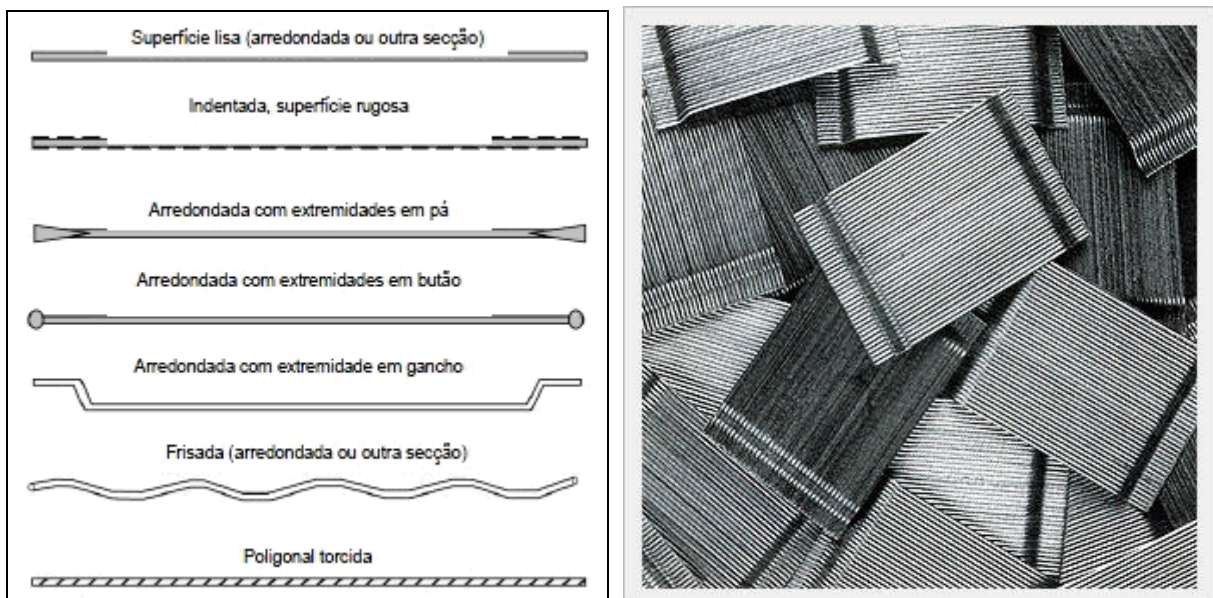


Fig.2.3 – Esquerda: Diferentes formas das fibras de aço (Ferreira, 2008); Direita: Fibras de aço em plaquetas (<http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/3564-fibras-de-aco-reforcam-o-concreto-armado/>).

2.2.3 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DO BRFA

«As propriedades do betão reforçado com fibras são afectadas pela interacção entre a fibra e a matriz cimentícia circundante» (Ferreira, 2008).

As propriedades do compósito, permitem que este tenha várias aplicações, tais como em elementos pré-fabricados de depósitos, lajes e estruturas de suporte de máquinas, em estruturas hidráulicas como canais, barragens e condutas, em pavimentos industriais e rodoviários, em estações de abastecimento de combustíveis, em betão projectado para estabilização de taludes, em estruturas subterrâneas, reservatórios e estruturas delgadas. Contudo, Ferreira (2008) afirma que as fibras são mais eficientes nos materiais/estruturas muito esbeltas, em zonas com cargas e deformações locais consideráveis, como estacas, revestimentos de túneis e estruturas resistentes a explosões e ainda para controlo de

fendilhação induzida por humidade ou diferenças de temperatura de lajes ou pavimentos (tema que trata a presente tese).

Outra fonte saliente, entre as inúmeras aplicações do BRF, os pavimentos térreos de edifícios industriais, a pré-fabricação e a reparação de estruturas. Neste último, é importante referir que a necessidade de reparação de pontes ferroviárias é uma necessidade crescente no nosso país, quer por apresentarem defeitos a nível estrutural, quer por haver necessidade de suportarem cargas mais elevadas do que aquelas para as quais foram projectadas. O BRF é uma boa opção pois a projecção do composto na parte inferior do arco é uma alternativa que não compromete a operacionalidade da obra de arte. O BRF possui propriedades aderentes pelo que se torna ideal para reparações (www.engenhariacivil.com).

No Quadro 2.1 apresentam-se alguns locais onde o BRFA é empregue, indicando quais os benefícios que este tipo de solução encerra.

Quadro 2.1 – Razões para aplicação do BRFA nos diversos tipos de estruturas (Ferreira, 2008)

Tipo de Estrutura	Razões para aplicação do BRFA
Estruturas hidráulicas: barragens, descarregadores, etc.	Resistência à cavitação
Pavimentos: aeroportos, autoestradas, reforço de pavimento	Redução da espessura do pavimento
Pisos Industriais	Resistência ao impacto e ao choque térmico; economia
Betão refractário: fornos rotativos, incineradores municipais, produção de metal, aplicações petro-químicas	Resistência a fissuração e destacamento
Tabuleiros de pontes	Como reforço de pavimento
Cobertura a betão projectado	Estabilização de taludes e banquetas
Estruturas resistentes a choque	Combinado com a armadura convencional, oferece resistência à penetração
Possível uso em estruturas sísmicas	Aumento da ductilidade atrasando a propagação de fracturas por corte

Como poderá observar-se nos pontos seguintes, vários estudos e experiências foram realizadas de modo a determinar qual o impacto que as fibras causariam na matriz, descrevendo-se algumas características que são de grande importância no comportamento do betão.

2.2.3.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade representa o grau de facilidade com que um betão é transportado, colocado, adensado e acabado e a maior ou menor facilidade de segregação durante essas operações (Coutinho, 1994).

A adição de fibras ao betão altera a consistência do mesmo, tendo assim repercussões na sua trabalhabilidade. Tal facto pode-se constatar ao considerar as fibras como agregados. Ora, os agregados não devem possuir um coeficiente volumétrico (razão entre o volume do agregado e o volume de uma esfera com diâmetro igual à maior dimensão da agregado) inferior a 0,12, para garantir

uma boa trabalhabilidade do betão. Como o coeficiente volumétrico das fibras é sempre inferior a 0,12, tem efeitos negativos na mesma (Neves, 2003).

Alguns autores também afirmam que o emprego de fibras faz com que seja necessária uma maior quantidade de água para fluidificar a mistura, quantidade essa que aumenta com o comprimento das fibras e com a redução do seu diâmetro (Figueiredo, 2000).

Estes dois parâmetros podem ser analisados em conjunto através do factor de forma (também intitulado esbelteza: L/d), sendo que valores mais elevados levam a uma maior redução da trabalhabilidade. Esta redução pode causar danos na compactação, durabilidade e desempenho mecânico do composto (Neves, 2003).

Há ensaios que permitem medir este parâmetro para o betão corrente, não sendo contudo perfeitamente válidos para betões reforçados com fibras. Os ensaios portugueses que permitem medir a trabalhabilidade são o ensaio de abaixamento (*slump test* – NP EN 12350-2), ensaio VêBê (NP EN 12350-3), o grau de compactabilidade (NP EN 12350-4) e o ensaio da mesa de espalhamento (NP EN 12350-5), ensaios realizados no betão fresco (Coutinho, 2003).

O *slump test* (também denominado ensaio de abaixamento ou ensaio do cone de Abrams) consiste na compactação do betão fresco «no interior de um molde com a forma tronco-cônica. Quando o cone é removido, subindo-o, o abaixamento do betão estabelece a medida da sua consistência» (Coutinho, 2003). Segundo ensaios realizados, demonstrou-se que este é válido para betões com teores de fibra abaixo dos 60kg/m^3 e caso o factor de forma seja reduzido (Figueiredo, 2000). Outro autor afirma não só que este ensaio é adequado para os betões com fibras mas também que o abaixamento deveria ser da ordem dos 12cm. Contudo, afirma também que como há empresas que fornecem betão pronto, essa trabalhabilidade deve ser controlada pelos fornecedores (www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/163/artigo189448-1.asp).



Fig.2.4 – *Slump Test* (<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/163/artigo189448-1.asp>).

«No ensaio VêBê é medido o tempo, em segundos, que demora o disco a descer livremente sobre a amostra de betão até ao momento que o disco deixa de descer e já não há bolhas nem vazios sob o disco transparente» (Coutinho, 2003). Neste ensaio, aplicado ao BRFA, nota-se um aumento do tempo de compactação à medida que se aumenta o teor de fibras e à medida que aumenta o factor de forma da fibra ou seja, por aumento da coesão do material. Este ensaio é tido por alguns autores como o mais adequado (Neves, 2003).

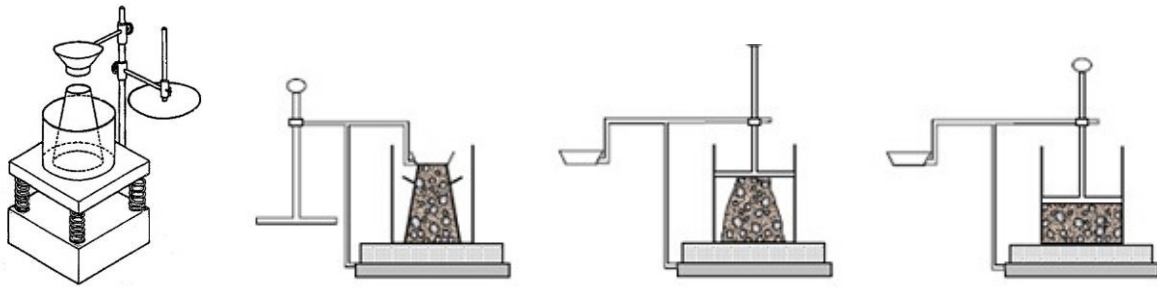


Fig.2.5 – Ensaio Vêbê (Esquerda: Coutinho, 2003; Direita: Figueiredo, 2000).

O ensaio da mesa de espalhamento «permite determinar a consistência do betão fresco através do espalhamento do betão numa mesa plana sujeita a pancadas. O betão é colocado no molde no centro da mesa em duas camadas apiloadas (10 pancadas). É retirado o molde e levantada a placa superior através da pega, todos os 2 segundos, 15 vezes» (Coutinho, 2003). Porém, este ensaio é considerado inadequado a BRF pois garante uma compactação que nem sempre é conseguida em obra (Neves, 2003).

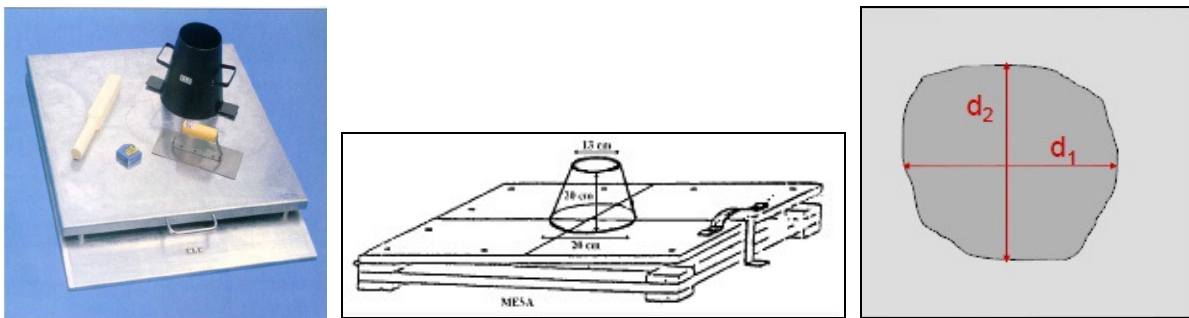


Fig.2.6 – Ensaio da mesa de espalhamento (Coutinho, 2003).

Por fim, o grau de compactabilidade consiste em colocar o betão num recipiente com secção rectangular, rasando a superfície. De seguida, o betão é vibrado por meio de uma agulha ou mesa vibratória. A compactação é medida pela distância entre a superfície do betão compactado e o bordo superior do recipiente, fazendo a média das quatro medidas (retiradas nos 4 bordos) (Coutinho, 2003). Contudo, este ensaio limita a dimensão dos agregados a 63mm, e ainda não foram realizados muitos estudos sobre a adequabilidade deste.

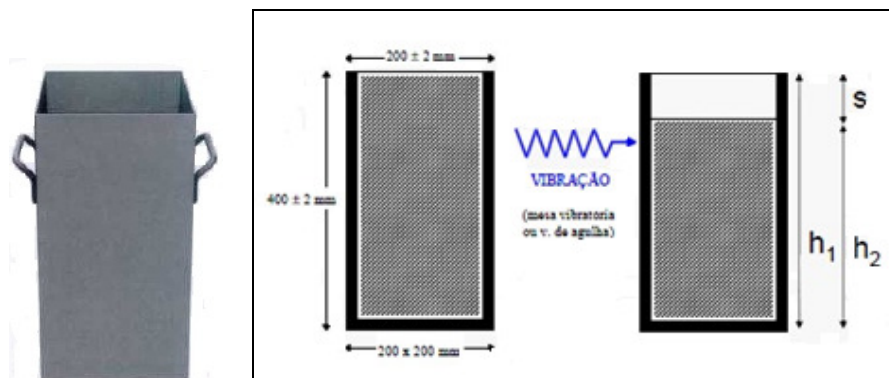


Fig.2.7 – Grau de compactabilidade (Coutinho, 2003).

Outros ensaios podem também ser realizados para medir a trabalhabilidade. O escoamento do cone invertido (ensaio americano ASTM C995) consiste num ensaio de um cone semelhante ao do *slump test* mas na posição invertida e sem apiloamento do BRF, na qual o betão não deve escoar por gravidade. Em seguida, é colocado um vibrador, medindo assim, o tempo que o betão leva a escoar do cone (Neves, 2003). Contudo, concluiu-se que este ensaio não é apropriado para BRF, seja qual for o teor em fibras, pois se o betão é muito plástico acaba por escoar por gravidade antes de ser vibrado e se for muito coeso entope a extremidade inferior, não se obtendo nenhum resultado (Figueiredo, 2000).

Há ainda o ensaio de penetração, na qual se mede a profundidade de penetração de um cone com determinadas características. Comparou-se este ensaio com o VêBê e com o cone invertido, obtendo-se resultados similares, indicando que este também poderá ser um bom método. Além disso tem a vantagem de ser simples de realizar (Neves, 2003).

Outras investigações concluíram que, baixos teores de fibras adicionadas apesar de a trabalhabilidade ser alterada, não trazem prejuízo à compactação (Figueiredo, 2000).

Um outro problema que afecta, em particular, os pavimentos de BRFA é a corrosão de algumas fibras que se alojam à superfície tratando-se, porém, de um aspecto estético pois não transmitem essa deterioração a outras fibras, uma vez que estas se encontram dispersas. Para evitar tal acontecimento o resultado do *slump test* deverá ser da ordem dos 10cm, que, por sua vez, origina outra ocorrência a evitar: afasta as fibras da superfície do pavimento originando uma fraqueza dessa zona, o que poderá originar fissuração (Neves, 2003).

Anteriormente foram mencionados os chamados «ouriços», outra patologia na qual importa expor. «Ouriços» são bolas formadas por uma concentração indesejável de fibras, que se deve evitar pois são um ponto fraco, dada a sua porosidade, e reduzem a homogeneidade do composto. A mistura mal executada do material está na origem do aparecimento destes aglomerados, sendo o risco da formação aumentado com o factor de forma das fibras. Assim, deve-se ter em atenção o modo como o composto é misturado na betoneira, não se devendo despejar as fibras de uma só vez, antes adicionando-se à matriz taxas controladas. As chamadas plaquetas (Fig.2.3) são uma boa opção para evitar este problema uma vez que, quando misturadas no betão, pois permitem uma adequada homogeneização no betão (Figueiredo, 2000).

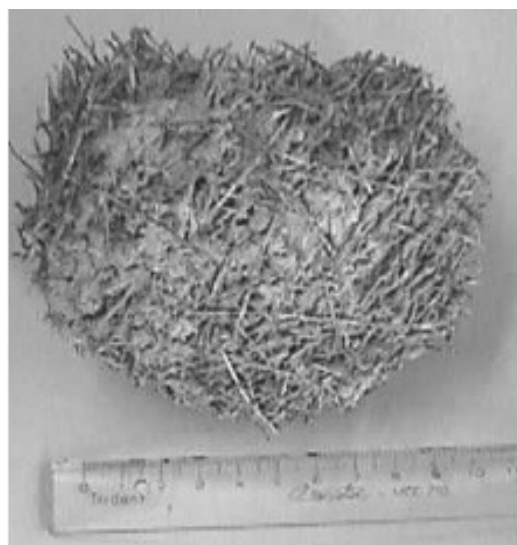


Fig.2.8 – «Ouriço» (Figueiredo, 2000).

2.2.3.2 Resistência à compressão

Reforçar o betão com fibras não tem por objectivo alterar a resistência à compressão do mesmo (Figueiredo, 2000).

Contudo, a capacidade das fibras de «costurarem» as fendas provoca um aumento dessa resistência, variando de praticamente insignificante a 25% (Ferreira, 2008).

Ainda assim, há casos em que se nota um decréscimo dessa resistência. Uns autores atribuem esse decréscimo ao aumento da areia e da pasta de cimento, na qual aumenta a porosidade, enquanto outra sugestão aponta para a direcção das fibras que, quando paralelas à direcção de compressão, actuam como vazios. Também outro autor refere que a fraca ligação fibra-matriz causa esse decréscimo (Neves, 2003).

Há ainda quem defenda que a introdução de fibras na matriz aumenta a resistência do composto, mas até um limite óptimo a partir do qual se nota o inverso. Outra investigação obteve resultados interessantes. Os ensaios à compressão foram realizados para betão corrente e de alta resistência, ensaiando cubos com 15cm de aresta, segundo o LNEC E226. O betão corrente revela uma tendência decrescente da resistência do composto com o aumento do volume de fibras, enquanto que para o de alta resistência obteve-se o resultado oposto. Tal fenómeno foi explicado pelo aumento do volume de vazios no betão normal com o aumento da percentagem de fibras, pois verificou-se um aumento da massa volúmica dos provetes (Neves, 2003).

2.2.3.3 Resistência à flexão

A resistência à flexão do compósito depende de vários factores, pelo que se podem obter valores muito díspares.

A teoria da flexão simples apenas é válida, no caso dos BRFA, até ao início da fendilhação pois uma vez a secção fendilhada, vários componentes intervêm no comportamento do compósito, tais como a distribuição de tensões na zona traccionada a qual está dependente do volume e geometria das fibras, da altura da secção e do carregamento.

Há autores que afirmam que o volume de fibras ou o aumento do factor de forma influenciam directamente a resistência à flexão, crescendo linearmente com o aumento destas, tendo-se verificado melhorias na ordem dos 70%, em relação ao betão simples.

É, ainda de realçar que a colocação e compactação do betão em obra bem como a dimensão da face traccionada em ensaio, influenciam em muito os resultados obtidos (Neves, 2003).

2.2.3.4 Fadiga

Pode definir-se fadiga como um processo de redução da capacidade resistente de um material (que pode no limite provocar a rotura) resultante da acção cíclica das acções variáveis (Figueiredo, 2000).

Em cada ciclo de carregamento são geradas fissuras que, no carregamento seguinte diminuem a área resistente pois impedem a transferência de tensões. Deste modo, as fibras vêm assegurar essa transferência através das fissuras, retardando o aparecimento de outras, aumentando assim a resistência do composto para um maior número de ciclos ou resistindo a tensões superiores para o mesmo período de vida útil (Figueiredo, 2000).

Resultados experimentais indicam que a resistência à fadiga aumenta com a inclusão de fibras na matriz, podendo resultar numa melhoria até 25% em relação ao betão simples, valores obtidos a partir de ensaios de flexão e após 2 milhões de ciclos, comparando a carga de rotura com a carga estática.

É, ainda, de referir que, mesmo pequenas quantidades de fibras, favorecem a resistência do composto à fadiga (Neves, 2003).

2.2.3.5 Abrasão

Não se observa melhorias no betão quanto ao desgaste provocado por tráfego, ou quando a abrasão é causada por detritos a baixa velocidade. Mas no caso de a velocidade ser alta, as fibras impedem que o betão se desintegre (Proença). Contudo, para superfícies imersas, a circulação de partículas provoca deterioração do betão onde as fibras estão ancoradas (Neves, 2003).

2.2.3.6 Resistência ao Impacto

A resistência ao impacto é difícil de se determinar, exigindo um cuidado especial na execução de ensaios. Existem diversos ensaios que permitem determinar a resistência do BRF ao impacto, na qual o ACI-544.2R-89 propõe alguns (Neves, 2003). É de sublinhar a necessidade de prever um sistema electrónico de medida contínua, de forma a poder traçar gráficos de cargas de impacto versus deformação.

Contudo, outro autor afirma que a resistência aos esforços dinâmicos do BRF é bastante superior (3 a 10 vezes) à do betão simples, pois a capacidade de dissipar energia aumenta com a adição de fibras ao betão, uma vez que é necessário arrancar a fibra para ocorrer a cedência do betão. Assim como, na ocorrência de um impacto, um material dúctil tem um comportamento mais favorável devido à capacidade de dissipar energia pelas deformações plásticas que é capaz de suportar, um material pseudo-dúctil (derivado da adição de fibras ao betão) irá necessitar de um maior gasto energético para ocorrer a rotura (Figueiredo, 2000).

2.2.3.7 Fluência e Retracção

Não existe muita informação acerca da alteração destes parâmetros quando se adicionam fibras ao betão. Contudo, os dados existentes indicam que o efeito que as fibras causam na retracção é insignificante ou que causam uma pequena redução. Há autores que indicam que a retracção ganha mais expressão com o aumento do volume das fibras e quanto mais tarde se iniciar a secagem.

Quanto à fluência, esta sofre uma diminuição ao aumentar o volume de fibras, porém não é uma relação linear. A influência das fibras diminui à medida que o volume destas aumenta, e aumenta com o volume de pasta. Contudo, tais reduções não apresentam uma diferença significativa relativamente ao betão simples (Neves, 2003).

2.2.3.8 Módulo de Elasticidade

Diversos estudos indicam os mais diferentes resultados. Alguns afirmam que a influências das fibras é diminuta, outros obtiveram resultados de aumento do módulo de elasticidade até 10% e outros ainda, variações até 25%. A especificação ACI 544 indica ainda que, para teores de fibra inferiores a 2% o módulo de elasticidade é o mesmo do betão equivalente, mas sem fibras.

Outros ensaios indicaram ainda uma redução do módulo de elasticidade de 10% para o BRF, podendo esta ocorrência ser explicada pela orientação das fibras segundo a orientação da carga, não contribuindo assim para a resistência do conjunto. Também o aumento da porosidade, com o aumento da quantidade de fibras, pode explicar este acontecimento (Neves, 2003).

Em suma, não há resultados consensuais acerca do efeito das fibras no módulo de elasticidade.

2.2.3.9 Absorção de energia

A tenacidade e a energia de fractura são propriedades que permitem quantificar a capacidade absorção de energia do BRF. Entende-se por «tenacidade» a energia que um material consegue absorver antes de ruir. O índice de tenacidade é determinado de acordo com o especificado na norma americana ASTM C1018, a partir de gráficos força-deslocamento. Obtém-se através da razão entre a área do gráfico até determinada flecha, múltipla da flecha em que ocorre fendilhação, pela área do gráfico até à flecha em que se verificou fendilhação. Se o compósito exibir um comportamento elasto-plástico perfeito, os valores obtidos são iguais aos valores do índice, por exemplo $I_5=5$, o que permite verificar facilmente o quanto o comportamento do compósito se desvia do elasto-plástico perfeito. Uma norma japonesa (JSCE SF4) define a tenacidade como sendo a energia necessária para flectir 1/150 do vão, de uma viga simplesmente apoiada.

Concluiu-se que a tenacidade aumenta com o aumento do volume e coeficiente de forma das fibras.

«A energia de fractura é a energia dispendida na formação de uma fenda de área unitária» sendo o ensaio de tracção o que melhor se adequa para a sua determinação. Contudo, a dificuldade em realizar um ensaio de tracção pura, devido à heterogeneidade do provete, leva a optar por um ensaio mais fiável: o de flexão. A energia de fractura determina-se dividindo a área do gráfico força-deslocamento pela secção de fractura. Esta energia aumenta com o volume de fibras e o coeficiente de forma (Neves, 2003).

Estes dois parâmetros são essenciais para a correcta definição de um BRF pois a discrepância de resultados comparativamente ao betão corrente é muito grande (o aumento da tenacidade pode ser 20 vezes superior ao aumento da resistência em flexão), pelo que é de extrema importância a sua análise.

2.2.3.10 Durabilidade

É ainda necessário considerar a durabilidade do betão, pois o seu desgaste pode trazer encargos onerosos que necessitam de ser contabilizados.

Contudo, o BRFA tem apresentado bons resultados, mesmo em ambientes marinhos cuja agressividade é maior. Verificou-se que as fibras no interior do betão não se corroem, oxidando à superfície, sendo o teor de cloretos para iniciar a corrosão largamente superior à do betão corrente. A dispersão das fibras pode estar na causa de a corrosão não se propagar para o interior do betão. Notou-se também que a abertura das fissuras deverá ser inferior a 0,15mm para o comportamento mecânico do compósito ser garantido e que fendas superiores a 0,24mm manifestam corrosão, aí localizada (Neves, 2003).

A adição de fibras ao betão causa um aumento da porosidade, mas esse facto não é relevante para BRFA para fins não estruturais, pois esse facto não altera a capacidade mecânica do compósito. O mesmo autor aponta que a quantidade de fibras no composto não afecta a absorção capilar, a

porosidade acessível à água nem a profundidade de carbonatação. Interfere, porém, na profundidade de penetração no ensaio de penetração de água.

É também de realçar que, a qualidade da matriz é mais relevante que a dosagem das fibras para o comportamento do compósito (Neves, 2003).

2.3. PAVIMENTOS INDUSTRIAIS: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Apresentado em que consiste o BRFA e após indicar as suas propriedades e características, seguem-se as especificações técnicas dos pavimentos industriais, onde se irá tentar perceber quais os componentes que formam o pavimento e quais as suas funções, numa perspectiva tecnológica.

Seguidamente, serão apresentadas várias tipologias de pavimentos industriais, consoante a camada de betão, a fundação ou a utilização prevista. Em cada uma destas três vertentes apresentam-se os vários tipos de pavimentos explicando em que consiste a sua tecnologia, em que situações são empregues e quais os benefícios de tais escolha.

Por fim, será abordada a temática das juntas em pavimentos industriais, expondo para que servem, que tipo de juntas existem e como se processa a sua execução.

2.3.1. COMPONENTES DO SISTEMA CONSTRUTIVO (VER FIG.2.9)

Os pavimentos industriais têm como objectivo resistir e transmitir as cargas recebidas ao solo. de extrema importância o seu adequado funcionamento pois é sobre este elemento estrutural que se desenvolvem as actividades industriais necessárias para o funcionamento das empresas. Os pavimentos industriais possuem cinco camadas principais sobrepostas que, apesar de serem executadas em diferentes fases e de cada uma ter uma função específica, resultam num sistema construtivo de funcionamento solidário (Cristelli, 2010).

De seguida, aprofundam-se algumas características das várias camadas, bem como a sua composição.

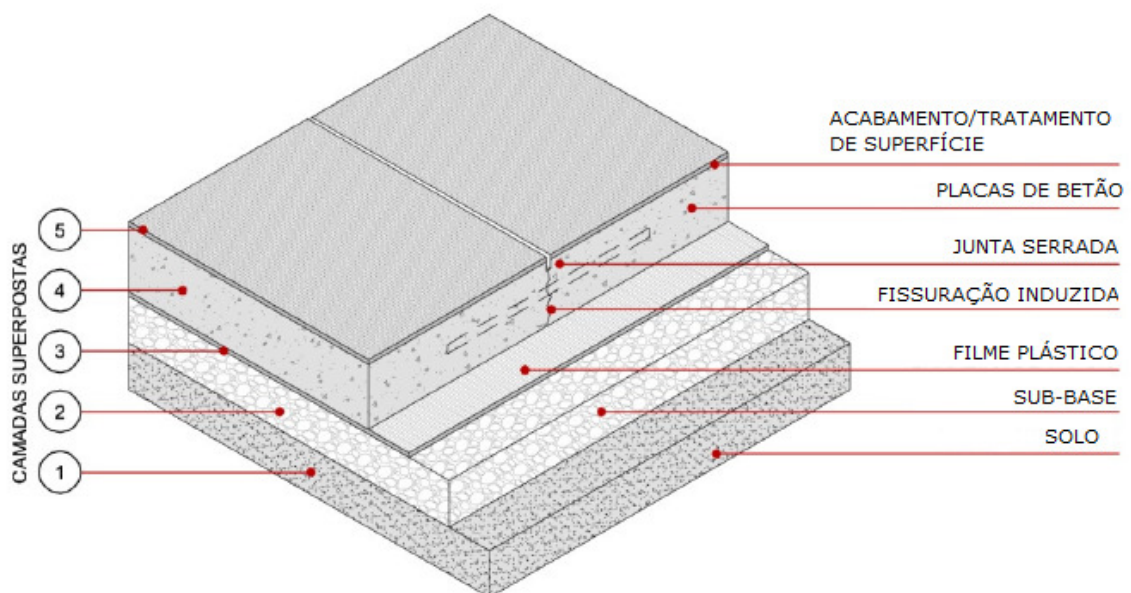


Fig.2.9 – Sistema construtivo de um pavimento industrial (Cristelli, 2010).

Quadro 2.2. – Função das camadas que compõem o pavimento industrial (Cristelli, 2010)

Nível	Camada	Funções
1	Solo	Absorver as solicitações de cargas impostas ao pavimento.
2	Sub-base	Controlar as variações volumétricas do solo. Aumentar o suporte de fundação.
3	Filme plástico	Garantir livre movimentação do betão em relação à sub-base (dessolidarização). Impermeabilizar a superfície, evitando a humidade ascensional. Garantir a correcta hidratação do cimento evitando a perda de água para a sub-base.
4	Betão	Absorver as solicitações e redistribuir os esforços para a fundação. Base de aplicação de revestimentos.
5	Acabamento/tratamento de superfície	Confere à superfície do pavimento determinadas características. Dota a superfície de um reforço à abrasão e desgaste. Regulariza, remove imperfeições.

2.3.1.1. Solo

É de realçar a necessidade de realizar estudos geotécnicos que permitam conhecer a capacidade resistente dos solos. Para tal é necessária a realização de ensaios como o *Standard Penetration Test*, que mede a resistência à penetração de um cilindro com massa padronizada, em queda livre, a uma altura também pré-definida.

O ASTM estima a capacidade de carga dos solos agrupando os solos pelas suas características granulométricas, estimando a sua composição (Cristelli, 2010).



Fig.2.10 – Preparação de um solo (<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/163/artigo189448-1.asp>).

2.3.1.2. Sub-base

Esta componente tem uma forte influência no bom desempenho do pavimento. Tal como a Fig.2.9 indica situa-se entre a camada de betão e o solo.

A escolha da sub-base depende do tipo de solo em causa podendo ser granular ou, como alguns autores indicam, tratada. As sub-bases granulares podem possuir granulometria aberta (ausência de um ou mais tamanhos de grãos) ou fechada (mais ampla faixa de diâmetro dos agregados), enquanto que as restantes podem ser tratadas com cimento ou com outros aditivos como a cal, a pozolana, o asfalto ou aditivos químicos.

Na execução de sub-bases granulares, o projectista tem de definir a granulometria adequada ao projecto em estudo, uma vez que a caracterização granulométrica relaciona-se não só com a capacidade resistente mas também com a drenagem das águas, sendo que a granulometria aberta leva a um rápido escoamento das águas.

As sub-bases melhoradas com cimento revelam alguns benefícios no sentido em que podem servir para aumentar a resistência reduzindo a carga transmitida ao solo (denominam-se solo-cimento), ou simplesmente para controlar a expansibilidade e plasticidade de alguns solos (denominam-se solo melhorado com cimento). Estes dois tipos de sub-bases representam misturas obtidas adicionando uma dosagem de cimento e água pré-definidas em laboratório ao solo compactado, diferindo uma da outra apenas na percentagem de cimento adicionado, sendo o solo-cimento o que apresenta uma maior percentagem.

A brita graduada com cimento obtém-se adicionando à brita água e cimento, também pré-determinados em laboratório sendo indicado para pavimentos com espessuras de betão reduzidas.

Por fim, existe ainda uma tecnologia em que a sub-base é mesmo composta por betão, de consistência seca mas com trabalhabilidade suficiente para permitir um fabrico que resulte numa pasta homogénea de adequada colocação em obra, que é compactada através do rolo compactador. Esta solução incrementa a resistência da sub-base, nomeadamente a resistência à compressão mas, por apresentar uma elevada dosagem de cimento, há que ter atenção às condições de cura e mesmo dimensionar juntas na sub-base para controlo de eventuais fissuras decorrentes da retracção (Cristelli, 2010).



Fig.2.11 – Sub-base granular (www.robinsonquarry.co.uk).

2.3.1.3. Filmes Impermeáveis / Barreiras pára-vapor (Fig.2.12)

Pode ser prevista a colocação de uma barreira pára-vapor – material que restringe a transmissão do vapor de água, situada entre a sub-base e a camada de betão. O seu emprego justifica-se quando há necessidade de evitar a ocorrência de humidades ascensionais ou quando o pavimento recebe camadas de revestimentos especiais. Além disso, esta barreira tem função de dessolidarização, ou seja, de

permitir a livre movimentação das camadas superior e inferior, o que traz vantagens na medida em que pode evitar assim o aparecimento de fissuras. Como tais filmes são impermeáveis, não deixam que a água se evacue para a sub-base, e assim promovem a hidratação do cimento, auxiliando no processo de cura do betão (Cristelli, 2010).



Fig.2.12 – Filme impermeável.

2.3.1.4. Betão

Basicamente, a função do betão é absorver as solicitações impostas ao pavimento e transmiti-las posteriormente à sub-base e ao solo.

Esta camada está sujeita a carregamentos indirectos ou directos. Os carregamentos indirectos não são considerados para o dimensionamento da camada, embora provoquem tensões internas no betão que podem prejudicar o seu desempenho, como a retracção, a dilatação térmica e o empenamento, pelo que se deve proceder a uma cura adequada evitando a perda de água necessária à hidratação do cimento, bem como prever a execução de juntas de modo a permitir a movimentação do betão sem que ocorra a sua fissuração.

As acções directas podem ser estáticas ou móveis e associam-se a cargas aplicadas à estrutura, e que devem ser considerados no dimensionamento estrutural do pavimento. Os carregamentos móveis são provenientes da operação de máquinas sobre o pavimento ou acções similares. Geralmente são de curta duração e grande frequência, tendo por isso repercussões na fadiga do material. Para questões de dimensionamento e durabilidade do piso devem-se considerar questões do tráfego e características destas máquinas tais como a distância entre eixos. Nos casos em que é frequente o uso destas, deve-se minimizar o número de juntas, prevendo um dispositivo de protecção das mesmas.

Os carregamentos estáticos remetem para maquinaria industrial e locais para armazenamento cujas cargas podem ser lineares, como paredes apoiadas na laje, distribuídas como zonas de armazenagem e cargas pontuais como bases de estantes.

Outro fenómeno a ter em conta remete para a inserção de reforços no betão, pois há uma tendência para realizar camadas de betão cada vez mais delgadas, pelo que é necessário limitar a dimensão dos agregados a 19mm, sendo necessário considerar adequadamente os problemas de retracção (Cristelli, 2010).

Como nota final, é imperativa a compatibilidade entre o projecto e a solução em obra, de modo a que o pavimento funcione como esperado.



Fig.2.13 – Betão com fibras.

2.3.1.5. Acabamento superficial

O acabamento superficial não tem um carácter meramente estético, também tem como função dotar a superfície de características que permitam uma boa durabilidade do piso bem como desempenho adequado das suas funções, tais como adequada resistência à abrasão e compactação superficial, remoção de imperfeições, nivelamento, planeza e impermeabilização, protegendo a superfície contra a humidade e os agentes agressivos e garantindo boas condições de rolamento para as máquinas que operam sobre o mesmo (Cristelli, 2010). Este procedimento consiste em várias acções como a criação de juntas, alisamento e aplicação de agentes aspersores ou endurecedores de superfícies.

Existem ainda processos mecânicos que permitem criar uma superfície com rugosidade e textura pré-definidos, utilizados sobretudo quando se pretende revestir o pavimento, favorecendo assim a aderência às eventuais peças que irão ser instaladas (ver Fig.2.14).



Fig.2.14 – Texturização mecânica (Esquerda: www.pisosindustriais.com.br; Direita: www.solucoesparacidades.com.br).

São, assim, vários os produtos que podem munir a camada de determinadas particularidades. Um desses produtos é denominado de líquido endurecedor de superfície e trata-se de um composto

químico líquido vertido na superfície do betão para impermeabilizar o material contra a entrada de gases e líquidos. Além disso a resistência à abrasão é também aumentada com essa operação.

Outro material são agregados minerais e metálicos aplicados através de argamassas ou por aspersão, com a particularidade de as argamassas poderem ser aplicadas em superfícies frescas ou endurecidas já preparadas, enquanto que a aspersão só se pratica em superfícies frescas, devendo ser utilizado apenas quando existem equipamentos adequados à realização de tal tarefa.

A resistência à abrasão também pode ser incrementada com argamassas cimentícias de alta resistência. Estas podem ser aplicadas sobre o betão no estado fresco com determinada rugosidade ou sobre o betão já endurecido, com a superfície limpa e fresada antes da sua aplicação. Todos os processos de fabrico e execução devem ser cuidados de modo a garantir um bom desempenho do produto.

Refere-se ainda outro método de aplicação por aspersão de agregados de alta resistência. Mais uma vez, este método tem por objectivo incrementar a resistência à abrasão da superfície. O produto, à base de cimento Portland e outros aditivos minerais, é depositado no betão no estado ainda fresco, sendo a aspersão feita por via manual ou mecânica. O produto a aplicar é um material em pó cuja dosagem e granulometria são pré-definidas, dispostos sobre o betão em camadas com cerca de 3mm de espessura e hidratados com água derivada de exsudação (separação da água em relação aos outros componentes da mistura), devendo por isso controlar-se as dosagens pois quando são superiores às previstas pode ocorrer perda de água de hidratação do betão, originando uma redução da resistência mecânica do pavimento. Por curiosidade, estes materiais podem conter aditivos pigmentados, podendo assim obter-se pavimentos coloridos (Cristelli, 2010).



Fig.2.15 – Aspersão do endurecedor de superfície (www.revistatechne.com.br).

Outro revestimento que importa referir é constituído pelos revestimentos de alto desempenho: RAD (ver Fig.2.16). Estes servem também de reforço e protecção às camadas de betão contra ataques químicos, mecânicos e bacteriológicos, conferindo a rugosidade e aspecto visual desejados, propiciando ainda uma limpeza adequada.

O sistema a ser utilizado deve ter em conta as condições de humidade do betão bem como a devida rugosidade e adequada planeza. Quando não controlada, a humidade alojada nos poros do betão pode criar bolhas no RAD, devendo aplicar-se este sistema após a cura completa do betão, e usando sempre produtos específicos para bloquear a humidade, quando esta é superior a 5%. Determinados produtos como óleo e graxa podem impedir a boa aderência do material. A preparação do betão pode ser efectuada por meio químico através de «soluções ácidas que corroem as superfícies» ou mecânico,

utilizando as ferramentas adequadas. Todavia, após qualquer procedimento de descontaminação ou preparação da superfície, deve proceder-se à sua lavagem com sabão neutro e água (Cristelli, 2010).

As principais bases químicas aglutinantes deste composto podem ser poliméricas, tais como as resinas epóxi e de poliuretano, com espessuras compreendidas entre 2mm e 150mm, ou cimentícias com espessuras que variam entre 0,1mm e 6mm, podendo chegar aos 50mm no caso de o revestimento ter características anti-corrosivas.

É importante ter em atenção a espessura do RAD para o desempenho do pavimento, sendo que quanto maior, mais protecção e resistência oferecem, pois à medida que aumentam a espessura as tensões são redistribuídas no betão numa área maior (Oliveira, 2003).

Além da base aglutinante, os sistemas de RAD podem ser classificados em relação ao sistema de aplicação como pintura, que pode ter alta ou baixa resistência, autonivelante de consistência fluida, multicamadas em que a aplicação é feita em camadas subsequentes ou argamassados/espátulados que consiste numa argamassa polimérica. Nestes últimos, convém conferir elevada rugosidade ao betão de base de modo a proporcionar melhores condições de aderência.



Fig.2.16 – Aplicação do RAD (www.duraflex.com.br).

Para escolha deste sistema deve-se ter em consideração o sistema construtivo seleccionado e as actividades a decorrer no local com estudos sobre o tráfego a que estará sujeito, além das propriedades do material e da superfície do betão. Nos casos de o RAD ser aplicado com objectivo de reabilitação do pavimento, devem-se obter do fabricante informações relativas ao tempo de instalação e cura do revestimento, de modo a causar o menor distúrbio possível nas actividades habituais que operam sobre o pavimento.

Alguns autores apresentam factores que influem na escolha do RAD, tais como a resistência à abrasão, ao impacto, ao escorregamento e a ataques químicos, facilidade de limpeza e de controlo bacteriológico, reacção a choques térmicos, vibrações, condutibilidade eléctrica, electricidade estática e radioactividade, possível contacto com produtos alimentares, necessidade de reflexão da luz e aspectos estéticos e arquitectónicos (Cristelli, 2010).

2.3.2. TIPOS DE PAVIMENTOS INDUSTRIAIS CONSOANTE A CAMADA DE BETÃO

Dentro do sistema construtivo base de pavimentos industriais, existem variantes que permitem uma maior adequabilidade para cada projecto de modo a se obter uma solução que garanta a qualidade, economia e durabilidade do pavimento. Diferentes soluções conduzem a diferentes processos construtivos e equipamentos. Os diferentes sistemas podem apresentar diferentes tipos de reforço

estrutural e diferentes tipos de fundação, devendo ser o dimensionamento adequado à utilização prevista do mesmo.

O sistema utilizado na Europa consiste em reduzir a quantidade de juntas, utilizando placas de grandes dimensões através do reforço do betão com fibras (objecto de estudo na presente dissertação), do recurso a armadura ou ao pré-esforço, o que resulta num custo e complexidade de execução mais elevados mas a uma manutenção e consumo de betão inferiores aos sistemas desenvolvidos nos Estados Unidos da América.

A concepção dos sistemas americanos consiste na utilização de betão simples, sem qualquer tipo de reforço o que, apesar de apresentar vantagens na execução, implica a utilização de muitas mais juntas e uma espessura maior da camada de betão para que este funcione como esperado. Pelos motivos apresentados, Cristelli (2010) afirma que a técnica europeia como a melhor pois o recurso à matéria-prima é mais baixo e além disso há uma tendência para a diminuição do número de juntas, o que é benéfico para o pavimento uma vez que estas são responsáveis por várias patologias quando se verifica o seu mau funcionamento.

Os pontos seguintes analisam diversos tipos de soluções de camada de betão, abordando o primeiro ponto o betão simples, e os pontos seguintes a incorporação de reforços na camada.

2.3.2.1. Pavimentos de betão simples

É o sistema construtivo em que a camada de betão não possui qualquer tipo de reforço, sendo unicamente o betão responsável por resistir aos esforços de flexão. Por causa da ausência de qualquer reforço, e uma vez que o betão apresenta uma fraca resistência aos esforços de tracção, a espessura do pavimento tem de ser elevada e há a necessidade de criar um maior número de juntas (como havia sido mencionado) o que conduz a uma redução da dimensão das placas de betão. Esta solução culmina numa menor capacidade de resistência que o betão reforçado, sendo assim necessário aumentar a quantidade de cimento (Oliveira, 2000). Há ainda que ter em consideração a fadiga do material pois o número repetições de carregamentos é outro factor a ter em conta na execução deste tipo de pavimento.

A sua utilização justifica-se em locais onde o elevado número de juntas não interfere na durabilidade do pavimento (Cristelli, 2010).

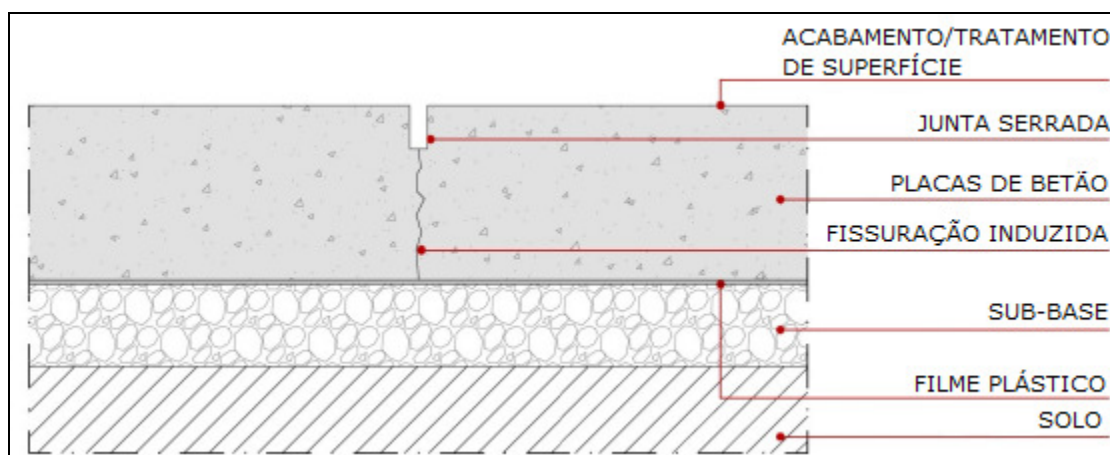


Fig.2.17 – Corte: Pavimento industrial de betão simples (Cristelli, 2010).

2.3.2.2. Pavimentos de betão reforçado com armadura distribuída

Este sistema construtivo consiste em posicionar uma rede de armaduras, aplicadas *in situ*, ou mais vulgarmente recorrendo a uma rede electrossoldada pré-fabricada - composta por armaduras lisas dispostas ortogonalmente, soldadas nas intersecções – no terço superior da placa de betão, com recobrimento mínimo de 5cm, com o objectivo de conceder uma resistência adicional ao betão permitindo um maior controlo da fissuração causada pela retracção do betão (as que dispõem de um diâmetro considerável), procedendo à devida interrupção na zona das juntas serradas.

A utilização destas malhas permite reduzir o número de juntas, ficando as placas de betão com maiores dimensões que podem chegar aos 30m de comprimento e 6m de largura (Cristelli, 2010).

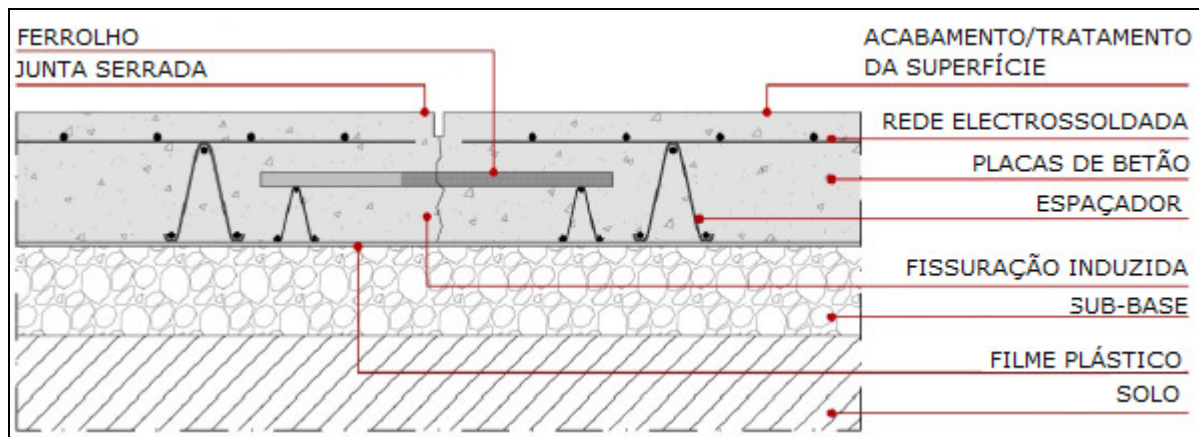


Fig.2.18 – Corte: Pavimento industrial de betão reforçado com rede electrossoldada (Cristelli, 2010).

2.3.2.3. Pavimentos de betão com reforço estrutural (ver Fig.2.19)

Este sistema possui duas camadas de armadura: uma disposta no terço superior da camada de betão para controlo da fendilhação, outra disposta na parte inferior de modo a auxiliar a resistência à tracção.

Este tipo de pavimento caracteriza-se por placas com 15m de comprimento e entre 14 e 16cm de espessura (Oliveira, 2000) e recomendando-se a sua aplicação em solos com baixa resistência.

A armadura a dispor para auxiliar a resistência à tracção é dimensionada de acordo com o carregamento e com a capacidade resistente do solo. A espessura e dimensões das placas de betão desta podem mesmo ser inferiores às do betão simples.

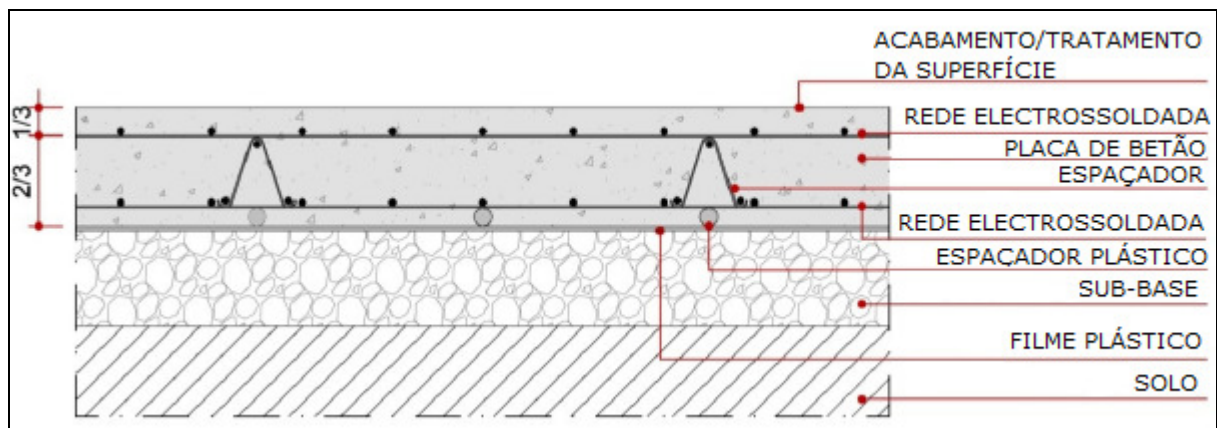


Fig.2.19 – Corte: Pavimento industrial de betão com reforço estrutural (Cristelli, 2010).

2.3.2.4. Pavimentos de betão pré-esforçados

O pré-esforço consiste em conferir um estado de compressão no betão, antes deste ser sujeito a cargas exteriores. Esta acção vai incrementar a resistência à tracção do betão pois o carregamento necessário para fendilhar o betão terá de ser a soma do valor da compressão imposta mais a resistência à tracção do betão. Em termos de tecnologia, um betão pré-esforçado pode ser executado deixando uma bainha no eixo da camada de betão, durante a betonagem. Nessa bainha será inserido um cabo, fixado às extremidades da placa por meio de uma placa de ancoragem. O cabo será posteriormente traccionado por meio de um macaco hidráulico. De seguida retira-se o macaco fixando o cabo traccionado nas extremidades, comprimindo, assim, o betão (Nunes, 2010).

Como o betão está comprimido, possui uma permeabilidade mais baixa (Cristelli, 2010).

Mais uma vez, este sistema permite reduzir o número de juntas, apresentando por isso menos patologias decorrentes da má concepção ou execução das mesmas, facto que será exposto com mais pormenor adiante.

Apesar das vantagens que este sistema apresenta, este necessita de um maior controlo na execução dos trabalhos e uma maior tecnologia e capacidade técnica de execução.

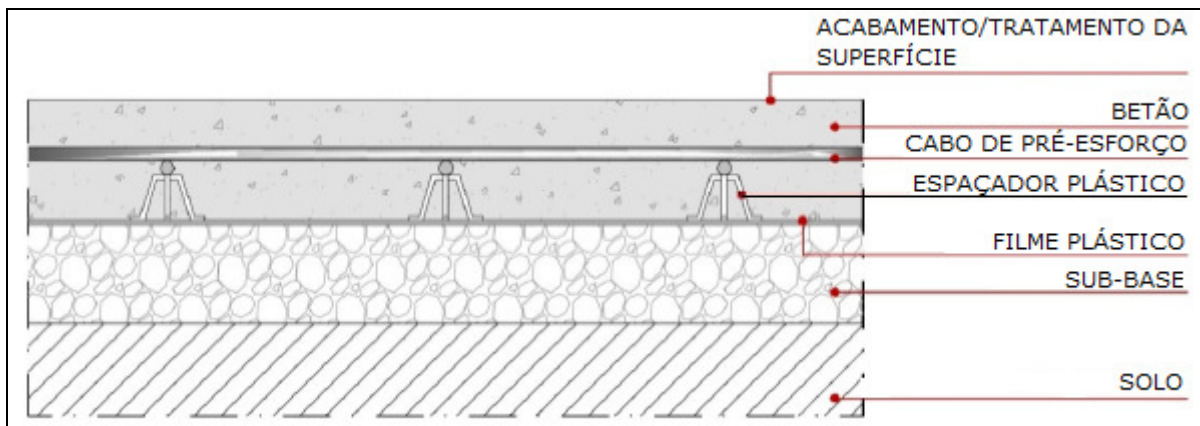


Fig.2.20 – Corte: Pavimento industrial de betão pré-esforçado (Cristelli, 2010).

2.3.2.5. Pavimentos de betão reforçado com fibras

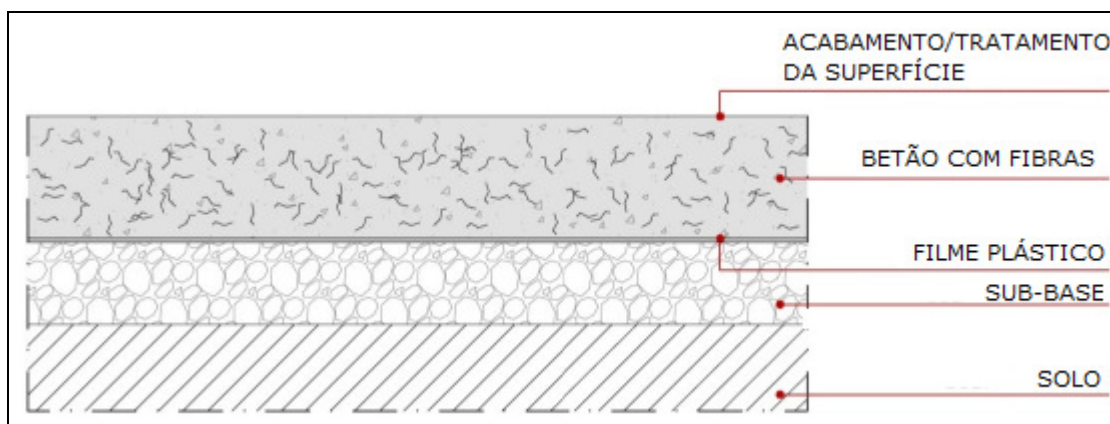


Fig.2.21 – Corte: Pavimento industrial de betão reforçado com fibras (Cristelli, 2010).

Este sistema, como atrás referido, é o objecto de estudo da presente tese e consiste num betão ao qual foram adicionadas fibras dispersas de forma aleatória, capaz de conferir características diferentes do betão corrente, nomeadamente no controlo de fendas pois, ao interceptar uma fissura, asseguram a transmissão de esforços entre as mesmas, permitindo a sua redistribuição de tensões. Assim, o número de juntas é mais reduzido, em relação ao betão simples.

Como foi mencionado, é imprescindível uma boa mistura do composto, para evitar a formação de «ouriços» e garantir uma distribuição homogénea das fibras no betão.

2.3.3. TIPOS DE PAVIMENTOS INDUSTRIAIS CONSOANTE A FUNDAÇÃO

Os pavimentos podem ter fundação directa ou profunda. Fundação directa ocorre quando o solo é capaz de suportar as cargas transmitidas ao pavimento, e é mais indicada para locais sujeitos a cargas móveis ou pontuais.

A fundação profunda é executada em casos que a capacidade resistente do solo é inferior à solicitação prevista recorrendo, nesses casos, a um «sistema de lajes apoiadas em vigas, que descarregam os esforços em pontos de apoio pouco espaçados» (Cristelli, 2010).

2.3.4. TIPOS DE PAVIMENTOS INDUSTRIAIS CONSOANTE A UTILIZAÇÃO

A ANAPRE e o ACI classificam os pisos consoante a utilização. O ACI confere classes a vários tipos de pavimentos consoante o tipo de tráfego a que estão sujeitos. As classes correspondentes aos pavimentos industriais encontram-se no quadro seguinte (Quadro 2.2).

Quadro 2.3. – ACI 302: Classe dos pavimentos industriais consoante a utilização (ACI 302,1996 - adaptado)

Classe	Tipo de tráfego previsto	Uso	Considerações especiais	Acabamento final
5	Veículos industriais com rodas pneumáticas	Pavimentos industriais - zonas de produção e armazenamento	Solo bem executado e uniforme Executar juntas necessárias Garantir resistência à abrasão Cura adequada	Intensivo realizado com talocha mecânica
6	Veículos industriais pesados com rodas rígidas	Pavimentos industriais sujeitos a tráfego pesado, podendo sofrer impacto de cargas	Igual ao anterior Garantir sistema de transmissão de cargas	Aplicação de endurecedores de superfície Uso intensivo de talocha mecânica
7	Veículos industriais pesados com rodas rígidas	Pavimentos com camadas superficiais, aplicadas em segunda fase, sujeito a tráfego intenso e impacto.	Camada de betão: bem executado e uniforme; recurso a reforço; execução juntas necessárias; condições de cura adequadas; superfície plana Camada superficial: Endurecedor de superfície mineral ou metálico aplicado à camada superficial; condições de cura adequadas	Preparação da superfície para receber todas as operações necessárias ao acabamento superficial. Uso intensivo de talocha mecânica

A ANAPRE é uma associação brasileira que classifica os pisos em três tipos: os pisos industriais, que inclui a área produtiva, armazenagem, vias de circulação e pavimentos urbanos e rodoviários, os pisos de estacionamento (em áreas abertas ou sub-solos) e pisos comerciais (ANAPRE, 2006-2010).

Para facilitar a informação relativa às várias áreas abrangidas nos pisos industriais, compilou-se a informação relatada pela ANAPRE no Quadro 2.3.

Quadro 2.4 – ANAPRE: Classe dos pavimentos industriais consoante a utilização (ANAPRE, 2006-2010)

Uso	Considerações
Áreas Industriais	Piso como equipamento para produção Pisos sujeitos a várias perturbações provenientes de infra-estruturas diversas, que por vezes impedem recurso a determinados tipos de soluções Numerosas mudanças de <i>layout</i> de equipamentos Comum utilização do RAD não só por razões estéticas, mas também por protecção e limpeza
Áreas de Armazenagem	Piso como equipamento Além dos sistemas de armazenagem é necessário considerar o tráfego de equipamentos tais como as empilhadoras, prevendo espaços de circulação e manobras adequados, bem como a sujeição do piso a tais cargas dinâmicas Recurso a pisos estruturalmente armados, com fibras de aço ou pré-esforçados de modo a reduzir significativamente o número de juntas Aplicação de endurecedores de superfície para aumentar a resistência à abrasão
Vias de Comunicação e pavimentos rígidos	Vias de comunicação pertencentes a indústrias e indispensáveis ao seu funcionamento, áreas de estacionamento, entre outros Espessuras superiores a 14 cm, quando o pavimento é reforçado Sujeitos a cargas pesadas e a tensões de origem térmica bastante elevadas pois geralmente este tipo de pavimentos encontram-se ao ar livre

2.3.5. JUNTAS EM PAVIMENTOS INDUSTRIAIS

A desvalorização da problemática das patologias associadas a pavimentos industriais relaciona-se com a incorrecta percepção de que o mau funcionamento deste tipo de estruturas não está na causa da ocorrência de acidentes graves nem na origem de graves prejuízos de carácter económico.

Contudo, isso não é verdade. Uma incorrecta abordagem quer na fase de concepção e projecto, quer na fase de construção pode levar à inutilização do pavimento ou a acidentes envolvendo seres humanos.

A maior parte das patologias que se verificam em pavimentos industriais relacionam-se, directa ou indirectamente, com juntas.

Apesar de a construção de pavimentos sem juntas ter sido alvo de abundante investigação, tal tecnologia requer materiais e processos construtivos que envolvem qualificação do pessoal e equipamentos adequados, pouco utilizáveis em pavimentos industriais, pelo que o recurso a juntas é imprescindível em Portugal. Assim, é essencial uma abordagem correcta das mesmas de modo a garantir um bom funcionamento dos pavimentos (Antunes e Barros, 2003).

2.3.5.1. Qual a utilidade das juntas?

O impedimento aos livres movimentos do pavimento, quer devidos à retracção, às variações de temperatura e humidade entre as superfícies do pavimento ou a deformações impostas, geram tensões

de tracção no betão. Como este material é pouco resistente à tracção, é essencial criar juntas de modo a permitir este livre movimento, diminuindo as tensões impostas no betão e, assim, assegurar que a tensão instalada é inferior à tensão de tracção do betão (evitando roturas).

Um dos fenómenos que causa a variação da dimensão dos pavimentos é a retracção do betão, causando tensões internas que podem dar origem à fendilhação do mesmo. Num pavimento industrial, a espessura da camada de betão e a razão água/cimento são os principais factores que estão na causa deste fenómeno. Como o pavimento tem uma grande superfície em contacto com o ar, as trocas de água entre o betão e o ar são significativas e se a exsudação, ou seja a saída de água do betão durante a cura, for inferior à evaporação da água, a ligação entre os constituintes do betão pode ser enfraquecida criando-se micro fendas que podem originar macro fendas.

Também a variação de temperatura e humidade, nomeadamente se estas forem diferentes nas superfícies do pavimento, podem estar na origem da fendilhação no betão. Um fenómeno denominado «curling» consiste no levantamento dos bordos do pavimento. O peso próprio da laje contraria este levantamento causando tensões de tracção na parte superior do bordo que, associadas a outro tipo de cargas, constituem possíveis zonas de rotura. Este fenómeno dá-se quando a parte superior do pavimento está mais fria e mais seca que a inferior. O oposto ocorre quando a parte superior do pavimento se encontra mais quente e mais húmida (Antunes e Barros, 2003).

É ainda de realçar que as acções impostas aos pavimentos, quer por cargas quer por assentamentos, devem ser tidas em conta na concepção de pavimentos de modo a assegurar a sua resistência às mesmas.

2.3.5.2. Tipos de juntas

São várias as juntas que constituem os pavimentos, a saber, juntas de dessolidarização, de construção e de controlo de fendilhação.

As **juntas de dessolidarização** (ou de isolamento) têm como função isolarem o pavimento tanto de elementos estruturais, tais como paredes, fundações, etc., como de outros componentes, nomeadamente escadas, caixas de visita, etc. Este isolamento faz-se com recurso a uma folha de polietileno expandido posicionado entre o pavimento e o elemento a separar. De notar ainda que a junta deve ser selada com um material elastómero quando se prevê o vazamento de líquidos e/ou sólidos sobre o pavimento.



Fig.2.22 – Corte: Junta de dessolidarização (Cristelli, 2010).

Estas juntas são tão profundas quanto a espessura da camada de betão e a largura das mesmas geralmente toma valores entre 3 e 6mm, podendo chegar aos 10mm. Para o seu dimensionamento é necessário ter em conta, não só a retração prevista, mas também as condições de cura, temperatura do meio ambiente, etc. (Antunes e Barros, 2003).

De forma a proceder à dessolidarização entre o pavimento e os pilares a tecnologia é diferente, recorrendo-se a uma junta de controlo de fendilhação (junta serrada) em forma de diamante ou junta de construção circular, com cofragem metálica perdida (Fig.2.23).

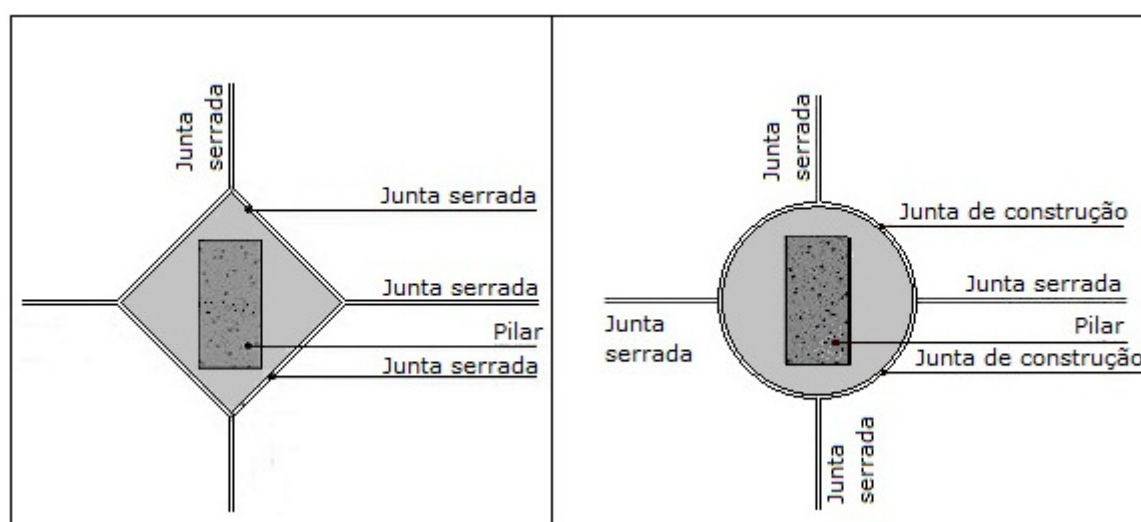


Fig.2.23 – Corte: Esquerda: Junta em forma de diamante; Direita: Junta de construção circular (Cristelli, 2010).

Sempre que, por qualquer motivo, não se pode executar uma betonagem contínua da laje surge uma **junta de construção** (ou de betonagem). Estas devem ser evitadas ao máximo porque constituem pontos de fragilidade no pavimento pois, por exemplo, se sujeitos a tráfegos intensos podem provocar assentamentos diferenciais entre painéis, deixando as arestas dos mesmos desprotegidas, o que pode acelerar a sua degradação. Este problema é contornado acoplando dispositivos de transmissão de cargas e elementos de protecção de juntas aos sistemas de cofragem, podendo a cofragem ser de madeira ou metálica, esta última recuperável ou perdida.

Os dispositivos de transmissão de carga denominam-se ferrolhos, que consistem em chapas ou varões redondos ou rectangulares lisos, sendo os ferrolhos redondos os que mais restrições provocam no sentido vertical, sendo, portanto os mais eficazes. Contudo, é preciso ter especial atenção na sua execução, garantindo que os dispositivos apresentados se mantenham perfeitamente horizontais e, no caso dos ferrolhos, que estes sejam ortogonais à junta, de modo a que os deslocamentos verticais e oblíquos sejam limitados a 6mm e os horizontais a 20mm (Antunes e Barros, 2003). Por fim, com vista à protecção da junta, recorre-se a soluções com elementos ou perfis metálicos que ficam solidarizados ao betão (Fig.2.24 à esquerda).

Apesar de existir outra técnica de transferência de carga entre painéis, nomeadamente a ligação do tipo «macho-fêmea» (Fig.2.24 à direita), esta não é uma solução eficaz uma vez que só é garantida a transferência de carga entre painéis quando há assentamentos diferenciais entre os mesmos, o que pode dar azo à deterioração dos bordos dos painéis, como explicado anteriormente, situação que se pretende evitar.

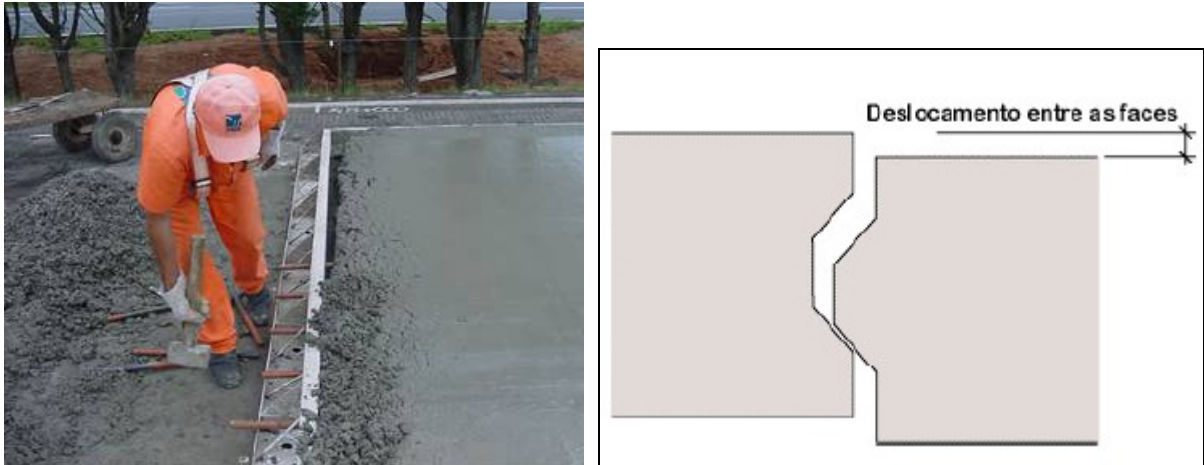


Fig.2.24 – Esquerda: Junta de construção com ferrolhos e protecção de juntas (www.solucoesparacidades.com.br); Direita: Ligação macho-fêmea (Cristelli, 2010).

Existem ainda, as chamadas **juntas de dilatação** cujo objectivo é permitir a expansão da laje de pavimento, causada por variações de temperatura e humidade do meio ambiente. Contudo, nos pavimentos industriais, a retracção provocada por tais variações é superior à dilatação, não sendo assim necessário considerar o seu efeito.

Em termos construtivos, a sua realização é idêntica à das juntas de construção na medida em que é necessário incorporar dispositivos de transmissão de carga porém, o seu preenchimento é igual ao de uma junta de dessolidarização, mas com uma largura que varia entre 10 a 20mm (Antunes e Barros, 2003).

Por fim, existem ainda as **juntas serradas** (também denominadas juntas de controlo de fendilhação ou juntas de retracção) que criam um plano de fragilidade na laje, para que se possa localizar a fendilhação ao longo desse plano. É realizada quando a laje apresenta uma resistência capaz de suportar a operação de equipamentos necessários para realizar a tarefa - geralmente um intervalo de 4 a 12 horas após o início de endurecimento do betão. Proceder-se então à serragem da laje do pavimento, com recurso a máquinas apropriadas. O corte deve ter uma profundidade correspondente ao maior dos valores entre 25mm e $1/3$ da espessura da laje (Antunes e Barros, 2003).

É de referir que estas devem, tanto quanto possível, ser evitadas pois uma vez mal dimensionadas ou mal executadas geram uma rápida degradação do pavimento, obrigando a uma manutenção dispendiosa. Assim, surgem actualmente tentativas de as evitar, diminuindo o seu número, tais como recorrendo ao uso de elevadas percentagens de fibras metálicas, ao betão auto-compactável reforçado com fibras de aço, ao uso de fibras de diversos materiais e geometrias e o recurso ao pré-esforço, factos anteriormente referidos.

Neste tipo de juntas é necessário garantir a transferência de cargas entre painéis. O imbricamento resultante do atrito entre os agregados da parte não serrada pode ser suficiente para a transmissão das cargas desde que a fendilhação ao longo do plano tenha uma largura inferior a 0,9mm. Essa eficácia pode ser incrementada com a utilização de betões com fibras, aumentando com a dimensão e rugosidade dos inertes e com a resistência da fundação, porém, diminui com o aumento das cargas e com a largura da abertura.

De notar que ainda não foi possível traduzir tal informação em valores quantitativos para fins de projecto.

Se o imbricamento referido for insuficiente recorre-se à utilização de ferrolhos, colocados a meia altura do pavimento, alinhados com a horizontal e perpendiculares à junta. Metade do comprimento do ferrolho deve estar envolto por uma camisa que permita a dessolidarização com o betão .



Fig.2.25 – Esquerda: Posicionamento dos ferrolhos; Direita: Comportamento dos painéis com e sem barra de transferência (www.pisosindustriais.com.br).

Uma outra forma de criar uma fendilhação segundo um plano específico passa pela colocação de elementos pré-moldados (chamados indutor de fenda) a colocar na fase plástica do betão. Quando a espessura do pavimento ultrapassa os 250mm, deve ser colocado na base do mesmo um indutor de fenda cujo alinhamento deve ser coincidente com a junta serrada (neste caso com uma espessura inferior a 1/3 da espessura total do pavimento). Constitui, assim, um processo de difícil execução (Antunes e Barros, 2003).

2.4. EXECUÇÃO DOS PAVIMENTOS INDUSTRIAIS

Para garantir um bom desempenho do pavimento face às cargas a que está continuamente sujeito, é fundamental um bom dimensionamento do mesmo, aplicando uma solução adaptada a cada tipo de projecto pois cada projecto é único pelo que cada solução deverá ser também única. Assim, o projectista deve ser alguém com domínio técnico das tecnologias e dos materiais envolvidos, devendo os seus projectos estarem mais completos possíveis. Contudo, é de realçar a necessidade de todos os agentes intervirem no projecto de modo a garantir viabilidade no emprego dos materiais e equipamentos a utilizar, devendo também realizar-se um adequado planeamento da obra e mão-de-obra necessária, resultando em soluções óptimas de custo/durabilidade (Cristelli, 2010). É de salientar que alterações devem preferencialmente ser feitas na fase de projecto pois, pois além de acarretarem menores custos, não comprometem a logística da obra, sendo os atrasos resultantes bastante inferiores relativamente à mesma alteração em fase de execução.

Quando se fala em execução de pavimentos, existem dois tipos de controlo fundamentais: o controlo geométrico e o controlo tecnológico (Polisseni, 2008).

O controlo geométrico tem como função verificar a conformidade das dimensões especificadas em projecto com as executadas, tais como espessura das camadas do solo e da sub-base, dimensões dos painéis de betão, etc.

Por sua vez, o controlo tecnológico passa pela realização de ensaios e medições nas várias fases da execução de modo a verificar a coerência com o projecto. Tais ensaios e medições devem ser

definidos na fase de dimensionamento, com referência aos valores mínimos a atingir e respectivas tolerâncias. A título exemplificativo, a resistência característica do betão, os ensaios de abaixamento, o controlo da planeza são alguns parâmetros a controlar pela via tecnológica (Polisseni, 2008).

2.4.1. SOLO

É essencial garantir um comportamento mecânico do solo que permita absorver os esforços impostos pelas novas estruturas subjacentes, devendo ser compactado e de seguida regularizado superficialmente de modo a corrigir eventuais desníveis. Quando o solo não apresenta as condições mínimas em termos de resistência ou consistência, é necessário proceder ao seu reforço, sendo adicionado ao material terraplanado outros prontos que garantam as características pretendidas tais como materiais granulares, cimentícios ou estabilizantes químicos (Polisseni, 2008).

Segundo a mesma fonte, os equipamentos mecânicos utilizados na preparação desta camada são tractor com grade, motoniveladora, pá carregadora, rolo compactador vibratório do tipo pé-de-carneiro, compactador mecânico do tipo placa vibratória ou compactador de percussão tipo «sapo».

O tractor revolve o terreno de modo a remover a camada vegetal e em seguida, a motoniveladora tem a função de nivelar o solo, através de uma lâmina ajustável.

Para solos argilosos o cilindro de pés de carneiro e o compactador de percussão (para áreas menores) são os mais adequados pois evitam a delaminação dos solos (Fernandes, 2006), forçando a saída do ar e organizando as partículas (www.multiquip.com.br).

Para solos granulares, é necessária uma agitação ou vibração para movê-los, uma vez que não é um solo coeso. Assim, o equipamento ideal será a placa vibratória.

Repare que as placas vibratórias reversíveis e rolos vibratórios permitem mudar a frequência de vibração, e assim ajustar a compactação à granulometria do solo (www.multiquip.com.br).



Fig.2.26 – Esquerda: Motoniveladora; Direita: Pá carregadora (www.changlin.com.pt).

Quanto aos controlos, o geométrico recorre à topografia, utilizando referências e marcos colocados de antemão em obra (Polisseni, 2008) de modo a conhecer a espessura e o nivelamento. O tecnológico utiliza ensaios do grau de compactação, adoptando-se correntemente um valor mínimo a atingir de 95% do Proctor Normal. O ensaio Proctor consiste em compactar em várias camadas de uma amostra, deixando cair de uma altura normalizada, um pilão de peso também normalizado sobre cada camada. A amostra está inserida num molde cilíndrico. Consoante a granulometria do solo é utilizado um molde grande ou pequeno. Também conforme a energia de compactação, o ensaio designa-se Proctor Normal (energia de compactação mais baixa) ou Modificado (maior energia de compactação)

(Fernandes, 2006). Esta compactação dota o material de certas características tais como a diminuição do índice de vazios, permeabilidade e compressibilidade. O ensaio correlaciona o teor de humidade da amostra e o peso volúmico seco de um solo compactado com determinada energia. Conhecendo a energia de compactação pode traçar-se a curva de compactação (com o teor em água no eixo das abcissas e o peso volúmico seco em ordenadas). Ao analisar o gráfico obtido, facilmente chega-se ao ponto que corresponde simultaneamente ao teor em água óptimo e o peso volúmico seco máximo. Assim, ao dizer «pretende-se uma compactação de modo a atingir 95% do Proctor Normal» está-se no fundo a dizer que o peso volúmico seco do solo obtido em obra tem de ser no mínimo 95% do valor do peso volúmico seco obtido em laboratório. É corrente também dizer-se que «o teor em água deve situar-se entre o valor óptimo e x%», por exemplo (Fernandes, 2006).



Fig.2.27 – Esquerda: Cilindro pés de carneiro (<http://www.volvo.com.ai/constructionequipment/europe/ptpt/products/compactors/Largesoil/SD77F/introduction.htm?TAB=1>); Direita: Placa vibratória (<http://por.chuangmei.com/>).

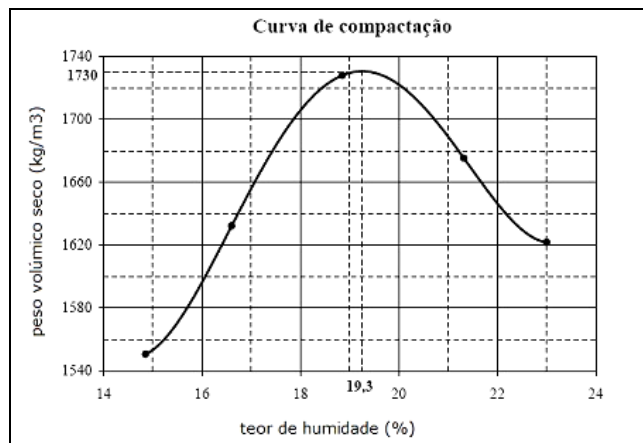


Fig.2.28 – Exemplo de curva de compactação (http://www.ufsm.br/engcivil/Material_Didatico/TRP1003_mecanica_dos_solos/unidade_10.pdf).

2.4.2. SUB-BASE

Tal como foi referido no ponto 2.3.1.2., as sub-bases podem ser granulares ou tratadas. Quanto à execução, a camada granular é espalhada uniformemente por cima do solo e compactada, possui a

vantagem de redistribui o uniforme dos esforços e evita o fenómeno de capilaridade. Os equipamentos utilizados nesta fase são os camiões basculantes e as pás carregadoras (Polisseni, 2008).

No caso das sub-bases tratadas, o material granular   espalhado da mesma forma e, de seguida, o ligante hidráulico   espalhado de forma homog nea.

Os parâmetros a controlar são idênticos aos da camada anterior, com a variante de o ensaio de compacta o, se o material for granular, deve garantir uma compacta o 95% do Proctor Modificado (Polisseni, 2008).

2.4.3. COFRAGENS

Na cofragem   necessário deixar as correspondentes aberturas, devidamente posicionadas para coloca o dos ferrolhos ou cabos de pr -esforço, bem como o local de fixa o das ancoragens.

Para a coloca o destas   apenas necessário um controlo geométrico. Deverá ser verificado se o posicionamento das cofragens corresponde aos locais especificados em projecto e garantido um correcto alinhamento, nivelamento e fixa o antes de proceder   betonagem (ver Fig.2.31).



Fig.2.29 – Exemplo de cofragem com aberturas para posicionamento de ferrolhos (Cristelli, 2010).

2.4.4. POSICIONAMENTO DA ARMADURA

Para betão armado ou pr -esforçado   necessário proceder   correcta disposi o das armaduras. Para tal recorre-se a espaçadores, que podem ser metálicos ou plásticos.   de referir que nos pavimentos de betão   mais usual utilizar rede electrossoldada como reforço em detrimento da armadura ordinária.

O controlo geométrico engloba o posicionamento planimétrico e altimétrico no caso do pr -esforço – comprimento, espaçamento, quantidade e ancoragem dos cabos – ou simplificadamente, o número de barras numa determinada posi o no caso da armadura ordinária.

Quanto ao controlo tecnológico devem realizar-se ensaios de rotura   trac o, quer nos caso de se recorrer ao pr -esforço quer no caso da armadura ordinária (Polisseni, 2008).

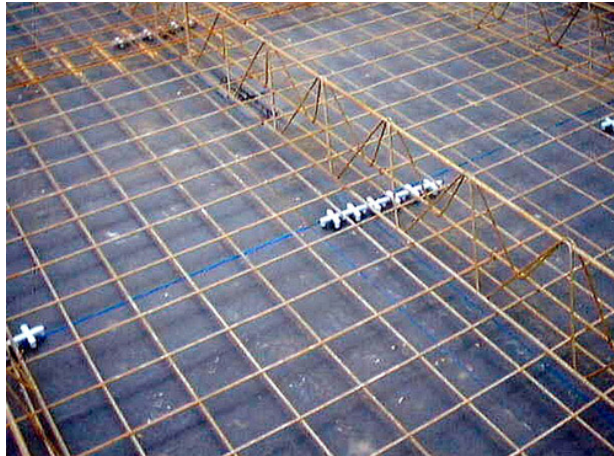


Fig.2.30 – Exemplo de posicionamento da armadura utilizando espaçadores metálicos (www.engeprot.com.br).

2.4.5. BETONAGEM

A betonagem pode ser sub-dividida nas fases de produção e transporte, lançamento, compactação, acabamento superficial e cura, e carece de um controlo meticuloso, prevendo o tempo destinado a cada uma das fases, devendo ser executadas por pessoal qualificado.

2.4.5.1. Produção e transporte

O fabrico e a colocação do BRF em obra não divergem muito do betão corrente até uma determinada dosagem de fibras, que segundo alguns autores é de 0,5%, outros 1% e outros ainda 1,5% (Neves, 2010).

A adição de fibras à matriz é realizada antes da adição de água, podendo misturar-se com os agregados grossos antes da sua entrada na betoneira. Contudo, alguns autores referem que ao introduzir as fibras após a introdução de água, se poderiam obter melhores resultados no que diz respeito à homogeneidade do composto, o que é realizado actualmente na prática, pois afirma-se que assim evita-se a aglomeração de fibras e a segregação.

Quanto ao betão pronto, as fibras podem ser introduzidas na auto-betoneira momentos antes da betonagem, por meio de passadeiras rolantes, devendo o tambor rodar à velocidade máxima aquando da incorporação das mesmas. Deve-se ter ainda em atenção em não exceder 80% da capacidade máxima das betoneiras, devido ao elevado atrito interno causado por este tipo de betões (Cristelli, 2010).

Na fase de **produção e transporte** há que garantir que o betão a utilizar está em conformidade com o projecto. Assim, deve-se conferir a sua composição e dosagem, tipo e consumo mínimo de cimento, relação água/cimento, *slump test*, teor máximo de ar e de aditivos, dimensão máxima do agregado e teor de argamassa. Em termos de ensaios, deve-se medir a sua resistência característica à tracção aos 28 dias, a resistência à compressão às 10, 12, 14 e 20 horas e 3, 7 e 28 dias (Polisseni, 2008). Além dos aspectos que se prendem com as características do betão propriamente dito, deve ter-se em consideração a capacidade da central de betonagem e a acessibilidade dos equipamentos ao local. O não cumprimento de um planeamento adequado pode originar atrasos bem como levar à necessidade de realizar mais juntas, não previstas em projecto.



Fig.2.31 – Camião auto-betoneira (www.braskraft.com.br).

2.4.5.2. Lançamento do betão

O **lançamento do betão** pode ser feito directamente da betoneira ou com auxílio a uma bomba, para alcançar zonas menos acessíveis. São ainda de realçar os cuidados a ter com o BRF bombeado. Devem tomar-se as devidas precauções tais como adequar a composição do betão (Polisseni, 2008) ou evitar a diminuição da secção da tubagem.

A betonagem da faixa definida deve ser realizada de maneira uniforme e sem interrupções de modo a evitar retracções diferenciais no pavimento. Também a velocidade de lançamento deve ser controlada, recomendando-se que seja feita a $20\text{m}^3/\text{h}$, para que a presa se processe de modo uniforme, não esquecendo porém que tal velocidade tem de ser concordante com a velocidade de vibração e acabamento a realizar (Polisseni, 2008).

Segundo alguns autores (Cristelli, 2010), a betonagem pode ser realizada em placas, em faixas ou em xadrez. A técnica mais recomendada é a realização por faixas por questões logísticas pois permite um mais fácil acesso dos equipamentos, em detrimento da betonagem em xadrez. Esta última, além de dificultar a execução e a operação dos equipamentos, faz com que os painéis funcionem, inconvenientemente, de maneira independente. Por fim, a betonagem por placas é um processo inovador que utiliza material mais sofisticado cujas funções incluem o espalhamento, controlo de nível e parte do acabamento superficial. Esta técnica permite a betonagem de uma extensa área, reduzindo assim o número de juntas de betonagem.

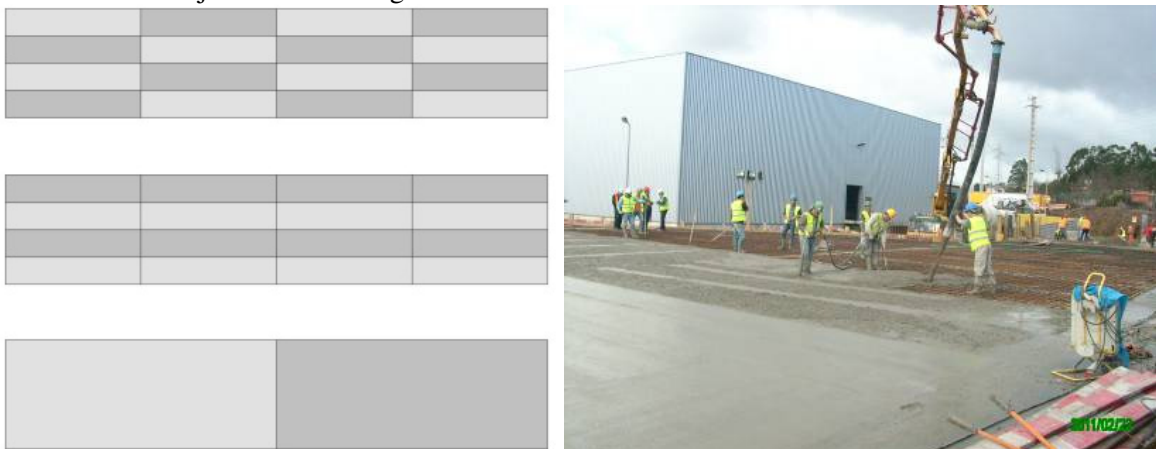


Fig.2.32 – Esquerda: Esquemas de betonagem: primeiro em xadrez, o intermédio por faixas e o último por placas (Cristelli, 2010); Direita: Lançamento do betão com auxílio de bomba.

2.4.5.3. Compactação

Quanto à compactação, o BRF requer maior energia de vibração que os betões correntes, aconselhando-se a vibração de alta frequência e baixa amplitude. Quanto aos equipamentos utilizados, pode ser sujeito a qualquer tipo de vibração com exceção das misturas muito secas na qual a vibração interna é inadequada (Polisseni, 2008).

Note que a vibração influi a orientação das fibras, que por sua vez pode resultar na mudança das características do composto (Cristelli, 2010).

Na betonagem por faixas, para compactar e nivelar o pavimento, recorre-se a uma régua vibratória em que a área de cada faixa a betonar é pré-definida segundo o local mais conveniente. O controlo da altura espectável de betão no estado fresco é feito com recurso a um laser rotativo emissor e receptores (ver Fig.2.33 – Esquerda). Como princípio de funcionamento, este laser encontra-se a uma cota conhecida e sabe-se qual a distância esperada entre o laser e a cota pretendida para o pavimento. Assim, o comprimento da régua graduada que contém o receptor toma o valor dessa distância. Quando o laser atinge o receptor, o pavimento já se encontra à cota pretendida.

É também sugerido (Polisseni, 2008) o emprego de vibradores de imersão na proximidade das cofragens.

Para compactação na situação da betonagem em placas, utilizam-se réguas vibratórias treliçadas ou o *laser screed* (ver Fig.2.33 – Direita) cuja altura do pavimento é controlada por um emissor laser fixo e por dois receptores que incorporam o equipamento. Além de compactar e nivelar, este laser corrige os desnivelamentos do pavimento, corta e ainda inicia o acabamento.



Fig.2.33 – Esquerda: Laser, régua graduada e tripé (www.kuantokusta.pt); Direita: *Laser screed* (www.screedtech.net).

2.4.5.4. Acabamento

A régua vibratória realiza uma primeira regularização da superfície, mas deixa sempre algumas imperfeições sobre o pavimento. Para proceder a um alisamento, colmatando as falhas deixadas pela régua, alisa-se a superfície com a chamada talocha, equipamento com 80 a 300cm de comprimento e 20cm de largura, com extremidades arredondadas, operada manualmente.

A melhoria da planeza do pavimento é incrementada com o auxílio do sarrafo cuja lâmina promove o corte de material em pontos que apresentam espessuras diferentes ou se encontram desnivelados. Trata-se de uma régua de alumínio que controla o ângulo de corte da superfície e pode ou não estar ligada ortogonalmente a um cabo. O equipamento funciona tanto quando é puxado como quando é empurrado.

As etapas referidas realizam-se com o betão em estado fresco. De seguida protege-se o betão das agressões do meio ambiente, aplicando-se produtos químicos para apetrechar a superfície de determinadas propriedades. Neste período controla-se a perda de água do betão por exsudação.



Fig.2.34 – Esquerda: Talochamento (www.solucoesparacidades.com.br); Direita: Sarrafeamento (www.pisosindustriais.com.br).

Quando o betão começa a ganhar presa, ou seja quando começa a solidificar, sendo a profundidade da pegada de um operador de aproximadamente 4mm, recorre-se ao «helicóptero» (talochas mecânicas). O período entre a utilização do último equipamento e do «helicóptero» pode flutuar bastante, dependendo das características do betão utilizado. Este equipamento tem como função a compactação superficial do pavimento, concentrando a argamassa na superfície. Possui lâminas metálicas com cerca de 40cm com inclinações variáveis (ver figura 2.35 à direita).

Por fim, pode-se utilizar novamente um sarrafo para desempenho e posterior alisamento mecânico. A superfície é desempenada e alisada por acção abrasiva, dotando-a da rugosidade pretendida. Ao diminuir a rugosidade o atrito é também diminuído, conferindo à superfície uma maior resistência à abrasão.

O controlo do acabamento superficial pode ser feito por «inspeção visual» verificando a homogeneidade do pavimento, procurando imperfeições tais como manchas e falhas.



Fig.2.35 – Esquerda: Utilização de régua vibratória; Direita: Utilização de um «helicóptero» (www.pavieste.pt).

De notar que, agentes químicos como a aspersão de agregados de alta resistência devem ser aplicados depois da utilização do sarrafo, como foi referido, mas os líquidos endurecedores de superfície devem ser empregues após todo o processo de cura do pavimento e devem ser efectuados com equipamentos de baixa pressão, realizando-se duas demãos sobre a superfície devidamente cuidada, livre de contaminações e sujidade.

2.4.5.5. Cura do Betão

Entende-se por cura do betão, um conjunto de medidas que evitam a perda de água necessária às reacções de hidratação do cimento nas primeiras idades, sendo o período de cura compreendido entre as reacções iniciais de hidratação do cimento e as primeiras fases de endurecimento do betão. Assim, é fundamental ter um especial cuidado nesta fase pois os pavimentos industriais possuem uma grande área exposta às condições ambientais, podendo ocorrer a perda dessa água.

A cura do betão pode ser auxiliada de várias formas. Pode-se proceder a uma cura química com a aplicação de líquidos retardadores de evaporação, executada nas fases iniciais de acabamento, ou a uma cura húmida cobrindo o betão com uma manta de poliéster saturada em água (Cristelli, 2010), conforme se pode observar na Fig.2.36.

Como medidas de controlo é importante referir um espalhamento dos agentes responsáveis pela cura química em toda a área betonada e garantir uma cobertura completa da superfície do pavimento, no caso do emprego da cura húmida, bem como garantir que a manta se encontra saturada durante cerca de 7 dias (Polisseni, 2008).



Fig.2.36 – Esquerda: Cura química (http://www.solucoesparacidades.com.br/passeio_publico/whitetopping-passo-a-passo); Direita: Cura húmida (<http://www.consultoriaeanalise.com/search?updated-max=2011-05-17T22%3A30%3A00-03%3A00&max-results=10>).

2.4.6. JUNTAS

Numa primeira abordagem, é importante respeitar o tempo de início da execução de juntas que não pode ser muito cedo, pois a aderência dos agregados grossos pode ficar comprometida ou, se iniciada tarde, pode surgir o aparecimento de fissuras de retracção. O tempo de espera para se iniciar a serragem varia bastante e é função das características do betão e das condições atmosféricas (Polisseni, 2008). Actualmente, existem novas tecnologias que permitem a execução das mesmas logo que o betão tenha resistência suficiente que consiga suportar o peso das máquinas e do operador.

O local onde serão efectuadas as serragens das juntas deverá ser previamente marcado, conforme o especificado no projecto. As serras permitem que o mesmo seja feito com uma determinada profundidade pré-definida (ver Fig.2.37).

A execução das juntas deve obedecer a um conjunto de princípios, que incluem (Cristelli, 2010 – adaptado):

- Criar juntas de dessolidarização, de modo a permitir que o funcionamento do pavimento seja independente da restante estrutura;
- Garantir ângulos entre juntas superiores a 90°;
- Ser sempre contínuas, interrompidas apenas nos locais de fecho (juntas posicionadas à volta dos pilares);
- As juntas serradas devem ter comprimento superior a 50cm e terminar sempre numa junta de dessolidarização, devendo-se garantir ângulos superiores a 90° entre estas e curvas.

Com vista ao controlo de qualidade sugerem-se as seguintes medidas principais (Cristelli, 2010 – adaptado):

- Tolerância nas distâncias entre ferrolhos de 25mm, em relação ao pré-estabelecido;
- Ferrolhos devem estar a meia altura dos painéis ± 7 mm, e distar das juntas no mínimo 10mm;
- O desalinhamento máximo das juntas é de 10mm ao longo de 3m;
- Profundidade das juntas igual à especificada em projecto ± 5 mm.



Fig.2.37 – Execução de juntas serradas (www.jmpisosindustriais.com.br).

Outro facto fundamental é a selagem das juntas, que só deve ser realizada após a ocorrência de grande parte da retracção. Uma selagem adequada aumenta o nível de vida do betão, na medida em que previne a infiltração de materiais líquidos e a penetração de sólidos. Geralmente é composto por um material elastómero, cuja relação entre a profundidade e a largura do mesmo é indicada pelos fabricantes. Como a profundidade da junta geralmente é maior do que a profundidade do enchimento requerida, deve-se colocar um cordão de polietileno extrudido para assegurar o posicionamento do selante (denominado fundo de junta). É utilizada uma pistola pneumática para a selagem que deve ser feita numa superfície previamente limpa, estando os bordos das juntas isolados com fitas (Antunes e Barros, 2003).

Outro material utilizado para a selagem é as resinas epoxi semirrígidas que, apesar de apenas suportarem pequenos movimentos de laje, têm um melhor comportamento em situações de tráfego

intenso (Antunes e Barros, 2003). Outra fonte (Cristelli, 2010) enuncia o tipo de material a utilizar de acordo com as propriedades pretendidas, como mostra o quadro seguinte (Quadro 2.4).

Quadro 2.5 – Propriedades dos materiais usados na selagem das juntas (Cristelli, 2010 – adaptado).

Material	Propriedades
Poliuretano	Aspecto menos alterado perante raios ultravioleta Pouca retenção de poeira Resistente a ataques químicos
Silicone	Aspecto menos alterado perante raios ultravioleta Retém mais pó Resistente a derivados do petróleo
Acrílicos	Aspecto menos alterado perante raios ultravioleta No limite, tem melhor elasticidade que os dois anteriores
Epóxi modificado com uretano	Resistente a ataques químicos
Polissulfeto	Resistente a derivados do petróleo Resistente a tráfego intenso
Poliuretano modificado com asfalto	Resistente a derivados do petróleo Resistente a tráfego intenso



Fig.2.38 – Limitador de profundidade do selante para juntas serradas (fundo de junta) (Esquerda: www.solucoesparacidades.com.br; Direita: Cristelli, 2010).



Fig.2.39 – Selagem de juntas (www.solucoesparacidades.com.br).

2.5. PATOLOGIAS EM PAVIMENTOS INDUSTRIAIS

Tal como foi referido, apesar de a maior parte das patologias verificadas se relacionarem com as juntas, existem diversos factores que conduzem à ocorrência das mesmas. Uma vez verificados, tais problemas resultam num acréscimo das operações de manutenção sobre o pavimento, sendo a sua reabilitação dispendiosa comparada com o custo da execução de um novo pavimento. Pode ainda afectar o normal funcionamento das indústrias e dificultar a operação de equipamentos (Cristelli, 2010).

Tais falhas podem dar-se tanto a nível da concepção como na execução do mesmo, bem como do uso indevido do pavimento sendo por isso fundamental um acompanhamento contínuo na fase de uso corrente quando se pensa executar este tipo de pavimentos. Aliás, a utilização inadequada do mesmo representa uma grande parcela. O uso de produtos de limpeza inadequados, bem como a falta de manutenção das juntas, ocorrência de impactos e utilização de equipamentos de forma incorrecta podem acelerar a deterioração do pavimento (Cristelli, 2010). Assim, é imprescindível produzir manuais de utilização após a conclusão da obra que permitam uma manutenção adequada do pavimento.

Contudo, quando estas patologias ocorrem é imperativo identificá-las imediatamente de modo a poder intervir de imediato da forma mais correcta possível. Devem planear-se as tarefas necessárias à recuperação do pavimento «doente» de modo a interferir o menos possível com o normal funcionamento da indústria em causa.

Assim, apesar de a presente dissertação não se centrar nas patologias decorrentes da execução dos pavimentos estudados, entendeu-se que seria importante conhecer as mais correntes, pelo que se expõe o Quadro 2.5. O Quadro enuncia algumas dessas patologias bem como a sua causa, de modo que, ao conhecê-las, possa-se intervir no sentido de prever ou tratar tais anomalias.

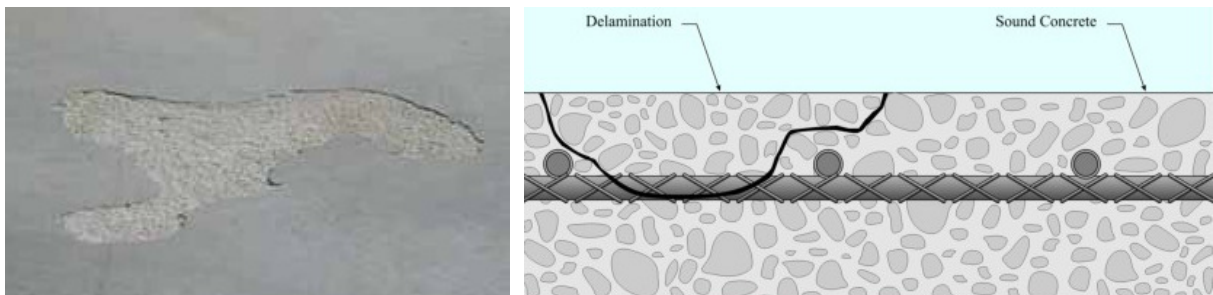


Fig.2.40 – **Delaminação** do pavimento; (Esquerda:

<http://www.pisosindustriais.com.br/materias/noticia.asp?ID=165>; Direita: <http://rampart-hydro.com/services/hydrodemolition/partial-depth-concrete-removal/>).



Fig.2.41 – **Desgaste** do pavimento (<http://www.pisosindustriais.com.br/materias/noticia.asp?ID=165>).

Quadro 2.6 – Principais patologias em pavimentos industriais (*Steel Fibre Reinforced Concrete for industrial floors, especially floors without joints and floors on piles: A practical guide.*)

Problema	Causa
Betão não consegue ser bombeado	Incorrecta dosagem dos componentes. Quantidade de finos (inferiores a 0,2 mm) insuficiente (<450kg/m ³) Fenómeno de segregação do betão, quando este se encontra no camiã-betoneira Redução do diâmetro da mangueira Variação do tempo de presa do betão <i>Slump</i> inconsistente Uso desmesurado de superplastificantes
Danificação de extremidades	Incorrecta concepção do composto Execução tardia do acabamento das bordas
Fissuras derivadas de assentamentos	Base ou sub-base inadequada Solo húmido Compactação insuficiente Solo expansivo
Fissuras provocadas por sobrecargas	Instalação precoce de estantes Utilização do piso para armazenar maquinaria/produtos da construção
Delaminação	Água exsudação que não evapora Incorrecta dose de superplastificantes Incorrecta técnica de acabamento Excessiva quantidade de ar no betão
Danificação/fissuração das juntas	Tipo de junta inapropriado, sem barras de transferência Grande espaçamento entre juntas Técnica acabamento inadequada nas bordas das juntas Falta de selante Tráfego intenso
Fissuração	Sobrecarregamento da superfície Secagem da superfície através do uso do cimento Secagem do betão antes do desenvolvimento das resistências Choque térmico e/ou ausência de água em idades precoces Cura inadequada
Desgaste superficial	Água exsudação excessiva Incorrecta concepção do composto Endurecimento muito lento do betão
Aparecimento de fibras na superfície	Passagem do helicóptero demasiado cedo Tamanho agregados grande comparado com o espaçamento entre fibras Fibras muito compridas/muito flexíveis Incorrecta concepção do composto

Salienta-se que a execução cuidada do pavimento respeitando as regras definidas neste Capítulo e sintetizadas mais à frente no Capítulo 4, garantem a minimização dos riscos de aparecimento das anomalias descritas.

Finalmente interessa referir que, existem no mercado diversos produtos e soluções destinadas à manutenção e reabilitação deste tipo de pavimentos.

3

PESQUISA DE MERCADO: O MERCADO PORTUGUÊS

3.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objectivo a pesquisa do mercado português no âmbito da execução de pavimentos industriais em betão reforçado com fibras de aço, verificar quão a solução apresentada está implementada em Portugal, apresentando as empresas que fornecem betão pronto reforçado com fibras e as que executam pavimentos industriais, utilizando este tipo de betão.

Convém referir que há no mercado português empresas que além de incorporarem os serviços dedicados à execução técnica dos pavimentos, também comercializam os produtos necessários à execução dos mesmos, sendo um desses produtos as fibras de aço, estudadas na presente dissertação. Outras empresas limitam-se à prestação de serviços, sendo os produtos necessários à execução dos trabalhos, provenientes de outras empresas.

Nos dois pontos seguintes abordam-se empresas dedicadas à produção de betão pronto com fibras, a Betecna e a CIMPOR (ver 3.2 e 3.3). Apresentam-se as actividades desenvolvidas pelas mesmas, os produtos comercializados e a localização das centrais de betão, permitindo verificar qual a sua área de actuação.

Nos restantes pontos apresentam-se empresas que executam pavimentos industriais, a Pavin, a Pavilaje, a Pavieste, a Pavimaia, a Solpave, a ServiPavi, a Rocland, a Egon e a Inéditbase (ver pontos 3.4 a 3.12). São apresentadas as diversas soluções de pavimentos e revestimentos, bem como as tecnologias utilizadas, referindo também as principais obras concluídas.

3.2. BETECNA – BETÃO PRONTO S.A.

O Grupo é uma empresa certificada pela IQNet e pela APCER (segundo a norma NP EN ISO 9001:2000) e produz e fornece argamassas, agregados e betões. Esta empresa realiza um controlo de qualidade dos seus produtos, recorrendo ao Laboratório Central e a laboratórios externos acreditados. A divisão de agregados do grupo gere quatro explorações de pedreiras e «está certificada segundo a IT0301 (Norma de Produto) e de acordo com o quadro normativo em vigor» (www.betecna.pt).

Note ainda que a empresa adquiriu a Eurobetão – Betão Pronto, S.A., na qual possui centrais informatizadas.

Quanto aos betões, são fabricados diversos tipos, com diversas características (www.betecna.pt):

- Betão corrente;

- Betão de dosagem, para fins menos nobres, como betão de limpeza;
- Betão leve – betão estrutural, cuja massa volúmica é inferior ao normal;
- Betão celular – betão fabricado com adjuvantes que criam bolhas na sua matriz, tornando-o mais leve que o betão normal; mais utilizado em coberturas;
- Betão com fibras de aço;
- Betão com fibras de aço e de polipropileno;
- Betão resistente à flexo-tracção, utilizada em pavimentos sujeitos a cargas elevadas;
- Betão pesado resistente à compressão, mais utilizado em locais sujeitos a acções radiológicas;
- Betão leve por densidade, utilizado para fins não estruturais como para isolamento térmico ou acústico;
- Betão projectado, por exemplo para túneis e taludes;
- Betão com fibras sintéticas de polipropileno, também para controlo da fissuração.

Esta empresa, apesar de a sua sede ser em Oeiras, possui escritórios situados em diversas zonas do país, a saber: Zona Norte (Gaia), Zona Centro Litoral (Leiria), Zona Centro (Castelo Branco), Zona de Lisboa (Loures) e Zona Sul (Loulé).

Já as centrais de betão estão dispersas em várias cidades do país:

- **Zona Norte:** Aveiro, Paredes, Taipas, Viana do Castelo e Vila Nova de Gaia;
- **Zona Centro Litoral:** Caldas da Rainha, Leiria, Pombal, Rio Maior e Santarém;
- **Zona Centro Interior:** Abrantes, Castelo Branco, Elvas, Fundão, Guarda e Portalegre.
- **Zona de Lisboa:** Alcochete, Alenquer, Casal do Marco, Tojal e Trajouce, e com pedreiras em Alenquer e Sesimbra;
- **Zona Sul:** Beja, Boliqueime, Castelo Ventoso, Portimão, Sines e Tavira, com pedreira em Parragil.

Trata-se, assim, de uma empresa líder no mercado «de importantes segmentos do sector dos materiais de construção como é o caso do betão, da argamassa preparada e dos agregados», e cuja área de actuação se estende por todo o país, sendo fabricados vários tipos de betão, para as várias soluções existentes no mercado, na qual também se inclui a utilização de betão com fibras de aço.

3.3 CIMPOR

A CIMPOR é uma empresa que se afirma como um dos principais produtores de ligantes a nível mundial, e pretende consolidar e expandir o seu negócio a novos mercados, «mantendo a sua independência face aos outros grandes grupos cimenteiros e conservando o seu centro de decisão em Portugal» (www.cimpor-portugal.pt).

Iniciou a sua actividade em 1976, tendo no ano de 1988 criado a CIMPOR BETÃO, S.G.P.S., S.A.

A empresa tem filiais em várias partes do mundo, sendo que na Europa se encontra em Espanha e Portugal. Já a internacionalização da empresa deu-se em 1992, tendo posteriormente adquirido cimenteiros em Angola, Moçambique, Marrocos, Brasil, Tunísia, Egipto, África do Sul, Cabo Verde, Turquia, China e Índia.

Em Portugal, a empresa produz 7,2 Milhões de toneladas de ligantes/ano, através das seguintes unidades fabris (www.cimpor-portugal.pt):

- 3 Centros de produção de cimento: Alhandra, Souselas e Loulé;

- 1 Fábrica de Cal Hidráulica: Cabo Mondego;
- 1 Fábrica de Sacos de papel;
- 1 Moagem de Cimento: Murtas (Açores);
- 56 Centrais de Betão;
- 10 Explorações de Agregados;
- 2 Fábricas de Argamassas Secas.

Apesar de a actividade de produção e comercialização se centrar no cimento, esta empresa produz e fornece betões, cal hidráulica, agregados e argamassas. Quanto ao betão, a CIMPOR comercializa betões fornecidos pela Betão Liz e pela Ibera, cuja qualidade é assegurada pela Direcção Técnica da Qualidade, onde se «desenvolvem as actividades necessárias para o estudo de novos produtos», tais como a selecção da matéria-prima, composições teóricas e testes laboratoriais.

Entre a vasta gama dos produtos especiais, encontram-se onze tipos de betões com características distintas, e entre eles encontra-se o betão com fibras. Esta empresa também indica como se devem utilizar os produtos CIMPOR, adequando o tipo de cimento a utilizar de acordo com o tipo de betão pretendido. Possui também um «Manual da Construção CIMPOR», «Regras Básicas da Utilização do Betão em Obra» e a «Especificação do Betão», documentos muito úteis para o adequado emprego do betão nas diversas situações, possuindo ainda um documento relativo ao modo de execução do betão em obra (www.cimpor-portugal.pt).

3.4. PAVIN – PAVIMENTOS INDUSTRIAIS, LDA.

A Pavin é uma empresa que, apesar da sua curta existência, já realizou diversas obras no que respeita à execução de pavimentos de betão e de betonilha.

Teve participações em obras de grande importância como subempreitada, na qual se menciona algumas delas:

- Parque de estacionamento em Portimão com uma área de 1,65 ha;
- Parque subterrâneo em Viseu de 1,8 ha;
- Guia shopping, no Algarve com 1,83 ha;
- Seixal shopping com 7,2 ha;
- Sala de espectáculos da Guarda com 0,89 ha;
- Parque de estacionamento no Arrábida, no Porto, com uma área correspondente a 6,2 ha.

Assim, o campo de acção da empresa é em todo o país, realizando tanto obras de grande envergadura, como as acima mencionadas, mas também obras mais pequenas cujas áreas pavimentadas rondaram 2400 m² como o caso da execução do Centro de Saúde de Gouveia, ou por exemplo 6300 m² como o tribunal de Viseu que, apesar de a intervenção não ser muito significativa em termos de área, assume uma grande importância pelos próprios edifícios intervencionados.

Quanto aos pavimentos de betão, esta dedica-se às seguintes fases de trabalho:

- Espalhamento e nivelamento do betão;
- Talochamento do pavimento;
- Corte e serragem de juntas.

A empresa afirma que possui conhecimentos de espalhamento e nivelamento do betão com ou sem o auxílio de laser (Fig.3.1 à direita). O talochamento realizado é com recurso ao vulgarmente chamado «helicóptero».

Esta é uma empresa que, além dos serviços prestados, também comercializa produtos necessários ao processo de execução dos pavimentos, como endurecedores de superfície, fibras metálicas e sintéticas e produtos que auxiliam a cura do betão (Fig.3.2).



Fig.3.1. – Esquerda: Espalhamento; Direita: Nivelamento do betão (www.pavin.net).



Fig.3.2 – Cura do betão (www.pavin.net).

Os endurecedores de superfície comercializados são à base de quartzo, metálico, curindo e basalto que permitem dotar a superfície do pavimento de oito cores distintas (ver Fig.3.3.).

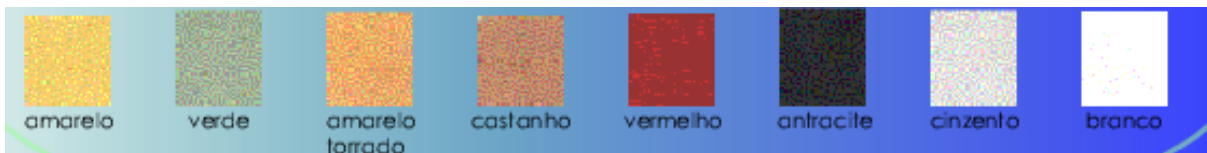


Fig.3.3 – Diferentes cores do acabamento, dadas pelo endurecedor de superfície (www.pavin.net).

É, assim, uma empresa que oferece um serviço bastante completo uma vez, além da execução dos pavimentos, comercializa os seus produtos e os utiliza na realização dos mesmos, oferecendo diversos tipos de acabamentos, tendo já experiências em obras de grande importância.

3.5. PAVILAJE – PAVIMENTOS INDUSTRIAIS, S.A.

Esta é uma empresa especializada em pavimentos industriais de betão e betonilhas e tal como a anterior, realiza as operações necessárias à betonagem, desde o espalhamento do betão ao talochamento por via mecânica, ou seja, com recurso ao «helicóptero», cujo acabamento também pode resultar em diversas cores resultante dos pigmentos contidos no endurecedor. Dispõe de «técnicos especializados e qualificados na execução e aplicação de pavimentos de betão e betonilhas com grande capacidade de produção» (www.pavilaje.pt).

Esta também incorpora alguns produtos para a execução dos trabalhos, como fibras metálicas e de polipropileno e endurecedores de superfície.

As áreas de intervenção cobrem garagens, zonas comerciais e industriais, e quanto às obras realizadas, destaca-se a Nova Torre Colombo, em Lisboa, cuja obra de pavimentação da laje abrange 2 ha. Trata-se de uma obra realizada sob a firma de sub-empregada da Mota-Engil. Também realizou uma obra com 2,5 ha na cidade de Leiria: o Leiria shopping.

É também de realçar que esta foi a responsável pela execução do pavimento industrial do estudo de caso – Capítulo 5.

3.6. PAVIESTE – EXECUÇÃO TÉCNICA DE PAVIMENTOS, S.A.

Trata-se de uma empresa cuja actividade principal é a execução de pavimentos industriais, e é capaz de suportar obras de pequena, média e grande envergadura. Outra característica desta empresa é a utilização apenas de produtos certificados.

Com 16 anos de existência, verificou-se o seu grande crescimento, quer em número e importância das obras em que esteve envolvida, quer em número de trabalhadores, evoluindo de apenas 5 pessoas para 150, com um capital social de 1M€ (www.pavieste.pt).

Tem-se dedicado a grandes obras como centros comerciais, lojas e hospitais. Em 2003, além do continente, o seu negócio foi expandido também para as ilhas portuguesas. Assim, além da sede na cidade do Porto, possui escritórios em Lisboa e nos Açores.

Esta empresa também presta serviços de dimensionamento e manutenção, e «aposta no reforço dos pavimentos industriais com a incorporação de fibras metálicas».

Como produtos/soluções esta empresa abrange:

- Betão leve;
- Betonilha;
- Pavimentos em betão poroso;
- Pavimentos em betão lavado;
- Pavimento Impresso;
- Auto-nivelantes de base cimentícia;
- Auto-nivelantes epóxis e/ou poliuretanos;
- Pavimento de betão novo/velho polido em seco;
- Microterrazo;
- Reparação de pavimentos degradados.

A título de curiosidade, o pavimento impresso acima mencionado, é realizado a partir de diversos moldes, podendo assumir vários formatos (calçada à portuguesa, pedra romana, cantaria, aduquim) e é geralmente aplicado em condomínios, passeios, jardins, rampas de acesso e em fachadas principais de vivendas, aplicando-se endurecedores de superfície capazes de dotar as superfícies de várias cores.



Fig.3.4 – Pavimento impresso (www.pavieste.pt).

O *superfloor* trata-se de um método do polimento do betão (betão novo ou velho polido em seco) capaz de lhe conferir um brilho natural, aumentando a resistência à abrasão, sendo executado com máquinas polidoras de pequeno e grande porte. Esta solução é aplicável a ambientes industriais, locais públicos e domésticos.



Fig.3.5 – Exemplo de *superfloor* (<http://www.anzeve.com/pt/htc/superfloor.php>).

O *microterrazzo* trata-se de um revestimento decorativo realizado a partir de uma vasta gama de agregados de diversas cores que permite a personalização de cada projecto, ficando o pavimento com aspecto polido, podendo ser aplicado com espessuras de 1mm, e cujo tempo de execução é diminuto.

Este tipo de solução incrementa a resistência à abrasão, sendo adequados para zonas de tráfego pedonal.

O betão lavado (Fig.3.4 à esquerda) é vulgarmente aplicado em condomínios, escolas, passeios, jardins e no exterior de vivendas, e o betão poroso (Fig.3.4 à direita) é empregue em campos de jogos e passeios.



Fig.3.6– Exemplo de *microterrazzo* (Esquerda: http://www.fastfloors.com/lp_36019.0.268058/Daltile-Tile-Stone/ /Terrazzo-Tile-12--Micro-Terrazzo-Mercury-Rising/product.htm; Direita: http://www.portaldeobras.com/instaladores/reditec/mortero_estucado.htm).



Fig.3.7 – Esquerda: Betão lavado; Direita: Betão poroso (www.pavieste.pt).

Quanto ao tipo de pavimentos industriais, esta empresa executa os seguintes serviços (www.pavieste.pt):

- Pavimento com acabamento talochado fino pronto a receber revestimento;
- Pavimento com acabamento polido, incluindo a incorporação de endurecedor de superfície à cor natural ou com pigmento de cor;
- Pavimentos de alta planimetria executados como auxílio da máquina *Laser Screed*, obtendo assim, um pavimento o mais nivelado possível;
- Pavimentos contínuos (sem juntas), incorporando uma maior dosagem de fibras metálicas.

Como obras concluídas enumera-se:

- Pavimento no Dolce Vita Tejo, em Lisboa;
- Parque de estacionamento no Porto;
- Passagem superior do metro, em Almada – Betão Impresso;

- Betão leve em coberturas, no Dolce Vita de Braga e na Escola São João da Madeira.



Fig.3.8 – Utilização do *Laser Screed* (<http://www.concreteenterprises.com/Photo%20Gallery.htm>).

3.7. PAVIMAIA – SOCIEDADE DE PAVIMENTOS INDUSTRIAIS LDA.

Apesar de não existir muita informação sobre esta empresa, a Pavimaia tem desenvolvido vários trabalhos na área da pavimentação industrial, pelo que se achou importante mencionar neste capítulo.

Está no activo desde 1995 e dispõe da maquinaria necessária à realização dos pavimentos, tendo iniciado, desde há dois anos, a execução de pavimentos autonivelantes em resinas epóxi.

É de referir que a Pavimaia, embora execute pavimentos reforçados com fibras, subcontrata empresas para a fabricação do mesmo.



Fig.3.9 – Execução de trabalhos de compactação de pavimentos (www.pavimaia.pai.pt).

3.8. SOLPAVE

A Solpave dedica-se à execução de pavimentos industriais, dotada de equipamentos de alta tecnologia, tendo como parceiros a *Sika*, o *grupo Maxit* e a *Maquinter Portugal – máquinas e ferramentas Lda*. Além da prática de execução de pavimentos industriais, a empresa apresenta outro tipo de serviços, que são enumerados de seguida:

- Revestimentos auto-nivelantes;
- Revestimentos Epóxi;
- Recuperação de Pavimentos;
- Betonilhas de alta resistência;
- Tratamento de juntas.

Os revestimentos auto-nivelantes referidos pela empresa têm como base uma resina sintética, epóxi ou poliuretano, ou o cimento. É formada uma pasta que se espalha sobre o pavimento e possui características autonivelantes, o que faz com que o piso seja nivelado com a mínima intervenção do operador. Esta solução permite um incremento da resistência ao desgaste, que, aliado à capacidade de resistir a ataques químicos, facilidade de limpeza e de descontaminação e ainda a ausência de libertação de vapores e químicos tornam este tipo de solução adequado para diversos locais.

Existem diversas soluções no que diz respeito a revestimentos epóxi, na qual deve-se adequar a solução ao resultado pretendido. Assim, enumera-se a pintura epóxi, o epóxi autonivelante, os revestimentos epóxi multilayer e as tintas epóxi de alta resistência. A resina epóxi também é utilizada pela empresa no preenchimento de juntas.

O epóxi autonivelante é uma mistura composta por uma argamassa de polímeros epóxi, agregados e cargas minerais e a sua espessura varia de 1,5 a 5mm. Tem a vantagem de criar um acabamento liso e uniforme.

Os revestimentos epóxi multilayer, cuja espessura varia entre 3 a 6mm, consistem na aplicação por aspersão de cargas minerais e base epóxi e têm como função incrementar a resistência mecânica do pavimento.

Por fim, as tintas epóxi de alta resistência incrementam a resistência ao impacto e à abrasão, podendo ser utilizados na recuperação de pisos desgastados.



Fig.3.10 – Execução de pavimentos industriais (www.solpave.com).

3.9. SERVIPAVI – PAVIMENTOS INDUSTRIAIS UNIPESSOAL, LDA.

Esta é uma empresa recente, tendo entrado no mercado em 2001, e dedica-se à execução tanto de pavimentos industriais como urbanos, comercializando também produtos, na qual se achou importante realçar:

- Fibras metálicas;
- Fibras de polipropileno;
- Betão pronto;
- Endurecedores de superfície;
- Resinas epóxicas.

Dispõe de material, equipamento e mão-de-obra necessárias para a realização de betonagem por descarga directa ou com auxílio de bomba, talochamento, produtos para assegurar uma cura adequada e para serragem dos pavimentos.

A empresa possui um portfólio de trabalhos executados em várias obras, representando as diversas fases de execução.



Fig.3.11 – Esquerda: Lançamento do betão; Direita: Regularização com régua vibratória (www.servipavi.net).



Fig.3.12 – Esquerda: Alisamento da superfície com «hélicóptero»; Direita: Serragem de juntas (www.servipavi.net).

3.10. ROCLAND

Parceira do Grupo Rinol, a Rocland executa pavimentos industriais, com 8500 obras por ano, que correspondem a 7,5 milhões de m², possuindo um volume de negócios de 144 M €. É uma empresa certificada, cuja filial portuguesa é em Leiria (www.rocland.pt).

A aquisição da Rocland pelo Grupo Rinol ocorreu em 1997. À data a empresa Rocland era líder dos pavimentos à base de betão.

A empresa detém conhecimentos na execução de lajes e revestimentos, nas quais se destacam:

- Betão reforçado com fibras metálicas ou sintéticas;
- Betão armado;
- Pavimentos específicos da indústria agro-alimentar;
- Controlo da planimetria segundo normas internacionais;
- Lajes sem juntas;
- Revestimentos com resinas sintéticas.

Além de prestarem os serviços mencionados, são de realçar alguns recursos a equipamentos por parte da empresa, como o *Laser Screed*, já explicado no Capítulo 2 e o fornecimento de programas de dimensionamento de lajes.

As lajes, com e sem juntas, são reforçadas com fibras metálicas, e para cada uma das soluções são propostas fibras metálicas específicas. Outra solução de pavimentos com recurso a juntas, prevê a incorporação de fibras sintéticas.

Nas duas soluções referidas são criadas «camadas de desgaste», ou seja um acabamento superficial através da incorporação de argamassa ou por distribuição mecânica ou polvilhamento. O produto a polvilhar é executado em duas fases: na primeira, após emprego do produto, faz-se o talochamento da superfície. Na segunda fase, ocorre um novo polvilhamento e sucessivos alisamentos da superfície.

A empresa comercializa uma gama muito alargada de produtos que permitem fazer a manutenção dos pavimentos, através de acções de limpeza realizadas sobre os mesmos. Possui recomendações e produtos que permitem o melhoramento do aspecto da superfície do pavimento, referindo que podem-se encontrar eflurescências na superfície dos mesmos que desaparecem com um «tratamento adequado». Recomenda-se ao fim de um mês de uso, a decapagem que do produto de cura não eliminado na fase inicial de utilização.

É ainda de realçar a disponibilização de Fichas de Segurança, Cadernos de Encargos e Guias de Manutenção das suas lajes com produtos determinados pela empresa. Eis aqui uma lista com alguns dos produtos comercializados:

- Camadas de desgaste;
- Fibras;
- Revestimentos sintéticos;
- Chapas magnéticas;
- Aditivos;
- Tratamento de juntas;
- Colas.

Trata-se, assim, de uma empresa experiente, com vários anos no mercado e que apresenta um grande leque de soluções e uma grande quantidade de produtos por si fabricados. São de realçar os Guias, Cadernos de Encargos e Fichas de Segurança, objectos indispensáveis para permitir uma manutenção adequada e durabilidade do pavimento.

3.11. EGON – CONSTRUÇÃO S.A.

Nos pavimentos industriais, a actuação desta empresa vai desde a remoção do pavimento antigo, à construção de caleiras e redes de drenagem de águas pluviais e construção de elementos estruturais de betão adjacentes ao pavimento.

Além da realização das etapas referentes à execução do mesmo, a empresa fornece betão de alta resistência, fibras metálicas ou de polipropileno e endurecedores metálicos ou minerais.

Tal como a empresa relata, o procedimento seguido pela mesma na execução de pavimentos é o seguinte:

- Compactação da sub-base, regularização e nivelamento;
- Espalhamento, vibração e nivelamento do betão vertido, com ou sem pendentes, através de equipamento de laser;
- Afagamento através de meios mecânicos (talocha mecânica/helicóptero), incorporando endurecedores de superfícies minerais ou metálicos, com possível pigmentação;
- Alisamento mecânico até obter uma superfície lisa, compacta e polida;
- Aplicação de uma membrana de cura;
- Abertura de juntas.

A empresa executa ainda operações de recuperação de pavimentos através da utilização de argamassas de alta resistência, com forte adesão e endurecimento rápido. Possui ainda «afagamento a seco» ou seja acções de regularização das superfícies de betão.

Os endurecedores minerais são compostos por granulados de quartzo e aditivos adicionados que permitem que a superfície do pavimento seja dotada de um acabamento anti-poeiras, resistente ao desgaste e ao choque. São aplicados durante a cura do betão, manual ou mecanicamente, e afagados de seguida. O endurecedor pode conferir cor ao piso, podendo assim conter pigmentos.

Os endurecedores metálicos podem definir-se como agregados metálicos não oxidáveis que aumentam a resistência ao desgaste do pavimento, e são recomendáveis para pavimentos sujeitos a tráfego intenso.



Fig.3.13 – Esquerda: Alisamento da superfície com «helicóptero»; Direita: Recuperação de um pavimento (www.egon.pt).

3.12. INÉDITBASE – PAVIMENTOS INDUSTRIAIS LDA.

É uma empresa com mais de 20 anos de experiência, sediada em Lisboa, cujos colaboradores são «técnicos engenheiros experientes e qualificados (...) no ramo da construção civil e obras públicas» (www.ineditbase.com).

Como serviços, esta empresa executa pavimentos e revestimentos de acrílico, betão, resinas epóxi, poliuretano e auto-nivelantes cimentícios.

Como soluções construtivas, esta empresa dedica-se a:

- Pavimentos em betão polido, com a opção de introdução de fibras metálicas ou sintéticas; utiliza como sistema de aplicação dos pavimentos, o *Laser Screed*;
- Pavimentos e revestimentos porosos; os pavimentos porosos podem ser simples, coloridos, com adaptação de acrílico ou resina epóxi ou em resina (acrílica ou epóxi);
- Pavimentos em betão impresso, com vários desenhos e moldes de cores;
- Pavimentos em betonilha;
- Pavimentos em betão leve;
- Revestimentos autonivelantes cimentícios;
- Revestimentos em resina epóxi.

Pode-se também contar com uma vasta gama de produtos comercializados por esta empresa, na qual achou-se importante referir as fibras metálicas, endurecedores de superfície e o autonivelante cimentício.



Fig.3.14 – Exemplos de betão impresso (www.ineditbase.com).



Fig.3.15 – Exemplos de pavimentos em resina epóxi compacto multicamada (www.ineditbase.com).

Como nota final pretende-se realçar que são várias as empresas que executam pavimentos industriais, e algumas delas possuem inclusive tecnologia de vanguarda como o *Laser Screed*. Verifica-se também, que a incorporação de fibras metálicas ao betão encontra-se igualmente implementada pelo mercado português, uma vez que tal solução é executada por diversas empresas.

De sublinhar também a realização de Manuais, Regras Básicas de Execução, Cadernos de Encargos e Guias de Manutenção por parte de empresas, que permitem uma correcta aplicação do material e uma adequada realização dos pavimentos, auxiliando também na manutenção do mesmo, permitindo assim a execução de soluções mais duráveis e adequadas a cada caso.

4

REGRAS PARA CONTROLO DA QUALIDADE NA EXECUÇÃO DE PAVIMENTOS INDUSTRIAIS EM BRFA

4.1. OBJECTIVOS

Após exposto no Capítulo 2 o estado da arte relativo à execução de pavimentos industriais em BRFA bem como a sua sequência construtiva, a autora considera importantíssima a recolha de regras e recomendações que levem à minimização de patologias associadas a este tipo de pavimentos. Algumas dessas regras e recomendações bem como causas de anomalias já foram abordadas no Capítulo 2, todavia, este capítulo pretende ser mais minucioso e directo na recolha e informação associada à boa prática de execução e pretende também alertar para a produção de documentos, um «Manual de utilização» pois muitas patologias são provenientes do uso indevido do pavimento.

Quando se fala em regras, o primeiro pensamento da autora dirige-se para a regulamentação nacional, pois considera-se o sistema legal português como a entidade cuja informação se sobrepõe a qualquer outra, merecendo ser examinada mais cautelosamente por parte de quem utiliza BRFA.

Deste modo, procurou-se conhecer a normalização portuguesa que regula o fabrico e ensaios aplicáveis a betão com fibras de modo a obter-se uma solução durável e de qualidade. Entre o conteúdo encontrado nas Normas, frisam-se as especificações relativas a ensaios que permitem aos fornecedores controlar mais eficazmente o seu produto, e dá aos compradores uma garantia de qualidade do produto adquirido.

Após a abordagem anterior procurou-se conhecer as recomendações geradas por fabricantes e sites técnicos cujos documentos foram produzidos por profissionais da área, portugueses e estrangeiros, pretendendo-se recolher o máximo de informação fiável possível e dar a conhecer uma série de acções a serem tomadas pelos profissionais envolvidos na execução do tipo de solução estudada de modo a garantir que esta se processe o melhor possível, minimizando atrasos e possíveis irregularidades.

Por fim, a autora achou crucial a produção de uma Ficha de Inspecção e Ensaio que tem por base os aspectos estudados ao longo deste e do Capítulo 2, de modo a servir de auxílio ao exercício da fiscalização, passando dos conhecimentos teóricos adquiridos para a criação de um instrumento utilizado na vida prática, traduzindo-se como uma espécie de guia («check-list») para controlo do tipo

de pavimentos estudados. Sublinha-se que tirou-se partido do acompanhamento de uma obra para preencher a Ficha e validá-la posteriormente no Capítulo 5, que corresponde ao estudo de caso.

4.2. ENQUADRAMENTO LEGAL E NORMATIVO PORTUGUÊS

Neste primeiro ponto tentou-se recolher todas as normas portuguesas que regulam o betão com fibras de aço, relevantes para o caso estudado, escrutinando o seu conteúdo, tendo-se obtido um conjunto de regras que regulam as características do BRF e definem ensaios para determinação dessas características, organizando as fibras de aço segundo Grupos e definindo a sua aplicabilidade.

Entre as inúmeras regras portuguesas existentes, as respeitantes ao BRFA aplicáveis ao caso em estudo são as cinco Normas expostas nos pontos que se seguem. A apresentada em primeiro lugar indica os requisitos a cumprir no fabrico das fibras de aço, especificando como se processa a avaliação de conformidade relativamente à Norma. A Norma seguinte relata a composição dos betões a ensaiar e complementa-se com a sua sucessora, que define o método usado no ensaio de betão com fibras.

As últimas duas Normas apresentadas apresentam ensaios que permitem a determinação de duas características importantíssimas do betão com fibras, exploradas no Capítulo 2: a capacidade de absorção de energia, a influência das fibras na resistência do composto e a determinação da dosagem de fibras no betão.

4.2.1. NP EN 14889-1. FIBRAS PARA BETÃO. PARTE 1: FIBRAS DE AÇO. DEFINIÇÕES, ESPECIFICAÇÕES E CONFORMIDADE.

Esta Norma «especifica os requisitos das fibras de aço para utilização estrutural e não estrutural no betão, na argamassa e nas caldas de injeção» e tem por referência outras cinco normas europeias.

Um dos pontos da Norma, tal como se mencionou no Capítulo 2, descreve os grupos a que as fibras podem pertencer, segundo o seu método de fabrico:

- Grupo I: fio estirado a frio;
- Grupo II: cortado a chapa;
- Grupo III: extraído a quente;
- Grupo IV: fio estirado a frio por aplainamento;
- Grupo V: extraído de blocos de aço por fresagem.

A Norma afirma que o fabricante deve «declarar a forma da fibra», podendo ser desempenada ou deformada, e especificar o controlo e a tolerância de cada forma, com a possibilidade de recorrer a equipamento óptico para efectuar tal controlo. Anuncia ainda que «quando as fibras de aço são revestidas, (...) o tipo e a quantidade característica em g/m^2 devem ser declarados. A qualidade deve ser controlada em função do tipo de revestimento e deve ser declarada pelo produtor».

Quanto às dimensões das fibras, para as pertencentes aos Grupos I e II, «o comprimento, o diâmetro equivalente e a esbelteza devem ser declarados». A Norma apresenta um quadro com as tolerâncias admitidas em relação ao valor declarado pelas empresas, nas quais 95% dos provetes têm de cumprir as tolerâncias, quando amostrados e medidos segundo as disposições da Norma.

Para os Grupos III, IV e V, «a banda dos comprimentos, diâmetro equivalente e esbelteza devem ser declarados». Estes provetes «devem estar dentro da banda especificada», tendo 95% dos provetes individuais de satisfazer a tolerância, quando amostrados e medidos segundo a especificação da Norma.

Continuando com os requisitos, a Norma prossegue com um conjunto de características do betão com fibras que devem ser determinadas e declarados pelos produtores, segundo especificações descritas pela Norma:

- Determinação do comprimento das fibras;
- Determinação do diâmetro das fibras;
- Resistência à tracção das fibras;
- Módulo de elasticidade das fibras;
- Ductilidade das fibras;
- Amassadura, sendo que o produtor deve indicar instruções sobre esta;
- Efeito sobre a consistência do betão, comparando a do betão com fibras com a do betão sem fibras; deve-se declarar a quantidade e tipo de adjuvante utilizado para se obter a consistência desejada;
- Efeito sobre a resistência do betão;
- Libertação de substâncias perigosas, referindo que não devem ser libertadas substâncias nocivas acima do permitido pelas Normas Europeias ou pela «legislação nacional do Estado Membro de destino».

O ponto seguinte da Norma trata da Avaliação de Conformidade afirmando que a avaliação de conformidade das fibras em relação à presente Norma deve ser declarada e demonstrada pelo produtor realizando o seguinte:

- **Ensaio de tipo inicial.** A Norma define os ensaios a realizar e especifica a dimensão mínima da amostra que irá representar o lote ou entrega;
- **Controlo da produção em fábrica.** «O produtor deve estabelecer, documentar e manter um sistema de controlo da produção em fábrica (CPF) que assegure que os produtos colocados no mercado estão em conformidade com os requisitos da Norma e com as características de desempenho declaradas». Para tal, a fábrica deverá realizar inspecções regulares, ensaios ou avaliações e, a partir dos resultados, realizar o controlo dos produtos, equipamentos (que deverão ser calibrados e inspeccionados) e processos de produção. Fica ao critério dos produtores, definir os procedimentos que garantam a conformidade com as características declaradas, sendo especificado pela Norma um número mínimo de unidades para controlo de produção.

Por fim, a Norma apresenta dois anexos. O primeiro é normativo e apresenta as condições de evolução dos sistemas de controlo. O segundo é informativo e «estabelece as condições para marcação CE das fibras de aço destinadas à utilização prevista» - «A Marcação CE demonstra que o fabricante, representante ou importador garantem que o produto em questão cumpre os requisitos essenciais de todas as directrizes relevantes da UE» (www.bureauveritas.pt). Indica num quadro os sistemas de atestação de conformidade segundo a utilização prevista para as fibras de aço. Também expõe a atribuição das tarefas do produtor e do organismo de certificação, para avaliação da conformidade das fibras de aço, que pode ser feito segundo vários sistemas. Possui um quadro de exemplo de informação a apresentar na marcação CE.

4.2.2. NP EN 14845-1: MÉTODOS DE ENSAIO DE FIBRAS NO BETÃO. PARTE 1. BETÕES DE REFERÊNCIA.

O objectivo desta norma é a descrição da composição e características dos betões de referência utilizados no estudo do desempenho das fibras quando adicionadas ao betão, sendo que «o betão de referência tem como finalidade determinar a aptidão das fibras como constituinte do betão».

Note que o efeito resultante da adição de fibras ao betão, na resistência e consistência do mesmo, é obtido através da comparação entre dois betões de igual composição, porém num deles foram adicionadas fibras, pois só assim se consegue ter uma maior percepção da mudança de propriedades num betão ao qual foram adicionadas fibras.

Adopta disposições relativas a outras doze Normas Europeias e descreve os constituintes do betão bem como as suas proporções de modo a atingir uma determinada resistência à tracção por flexão e uma resistência à compressão segundo as especificações da EN 14845-2. Define ainda as dimensões máximas dos agregados (entre 16 e 20mm).

São descritos todos os equipamentos e materiais necessários, entre eles, adjuvantes, cimento, água de amassadura, agregados e fibras. Por exemplo, refere que as fibras «devem ser amostradas de acordo com a EN 14889-1:2006, secção 6.2 para as fibras de aço».

Refere, ainda, a composição e propriedades do betão de referência:

- Razão água/cimento, remetendo para a norma EN206-1;
- Máxima dosagem de cimento;
- Dosagem das fibras;
- Consistência;
- Preparação dos provetes, referindo tempos de amassadura, percentagem de ocupação da betoneira e qual a sequência de mistura dos materiais;
- Cura e armazenamento do betão, referindo condições de temperatura e humidade e tempo de cura.

São especificados «quatro tipos de betões de referência, definidos pela resistência à tracção por flexão, dimensão máxima do agregado e máxima dosagem de cimento», cujas proporções «devem ser ajustadas dentro dos limites» indicados na Norma.

De referir também que os fabricantes de fibras devem «declarar o desempenho do seu produto» através de ensaios de avaliação de resistência (segundo a EN 14845-2) e da consistência, de acordo com um dos métodos de avaliação da consistência descritos na presente Norma.

4.2.3. NP EN 14845-2: MÉTODOS DE ENSAIO DE FIBRAS NO BETÃO. PARTE 2. INFLUÊNCIA SOBRE A RESISTÊNCIA.

A NP EN 14845-2 tem como objectivo especificar um método apropriado para ensaiar uma peça de betão com fibras, de modo a dar a conhecer o efeito das mesmas na resistência à flexão de um betão de referência.

Tal como as anteriores, esta abrange especificações de outras Normas e propõe o ensaio de 12 vigas à idade de 28 dias, com dimensões específicas, ensaiadas segundo a EN 14651 e cujo betão de referência é feito segundo a NP EN 14845-1, porém adicionando-se fibras.

Devem ser incorporados diferentes teores de fibras até se atingir determinado valor de resistência média à flexão.

É anda especificado o que deve ficar registado no relatório de ensaio, a título exemplificativo:

- Tipo de fibra;
- Teor em fibra;
- Data de fabrico dos provetes;
- Natureza da cura e condições de humidade dos provetes na altura do ensaio.

4.2.4. NP EN 14488-5: ENSAIO DE BETÃO PROJECTADO. PARTE 5: DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ENERGIA DE PROVETES DE LAJES REFORÇADOS COM FIBRAS.

Esta Norma tem por objectivo descrever um método que permita a determinação da resposta carga/flecha de provetes de lajes e a partir daí determinar a capacidade de absorção de energia do provete, até determinada flecha. Esta conta como base três normas europeias e descreve os aparelhos e utensílios a utilizar, a forma de confecção dos provetes, o procedimento, a expressão dos resultados (tendo na própria Norma gráficos que permitem passar da curva flecha/carga para a curva energia/flecha). Mostra ainda o conteúdo que deverá constar no relatório de ensaio.

4.2.5. NP EN 14488-7: ENSAIO DE BETÃO PROJECTADO. PARTE 7: DOSAGEM DE FIBRAS NO BETÃO REFORÇADO COM FIBRAS.

A NP EN 14488-7 descreve um método que permite determinar a dosagem de fibras do betão projectado, quer a amostra esteja em estado fresco (fibras poliméricas) – Método B – ou endurecido (fibras de aço) – Método A.

Assim, extraem-se fibras pelo Método A ou B e determina-se a dosagem de fibras a partir da massa das mesmas e do volume da amostra de betão. A Norma indica quais os aparelhos e utensílios bem como a preparação dos provetes e qual o procedimento a seguir.

Em suma, em relação à regulamentação portuguesa até aqui apresentada, é importante reter que o fabricante deve declarar uma série de características acerca das fibras como se pode constatar no quadro que se segue, e que a marcação CE permite ao comprador que o produto que está a adquirir segue os requisitos dispostos nas Normas Europeias. Define uma série de ensaios padronizados sobre as características a analisar e sobre a afectação das fibras na resistência do composto. O Quadro 4.1 indica a declaração que os fabricantes deverão efectuar em relação às fibras de aço produzidas.

Quadro 4.1 – Declaração dos fabricantes em relação às fibras, segundo a NP EN 14889-1

Fabricante deve declarar:
Forma da fibra
Revestimento das fibras
Dimensões e tolerâncias das fibras
Resistência à tracção das fibras
Módulo de elasticidade das fibras
Ductilidade das fibras
Instruções sobre a amassadura
Efeito sobre a resistência no betão
Libertação de substâncias perigosas
Conformidade em relação à Norma NP EN 14889-1, através de ensaios

4.3. REGRAS DE BOA PRÁTICA: INDICAÇÃO DE FABRICANTES

Após apresentação das principais Normas associadas ao betão com fibras, achou-se necessário proceder ao compêndio de regras de boa prática resultante da informação fornecida por fabricantes, na qual se passa a apresentar dois documentos recolhidos.

O primeiro Guia apresentado, além de chamar a atenção para aspectos já abordados no Capítulo 2, corroborando assim a sequência de tarefas apresentadas nesse capítulo, aborda também as condições que devem ser satisfeitas pelo betão ao qual se adicionou fibras.

O Guia seguinte vai um pouco mais longe pois, além de referir as características a satisfazer pelo betão, indica uma série de considerações que o empreiteiro deve ter em atenção para que a execução do pavimento ocorra o melhor possível e, além disso, recomenda registos e testes que devem ser efectuados no local de modo a determinar as características do betão a aplicar bem como as condições em que ocorreu a betonagem, de modo a registar eventuais causas de um comportamento não esperado do pavimento.

4.3.1. PAVIMENTOS INDUSTRIAIS. GUIA TÉCNICO DE APLICAÇÃO, PELA SIB

A empresa comercializa um endurecedor de superfície SIBLAND e como primeira recomendação no seu Guia Técnico de Aplicação aponta para a execução de tal tarefa por «empresas habilitadas e credenciadas para o efeito».

O Guia realça a necessidade de atender à morfologia dos solos de modo a prevenir possíveis assentamentos. Informa ainda da necessidade de realizar de ensaios que possibilitem a determinação do *proctor* do terreno que, a par das cargas a que estará sujeito, servirão para determinar a espessura da lâmina de compressão (espessura da camada de betão), que geralmente varia entre 12 e 30cm.

Outra sugestão do Guia é a utilização das já analisadas barras de transferência (ferrolhos) quando da presença de juntas, de modo a permitir uma transferência de esforços entre as placas podendo eventualmente diminuir a taxa de fibras metálicas a incorporar ou a espessura de betão. Além disso evita «a descompensação entre duas placas na sua linearidade», por outras palavras, evita desníveis entre placas consecutivas de betão.

Propõe, ainda, para melhoria das resistências à flexo-tracção, a incorporação na lâmina de compressão armadura corrente ou rede electrossoldada e fibras metálicas cuja dose se encontra entre os 20 e 40kg/m³ de betão.

O Guia distingue dois tipos de revestimentos. O primeiro é denominado por revestimento monolítico, é aquele cujo endurecedor é aplicado sobre o betão em estado fresco, passando a fazer parte integrante da camada. O segundo trata-se de revestimentos constituídos por uma camada de betão complementar, aderente ou não à camada de compressão, cuja espessura é no mínimo 5cm, aplicada quando esta pequena camada se encontra em estado fresco e após o endurecimento da camada inferior de betão resistente. Esta última solução, porém, não é muito eficaz pois provoca o aumento da espessura final do pavimento, o que não é recomendável por questões de custo, o que leva a uma análise apenas da primeira solução.

Para o primeiro caso, o Guia propõe as seguintes condições a satisfazer para o betão:

- Satisfazer as prescrições do projecto estrutural;
- Ter uma dosagem de ligante compreendida entre 300 e 400kg de cimento/m³ de betão;
- Apresentar uma consistência equivalente a um abaixamento no *slump test* de 8 a 12cm (até 15 cm se for um betão aplicado por bombagem);
- Ser fabricado com cimento do tipo I.

Para a aplicação do endurecedor de superfície, o Guia recomenda o seguinte procedimento (adaptado):

- Regularização da superfície;

- Após a superfície estar isenta de água, aplica-se a primeira camada do endurecedor, cerca de 2/3 da quantidade total a aplicar;
- Execução da talochagem mecânica para assegurar a incorporação do endurecedor no betão;
- Após um tempo de espera de 30 a 60 minutos, aplicação da segunda camada do endurecedor;
- Novamente executa-se uma talochagem mecânica; de seguida, deve-se proceder a várias talochagens até o seu completo endurecimento; cada talochagem dever ser feita quando da secagem da superfície;
- Deve-se aplicar uma membrana de cura, de modo a evitar a prematura desidratação do betão.

Para completar a execução dos pavimentos, o Guia propõe regras para a execução de juntas:

- **Juntas de dilatação:** devem ser realizadas de acordo com as juntas de dilatação da estrutura do edifício, exceptuando o caso de o funcionamento do pavimento ser completamente independente do edifício; estas juntas devem ser preenchidas com mástique;
- **Juntas de retracção (ou serradas):** dividir o pavimento em painéis, sempre que possível, quadrados, com área entre 30 e 50m² e lado não superior a 8m; devem também ser executadas ao redor de outros elementos da construção; devem ser executadas nos três dias seguintes à execução do pavimento com uma largura de 3mm e profundidade entre 1/4 e 1/3 da espessura do pavimento;
- **Juntas de execução (de construção, ou de betonagem):** sempre que possível, deve-se executar uma betonagem contínua; quando tal não acontece, o Guia aconselha a colocação de uma armadura do tipo Malhasol CQ 30 com 1m de largura, para controlo da fendilhação.

4.3.2. STEEL FIBRE REINFORCED CONCRETE FOR INDUSTRIAL FLOORS, ESPECIALLY FLOORS WITHOUT JOINTS AND FLOORS ON PILES: A PRACTICAL GUIDE.

A ArcelorMittal é uma empresa que oferece uma vasta gama de produtos de aço. Com este Guia, a empresa relata algumas considerações a ter na pavimentação industrial corrente, pavimentos sem juntas e lajes assentes em estacas. Porém, no âmbito desta dissertação só se irá tratar de informação relativa à execução de pavimentos com juntas.

Em primeiro lugar, como a empresa se dedica também à produção de fibras, o Guia inicia com recomendações a ter sobre esta, indicando que deverá haver controlo na dosagem das fibras, propondo como dosagem mínima 20kg/m³, para controlo da retracção. Realça a necessidade de ancoragem das fibras na matriz, sendo necessário que estas sejam rugosas ou que a sua extremidade seja por exemplo em forma de gancho. Também a secção da fibra influencia a ancoragem, pelo que é preferível a secção circular, pois possui uma maior rigidez, afirmando que a fibra deve ser rija o suficiente, de modo que seja difícil se se tentar dobrá-la com os dois dedos e o polegar.

O diâmetro é outro factor a ter em conta, na qual o especificado pelo Guia é de 1mm, afirmando que fibras mais finas reduzem o *slump test* e dificultam a bombagem e o acabamento, o que torna necessária a adição de superplastificantes (antes da adição de fibras ao composto) de modo a facilitar a colocação do betão, provocando por conseguinte o aumento do risco de retracção. Além disso, as fibras com o diâmetro mencionado têm menos risco de emergir na superfície.

Outro aspecto mencionado pelo Guia, e que já foi exposto no Capítulo 2 relaciona-se com comprimento das fibras, indicando que este deve situar-se entre os 45 e os 60mm.

O quadro que se segue serve para demonstrar o quanto a dosagem de fibras interfere na trabalhabilidade do composto, característica preconizada pela realização do *slump test*. De notar que, neste exemplo, as fibras apresentam um diâmetro de 1mm e 50mm de comprimento.

Quadro 4.2 – Redução do *Slump*, em relação ao betão sem fibras, consoante dosagem de fibras (de 1mm de diâmetro e 50mm de comprimento)

Dosagem de fibra (kg/m ³ de betão)	20	25	30	35	40	45
Redução do <i>Slump</i> (mm)	20	25	35	50	60	75

O Guia propõe que a razão água/cimento seja de 0,50 a 0,55. No respeitante ao cimento utilizado, o Guia remete para o *Avis Technique* (parágrafo 4 do documento técnico) e afirma que a dosagem de ligante deve ser entre 300 e 350kg/m³, com a classe de CEM I, CEM III ou CEM II/A.

Uma informação muito importante que este documento nos deixa é o abaixamento, dado pelo *slump test*, afirmando que o abaixamento deverá ser na ordem dos 50mm antes da adição de fibras e de superplastificantes.

No referente à adição de fibras à mistura, esta pode ser feita na central de betão, no camião-betoneira ou no local de aplicação. Independentemente da técnica utilizada, o fornecimento de energia de compactação adequada é essencial para misturar as fibras de forma uniforme, de modo a evitar a formação de «ouriços». O Guia distingue dois tipos de ouriços, os *dry balls*, que em geral ocorre quando as fibras são adicionadas na auto-betoneira em grandes porções o que não propicia a sua correcta mistura. As *wet balls* formam-se quando o BRF é misturado durante muito tempo ou muito rápido, ou ainda devido à dosagem excessiva de fibras com pequeno diâmetro.

Outras considerações propostas pelo Guia apontam para a adição de fibras de 30 a 40kg/min e devem ser espalhadas pelos tapetes transportadores e não amontoadas. A rotação do tambor da betoneira deve estar entre 12 e 15 rpm, contudo deve atingir-se a velocidade máxima nos primeiros minutos (8 a 12) logo após a adição das fibras.

O Guia incita a conferir se a dosagem de fibras a adicionar é a requerida anteriormente, recorrer a pessoal qualificado e executar os trabalhos conforme for pré-estabelecido.

O Guia também propõe medidas a serem tomadas pelo empreiteiro, de modo a garantir uma adequada execução dos pavimentos.

Assim, antes de chegar ao local da obra, o empreiteiro deve tomar conhecimento:

- Quem é o projectista;
- Especificações do projecto, nomeadamente de estudos feitos ao solo, cargas previstas, tolerâncias, tipo de pavimento e tipo de juntas a executar;
- Cálculos que levaram à determinação da espessura, tipo e dosagem das fibras e espaçamento entre juntas;
- Desenhos de pormenor mais actuais, já aprovados e tendo em atenção toda a informação contida nesses mesmos desenhos.

No local, o empreiteiro deve:

- Verificar a estabilidade do solo face ao tráfego de maquinaria a que vai estar sujeito;
- Certificar que a sub-base está húmida (e não ensopada);
- Garantir a colocação de camadas de dessolidarização de modo a permitir a movimentação da camada de betão subjacente;
- Realizar todos os pormenores construtivos em torno das caixas de visita e portas; posicionar a armadura complementar bem como todos os elementos que fazem parte das juntas de isolamento e de construção;
- Respeitar a espessura da camada de betão quando da betonagem;
- Garantir uma secagem uniforme da camada de betão;
- O BRF deve ser fresco, não tendo mais que 1 hora desde que é misturado na central, e a temperatura máxima no local deve rondar os 25°C;
- Na chegada ao local deve-se fazer o *slump test*, cuja tolerância face ao abaixamento previsto seja $\pm 25\text{mm}$ e caso não atinja o valor previsto devem ser utilizados superplastificantes;
- Caso a betonagem seja feita por bombagem, a mangueira não deve reduzir a sua secção ao longo de todo o seu comprimento, e o seu diâmetro deve ser no mínimo 125mm.

Na realização do acabamento:

- Depois de atingida a espessura, deve-se proceder ao talochamento da superfície;
- Todas as extremidades devem ser acabadas manualmente e em primeiro lugar, pois o betão seca mais depressa nesses locais;
- Prossegue-se com a cura do betão;
- Para serragem das juntas, deve-se garantir que o betão é capaz de resistir ao corte, o que ocorre geralmente 4 a 12 horas depois do início do endurecimento do betão.

O Guia recomenda registos e testes a realizar no local:

- Descrição do local e particularidades sobre a sub-base antes e durante o lançamento do betão;
- Condições meteorológicas;
- Horas de início e fim do lançamento do betão bem como número de pessoal a realizar as tarefas de lançamento e acabamento e ainda dados relativos ao fornecimento de betão durante a betonagem;
- Hora de início e fim das operações de cura;
- Todas as anomalias durante a betonagem devem ser registadas;
- Um dos testes que têm de ser feitos é o *slump test* (segundo as especificações do NP EN 12350-2) fazendo a correspondência do betão ensaiado com as características do lote e data de entrega do mesmo; outro teste indispensável é a determinação da dosagem de fibras: devem-se recolher 3 amostras de 10 litros retiradas ao 1/4 inicial, meio e 1/4 final do lançamento do betão, e «lava-se» o composto de modo a ficarem só as fibras, que deverão ser pesadas. Ao multiplicar o peso por 100, obtém-se a dosagem/m³;
- Outro teste que poderá ter interesse é a pesagem do betão, que deverá atingir o valor mínimo de 23,5 kN/m³; betões mais leves possuem uma razão água/cimento maior, o que poderá traduzir-se numa maior facilidade da ocorrência da retracção; deve-se ainda determinar a compactação que deverá ter a sub-base.

O Guia expõe ainda o fenómeno da retracção do betão, advertindo que as fibras não evitam o fenómeno, mas ajudam no seu controlo. Explica que a retracção é função de todos os componentes da

matriz e é afectada pelas características de cada componente, pela quantidade de água libertada e pelas pressões exercidas sobre o piso, durante a sua vida útil.

Como medidas de prevenção relativas à retracção, deve-se proteger o betão das condições atmosféricas que conduzam ao arrefecimento rápido do mesmo, protegendo-o de fortes correntes de ar, criar medidas que não restrinjam o movimento da camada, recorrer a métodos que auxiliem a cura do betão e adicionar fibras ao betão numa dosagem superior a 30kg/m^3 .

O fenómeno «curling» já explorado no Capítulo 2 pode ser atenuado, segundo o Guia, ao dosear as fibras numa taxa superior a 30kg/m^3 e ao controlar o espaçamento das juntas, limitando-o a 6m e limitando a profundidade do corte a 1/4 da espessura da camada de betão.

4.4. REGRAS DE BOA PRÁTICA: SITES TÉCNICOS SOBRE A CONSTRUÇÃO

De seguida, procurou-se reunir informações contidas em sites técnicos, produzidas por profissionais qualificados da área que, com base na investigação e na sua experiência profissional, facultaram acções de boa prática, e posteriormente compará-las às instruções fornecidas pelos fabricantes, descritas anteriormente.

São registados de seguida três sites técnicos focados nas diversas vertentes da engenharia civil, que dispõem de informação aplicável à solução em estudo. O primeiro site é português, mostra-se bastante abrangente, possuindo um artigo referente ao betão com fibras com indicações sobre os modos de rotura das fibras bem como as particularidades desejáveis do tipo de betão estudado.

O site seguinte também alerta para uma série de medidas a considerar na composição do betão e na execução dos pavimentos, através de um artigo referente a pavimentos realizados em betão com fibras.

Por fim, o último site referido adverte para vários aspectos a ter em conta na escolha das fibras e no processo de execução, indicando o modo como as fibras devem ser introduzidas na betoneira, referindo ainda a problemática do aparecimento de fibras à superfície do betão.

4.4.1. ENGENHARIACIVIL.COM

Trata-se de um site português bastante completo que abrange as várias especialidades da engenharia civil, indicando para cada uma das áreas software aplicável, explicando como funciona e possuindo uma versão de experimentação do mesmo. Contém ainda um fórum, notícias, vídeos e diversos artigos, na qual um deles é precisamente o estudo do betão reforçado com fibras.

Expõe os vários tipos de fibras mas ressalva que as de aço e as de vidro são as que possuem maior aplicabilidade, quer pelo «reforço que proporcionam, quer pelo seu preço e durabilidade», sendo o aumento da ductilidade, a capacidade de absorção de energia, o controlo da fendilhação, a fadiga e o impacto e ainda a resistência às acções dinâmicas as faculdades mais importantes proporcionadas pelas fibras.

As fibras podem apresentar dois modos de rotura: por cedência ou deslizamento relativamente à matriz circundante. Contudo, é favorável que a rotura se dê por cedência das fibras, devendo-se assim empregar fibras com elevada resistência e esbelteza. Porém, os métodos convencionais de amassadura, se não se adequar a composição do compósito, afectam a trabalhabilidade da mistura. A estes factos junta-se a necessidade de rotura das fibras por deslizamento durante a fendilhação da matriz, sob pena de não se conseguir o aumento da absorção de energia pretendido. Deste modo, a esbelteza deve ser limitada a 100 e a percentagem das fibras de aço não deve exceder os 3% do betão em massa.

A fabricação e aplicação do BRF são similares ao betão sem reforço, com algumas nuances. É necessário impedir a segregação das fibras durante a fase de amassadura de modo a se atingir a resistência pretendida. Esta relaciona-se com a esbelteza e percentagem das fibras, tamanho e percentagem dos inertes, composição granulométrica, razão água/cimento e o método de amassadura. Para aumentar a percentagem de fibras sem que a trabalhabilidade seja prejudicada deverá garantir-se uma granulometria mais fina, fibras de maior rigidez e menor esbelteza.

O site garante que se pode recorrer a qualquer ensaio convencional para determinar a trabalhabilidade, mas que o *slump test* só deve ser aplicado a misturas cujo abaixamento seja superior a 5cm, embora afirme que ensaios que meçam o tempo de fluidez da mistura sob vibração, como o ensaio do cone invertido, são os mais adequados para o BRF, sendo aplicáveis a misturas com um *slump* inferior a 10cm.

4.4.2. REVISTA TÉCHNE

Trata-se de uma revista brasileira dedicada à engenharia civil, também disponível on-line, em que alguns temas relativos a certas edições são de acesso livre, como é o caso do «Piso industrial de concreto reforçado com fibras de aço».

A revista relata que são várias as características das fibras que influem no comportamento do composto, tais como a dosagem, a compatibilidade dimensional entre o agregado grosso e o comprimento das mesmas, forma geométrica, entre outros, apresentando, posteriormente, um conjunto de recomendações a considerar na composição no betão, de modo que o desempenho do composto seja o adequado:

- Compatibilidade dimensional das fibras com os agregados grosso, em que o comprimento da fibra deve ser no máximo o dobro do comprimento da dimensão máxima do agregado:
 $L_{\text{fibra}} > 2 \times L_{\text{agregado}}$;
- Razão água/cimento menor que 0,55, recomendando-se o uso de plastificantes sempre que a trabalhabilidade assim o requeira;
- Recomenda-se um abaixamento verificado no *slump test* de 12cm, com as fibras já incorporadas;
- Recomenda-se uma percentagem de água, cimento e areia (argamassa) entre os 50 e os 54% do betão, de modo a cobrir as fibras e os agregados;
- O comprimento limite das fibras deverá ser 60mm, indicando também que quanto maior a relação L/d melhor será o desempenho das fibras no composto;
- Dosagem de fibras geralmente encontra-se entre os 15 e os 40 kg/m³.

Quanto à execução dos pisos, a revista indica que é praticamente igual aos métodos convencionais, contudo dá informações acerca da adição de fibras ao betão. Esta deve ser incorporada ao composto numa velocidade de 20 kg/min, sendo as fibras o último componente a incorporar na mistura.

Realça a utilidade dos doseadores automáticos de fibras para obras de grande envergadura, devido ao grande aumento de eficiência e produtividade que proporcionam.

Como últimas precauções, lembra o possível aparecimento das fibras à superfície do betão, o que apesar de não ter repercussões a nível estrutural, é necessário evitar pelo ponto de vista estético, tendo em atenção o traço, a qualidade de equipamentos e a introdução de endurecedores de superfície que previnem o seu aparecimento.

4.4.3. PORTAL PISOS INDUSTRIAIS

Tal como a anterior, estamos perante uma revista brasileira cujo site é vocacionado para a realização de pavimentos industriais «feita pelo mercado e para o mercado e tem como meta ser a porta-voz do sector de pisos industriais». A revista tem por base artigos técnicos «elaborados por respeitáveis profissionais da área» para que se adoptem regras de qualidade na produção e fabricação e para que se divulguem as novas tecnologias no âmbito dos pavimentos industriais.

Na área da pavimentação industrial, o site é bastante completo, fornecendo informações desde as juntas, à aplicação do RAD, às directrizes de execução e controle da produção de pisos industriais de betão pré-esforçado, entre outros temas.

O artigo técnico referente à adição de fibras metálicas para reforço do betão apresenta as formas de produção das fibras de aço, as suas características e as principais recomendações durante a execução de piso com adição de fibras.

Assim, as fibras de aço podem ser produzidas a partir da sobra da produção de lã de aço, a partir de corte de chapas de aço ou a partir de arame trefilado. A primeira é a mais económica mas também a que apresenta um desempenho inferior das três. A segunda tem secção rectangular e a extremidade em forma de gancho. A última apresenta o melhor desempenho das três, podendo as fibras serem totalmente onduladas ou com a extremidade em forma de gancho e possuem grandes resistências.

O site, tal como a revista anterior, refere que o comprimento da fibra dever ser no máximo o dobro da dimensão máxima do agregado pois, ao fazer esta limitação, verifica-se o alinhamento da fibra em relação à fissura, uma vez que a inclinação destas influencia o comportamento do composto.

Quanto à adição de fibras ao composto, o site recomenda que esta operação seja efectuada na central de betão, pois o tempo de mistura é sempre prolongado. Adverte para uma junção cuidada das fibras ao composto para evitar a formação de «ouriços», pois uma vez formados, não se conseguem desagregar. O risco da formação de «ouriços» cresce com o factor de forma. Para evitar tal acontecimento pode-se adicionar as fibras ao composto sob forma de plaquetas em que a cola que as junta é dissolvida em contacto com a água de amassadura e permite uma dispersão mais homogénea das fibras, conforme já enunciado no Capítulo 2.

As fibras também podem ser o último componente a adicionar ao composto, devendo ser adicionadas, vertendo no máximo dois sacos por minuto e misturando pelo menos durante cinco minutos após a introdução da quantidade total de fibras na auto-betoneira.

O site afirma também que os equipamentos utilizados para a mistura do betão corrente garantem também uma boa mistura do BRF, desde que em bom estado.

Tal como no site anterior, é abordada outra problemática relacionada com o BRF que é o afloramento das fibras à superfície do pavimento após o talochamento mecânico. Mais uma vez, é indicado que esse facto não compromete estruturalmente o pavimento, que é meramente uma questão estética, uma vez que, em geral, as fibras «à vista» estas não são capazes de perfurar os pneus da maquinaria industrial e, quanto à sua corrosão, não provocam o destacamento do recobrimento devido ao seu diâmetro, somente apresentando pequenos pontos de ferrugem.

A aspersão de agregados no pavimento resolve esta questão, contudo indica-se que este procedimento só deve ser efectuado caso se pretenda aumentar a resistência à abrasão do pavimento e não para evitar o fenómeno acima descrito.

Tendo em conta a informação fornecida pelos fabricantes e pelos sites técnicos anteriormente descritos, efectou-se uma síntese das recomendações mais importantes, de modo a facilitar a consulta

de todas essas regras de qualidade, destacando os pontos fundamentais dessas regras no Quadro seguinte (Quadro 4.3):

Quadro 4.3 – Síntese das principais regras de qualidade a considerar no BRFA

Síntese de recomendações relativas ao BRFA:	
Comprimento das fibras	45 a 60mm;
Esbelteza das fibras	quanto mais melhor, mas limitada a 100;
Dosagem de fibras	de 20 a 40 kg/m ³ de betão, aconselhando-se 30 kg/m ³ de modo a atenuar o fenómeno de <i>curling</i> e de retracção;
Adição de fibras à betoneira	20 kg/min (segundo a Revista <i>Téchne</i>);
	30 a 40 kg/min com o auxílio de tapetes transportadores (segundo o <i>Practical Guide</i> da ArcelorMittal)
	a rotação do tambor deve ser entre 12 e 15 rpm, atingindo a velocidade máxima nos primeiros minutos;
Dosagem de ligante	300 a 350 kg cimento/m ³ de betão; cimento CEM tipo I (segundo o Guia Técnico de aplicação do SIB), ou, além do tipo I, o tipo II e II A (segundo o <i>Practical Guide</i> da ArcelorMittal);
<i>Slump</i>	12 cm (betão já com fibras). Deve assumir um valor mínimo de 5cm antes da adição de fibras e superplastificantes;
Juntas	painéis de preferência quadrados (A= 30 a 50m ² e lado ≤ 8m);
	RETRACÇÃO: executados nos três dias seguintes à execução do pavimento (4-12 horas após o endurecimento);
	largura de 3mm;
	profundidade de 1/3 da espessura do pavimento;
	CONSTRUÇÃO: aconselha-se a aplicação de Malhasol CQ 30 com largura de 1m para controlo da fendilhação.

4.5. FICHA DE INSPECÇÃO E ENSAIO

Entende-se por fiscalização um conjunto de acções que garantam que determinada obra específica é realizada de acordo com o projecto de execução, visando obter a total satisfação por parte do cliente. Tendo em conta a obtenção desta satisfação, achou-se imprescindível a criação de um documento de síntese das regras da qualidade aplicáveis a este trabalho, que seja de fácil compreensão por parte de quem o utiliza e que seja capaz de alertar o técnico responsável pela fiscalização para as situações que necessitem de um maior cuidado na realização das tarefas (tipo auxiliar de memória).

Com base nos cuidados a ter na execução dos pavimentos industriais, propôs-se assim uma Ficha de Inspeção e Ensaio inédita aplicável à execução de pavimentos industriais executados com BRFA (ver Quadro 4.4).

Como foi referido, tais anomalias podem vir a prejudicar o normal funcionamento das indústrias e podem resultar em onerosas operações de reparação do pavimento, pelo que se deve tanto quanto possível acompanhar todas as fases da obra de modo a se obter uma solução que promova a durabilidade do mesmo.

A Ficha organiza os vários procedimentos a seguir e os aspectos a ter em conta na execução dos mesmos bem como a ordem das tarefas a serem executadas, indicando ainda o tipo de controlo que está a ser efectuado (geométrico ou tecnológico), bem como o estado do betão para efectuar os devidos controlos na fase de acabamento. Também, relativamente a cada tarefa, consegue-se verificar quais os valores a ter necessidade de pesquisar no Caderno de Encargos.

A Ficha define ainda o «critério de aceitação» e reserva locais para identificação e assinatura do técnico envolvido na verificação dos resultados de dadas acções de inspecção.

Adverte-se para o facto de todas as etapas deverem ser datadas pois permite perceber qual a tarefa que originou um maior atraso o que é importante para se perceber, por exemplo, o ritmo de betonagem, de modo a auxiliar a detecção da causa de uma presa não uniforme.

Ao assinalar «Aprovado» ou «Não Aprovado» fica um registo do supervisor relativo a uma dada tarefa, com a sua respectiva assinatura.

Na parte final da ficha, encontra-se um campo de registos na qual se pode anotar, no caso da não-aceitação, o que levou a tal. Podem-se ainda descrever as condições atmosféricas no decorrer das actividades, o número de pessoal na realização das tarefas, resultados de ensaios tal como o *slump test* e todas as actividades/anomalias no decorrer da execução do pavimento, conforme a indicação do Guia Prático (descrito em 4.3.2.).

Quadro 4.4 – Proposta de Ficha de Inspecção e Ensaio de pavimentos industriais

FICHA DE INSPECÇÃO E ENSAIO			PAVIMENTOS INDUSTRIAIS				
Encomenda	_____	Designação	_____				
Dono Obra	_____	Adjudicatário	_____				
Controlo de conformidade	_____						
referente a	Controlo de qualidade na execução de pavimentos industriais						
localização:	Inspeção	Critério de aceitação	registo				
			datas		resultado		ass.
			início	fim	A	NA	
Localização do pavimento em obra:							
1	Recepção de materiais						
1.1.	SUB-BASE						
1.1.1.	Se granular, dispõe de granulometria correcta.	CE	SIM/NÃO				
1.1.2.	Se tratada, mistura correcta.	CE	SIM/NÃO				
1.2.	CAMADA DE DESSOLIDARIZAÇÃO						
1.2.1	Conformidade com projecto.	CE	SIM/NÃO				
1.3.	BETÃO						
1.3.1.	Conformidade com projecto.	CE	SIM/NÃO				
1.3.2.	Capacidade central adequada.	Cálculo	SIM/NÃO				
1.3.3.	Endurecedor de superfície conforme em projecto.	CE	SIM/NÃO				
1.3.4.	Auxiliadores de cura conforme em projecto.	CE	SIM/NÃO				
1.4.	FIBRAS PARA BETÃO						
1.4.1.	Quantidade conforme projecto.	Cálculo					
1.4.2.	Características conforme projecto.	CE					
1.5.	MATERIAL DE SELAGEM DE JUNTAS						
1.5.1.	Selantes conforme projecto.	CE	SIM/NÃO				

1.5.2.	Capacidade adequada à necessidade.	Cálculo	SIM/NÃO						
2	Execução da tarefa								
2.1.	PREPARAÇÃO DO SOLO								
	<i>Controlo geométrico</i>								
2.1.1.	Nivelamento adequado.	Visual	CONFORME REFERÊNCIAS E MARCOS						
2.1.2.	Espessura prevista.	Visual	CONFORME REFERÊNCIAS E MARCOS						
	<i>Controlo tecnológico</i>								
2.1.3.	Compactação.	CE	SIM/NÃO						
2.2.	SUB-BASE								
	<i>Controlo geométrico</i>								
2.2.2.	Nivelamento adequado.	Visual	CONFORME REFERÊNCIAS E MARCOS						
2.2.3.	Espessura prevista.	Visual	CONFORME REFERÊNCIAS E MARCOS						
	<i>Controlo tecnológico</i>								
2.2.4.	Compactação.	CE	SIM/NÃO						
2.3.	CAMADA DE DESSOLIDARIZAÇÃO								
2.3.1.	Não enrugada; não rasgada. Cobertura de toda a área.	Visual	SIM/NÃO						
2.4.	COFRAGENS								
2.4.1.	Conformidade com projecto.	Visual	SIM/NÃO						
2.4.2.	Alinhada, nivelada e devidamente fixada.	Visual	SIM/NÃO						
2.4.3.	Devidas aberturas para posicionamento armadura e outros elementos.	Visual	SIM/NÃO						
2.5.	POSIONAMENTO DA ARMADURA (SE EXISTIR)								
	<i>Controlo geométrico</i>								
2.5.1.	Posicionamento correcto dos ferrolhos.	CE	FERROLHOS: MEIA ALTURA DOS PAINÉIS, DISTÂNCIAS ENTRE ESTES E JUNTAS \geq 10mm.						
	<i>Controlo tecnológico</i>								
2.5.2.	Resistência à tracção armadura.	CE	SIM/NÃO						
2.6.	BETONAGEM								
2.6.1.	Betão com trabalhabilidade adequada.	CE	SIM/NÃO						
2.6.2.	Acessibilidade dos equipamentos ao local.	Visual	SIM/NÃO						
2.6.3.	Betonagem uniforme, sem interrupção.	Visual	SIM/NÃO						
2.6.4.	Velocidade betonagem de acordo com a de vibração e acabamento.	CE	SIM/NÃO						
2.6.5.	Compactação adequada.	CE	SIM/NÃO						

2.6.6.	Espessura prevista.	Visual	CONFORME REFERÊNCIAS E MARCOS						
2.7.	ACABAMENTO								
	<i>Betão em estado fresco</i>								
2.7.1.	Equipamentos adequados.	Visual	SIM/NÃO						
2.7.2.	Controlo exsudação.	Visual	SIM/NÃO						
	<i>Quando a presa</i>								
2.7.3.	Respeito pelo tempo de presa.	Visual	SIM/NÃO						
2.7.4.	Equipamentos adequados.	Visual	SIM/NÃO						
2.7.5.	Compactação superficial.	Visual	SIM/NÃO						
2.7.6.	Espalhamento uniforme do endurecedor de superfície.	Visual	SIM/NÃO						
2.8.	CURA								
2.8.1.	Espalhamento uniforme dos auxiliares de cura (cura química).	Visual	SIM/NÃO						
2.8.2.	Boa cobertura, no caso de cura húmida.	Visual	SIM/NÃO						
2.9.	JUNTAS								
2.9.1.	Tempo de espera para serragem das juntas.	Visual	QUANDO O BETÃO SUPORTA O PESO DAS MÁQUINAS E DO OPERADOR						
2.9.2.	Marcação dos locais de serragem conforme projecto.	Visual	SIM/NÃO						
2.9.3.	Desalinhamento máximo entre juntas.	Visual	≤10mm ao longo de 3m						
2.9.4.	Profundidade juntas igual em projecto.	Visual	Sim/Não com tolerância ± 5mm						
2.9.5.	Posicionamento do fundo de junta conforme projecto.	Visual	SIM/NÃO						
2.9.6.	Preparação para aplicação do selante.	Visual	SUPERFÍCIE LIMPA; BORDAS ISOLADAS COM FITAS						
Legenda: A - Aprovado; NA - Não Aprovado; CE - Caderno de Encargos									
Registos:									
Data:									
Verificado em: ____/____/____					Fiscalização: _____				

Pode-se afirmar que as Fichas de Controlo de Qualidade são ferramentas úteis para o Supervisor de Construção em Obra, pois permitem um registo quanto à realização de cada tarefa, permitindo o relato de acontecimentos que se considerarem relevantes para o devido controlo. Assim o responsável será capaz de relatar e expor os acontecimentos em obra, sempre que necessário, seja qual for a tarefa em causa.

5

ESTUDO DE CASO: AMPLIA O DA CONTINENTAL MABOR

5.1. INTRODU O

A autora teve a oportunidade de acompanhar um caso real de aplica o de betão com fibras na execu o de um pavimento industrial, no âmbito da amplia o da conhecida Continental Mabor. Com esta oportunidade pretende-se descrever o projecto e a execu o dos trabalhos realizados tentando perceber as suas especificidades, através da oportunidade concedida de cruzar o tema estudado numa perspectiva teórica com a perspectiva real adquirida através da visualiza o da execu o deste tipo de soluço.

Contudo   de realçar que foi facultado   autora a possibilidade de acompanhar a referida obra, desde a realiza o da sub-base até   serragem das juntas, porém numa escala reduzida, pois apenas faltava realizar uma pequena área de pavimento, comparativamente   totalidade da obra.

A obra consistia na realiza o de um pavilhão industrial anexo   actual fábrica da Continental Mabor situada em Lousado, pois a empresa pretende investir num novo projecto que passa pelo reforço da linha de produ o de pneus de alta performance.

A este caso aplicou-se a Ficha de Inspec o e Ensaio realizada no Capítulo 4, com base no que a autora teve oportunidade de presenciar na obra, de modo a aferir a aplicabilidade da Ficha de uma forma interactiva.

5.2. A EMPRESA CONTINENTAL MABOR

A empresa em estudo integra o Grupo alemão Continental, actualmente um grande fornecedor mundial na indústria automóvel, cujo know-how abrange as tecnologias de pneus e travões, bem como controlo da dinâmica dos veículos, sistemas electrónicos e sensores.

O grupo deu os primeiros passos em Han ver, na Alemanha em 1871 com o nome de Continental-Caoutchouc-und Gutta-Percha Compagnie, já como sociedade an nima. Os seus produtos envolviam a borracha macia, tecidos com borracha, pneus maciços para carruagens e bicicletas (www.contionline.com).

A evolu o desta empresa foi notável, tendo-se registado, por exemplo, vitórias de carros de competi o que utilizavam pneus da Continental e inova es como o uso do carbono negro, reforçando a resistência ao desgaste e ao envelhecimento do pneu. Mais tarde   introduzida a borracha s ntica no fabrico dos pneus e inova es em pneus convencionais de Inverno. Em 1955   a primeira

empresa alemã a produzir pneus sem câmara. Ganhou prémios, inaugurou fábricas em vários pontos do mundo. Recentemente, é lançado no mercado o pneu de Verão de alto desempenho, projectado especialmente para carros desportivos e tuning (www.contionline.com).

«Além da Mabor, o grupo alemão (que facturou 25,5 mil milhões de euros em 2010 e emprega 149 mil pessoas) controla em Portugal outras unidades: a Continental Pneus, a ITA - Indústria Têxtil do Ave, a Lemmerz e a Teves» (www.cciap.pt).

A Continental Mabor, uma empresa da subsidiária portuguesa do grupo alemão Continental, apresenta-se como uma «gigante mundial na produção de pneus» (www.cciap.pt).

A empresa é uma das mais importantes exportadoras portuguesas, que obteve uma facturação no ano de 2010 de 597M €, superando em 21% o ano precedente. Também o número de trabalhadores cresceu em 39 pessoas face ao ano anterior, totalizando 1.533 colaboradores (www.afia.pt).

Venderam-se 15 milhões de pneus nesse ano, para mais de 3 dezenas de mercados externos. E isto apesar do «incêndio que afectou um dos alugados armazéns de matérias-primas da fábrica no passado Verão, e da duplicação do preço da matéria-prima (a borracha), que representa cerca de «60% dos custos de produção» admitiu o presidente da Continental Mabor (www.cciap.pt).

Com previsões de crescimento em 2011 de 5% e esperando contratar cerca de 50/60 pessoas, a empresa pretende investir num projecto que custará «algumas dezenas de milhões de euros» (www.afia.pt). Como havia sido dito anteriormente, o objectivo de tal investimento trata-se do reforço da linha de produção de pneus de alta performance, estimando-se um grande investimento (www.cciap.pt).

Para realizar a ampliação foi necessária a aquisição dos terrenos circundantes, pertencentes à antiga indústria de borracha Tribor, falida em 2000, passando a Continental Mabor a ocupar uma área total de 35 200 m² (www.cciap.pt).

5.3. DESCRIÇÃO DA OBRA

Conforme atrás referido, acompanhou-se uma pequena fatia da obra na qual foram facultadas peças desenhadas do pavilhão industrial. Trata-se de um pavimento têrreo de um pavilhão anexo à fábrica, na qual se pode visualizar a planta do local na Fig.5.2.

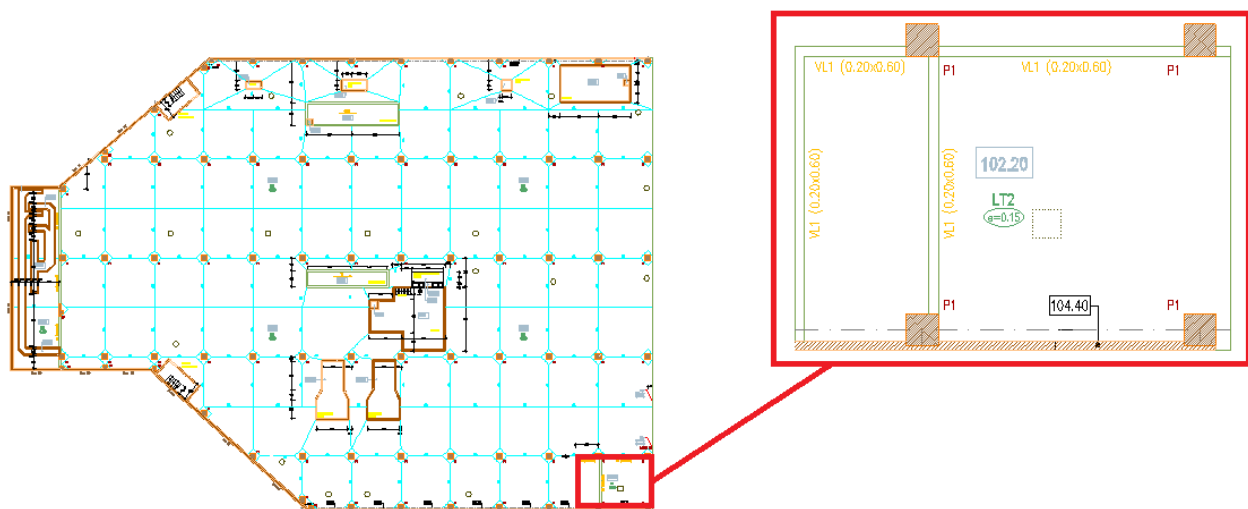


Fig.5.1 – Planta do pavimento têrreo: A vermelho, o local com a solução LT2; o restante recorre à solução LT1.

Os painéis derivados da execução de juntas serradas (a azul) têm dimensões de 6,24x6,00m, tendo a planta apresentada uma área de aproximadamente 3 557m².

Através da análise da planta e cortes, verifica-se a existência de duas zonas de actuação cujo dimensionamento demonstrou diferenças em termos de solução construtiva. Uma delas corresponde ao pavimento térreo LT1, que integra a maior parte do pavimento e é mais exigente em termos de resistência. Esta solução apresenta duas fiadas de rede electrossoldada, em que cada fiada apresenta uma malha quadrada com varões de 12cm de diâmetro que estão afastados entre si 15cm.

Importa também mencionar que, apesar de os dois tipos de pavimentos apresentarem soluções diferentes, a espessura total de ambos é a mesma, como se pode constatar na Fig.5.1. Não obstante e como foi mencionado, a solução LT1 apresenta uma maior resistência uma vez que a camada de betão que a compõe é maior relativamente à LT2.

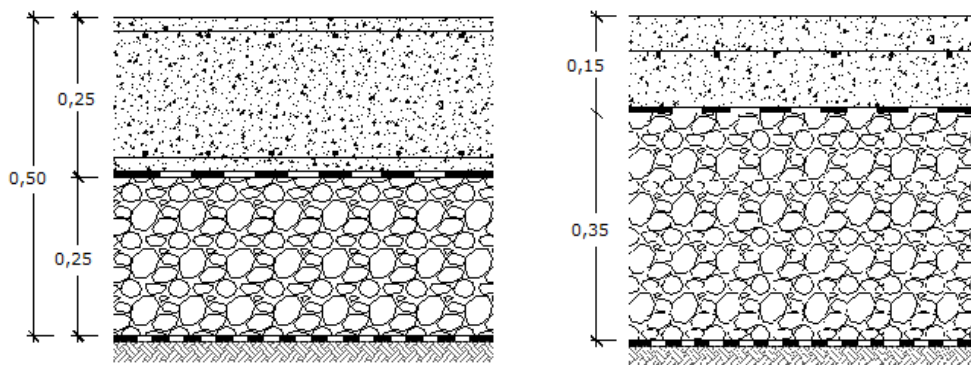


Fig.5.2 – Esquerda: Pavimento LT1; Direita: Pavimento LT2.

A solução LT1 foi aplicada na zona onde decorrerá a actividade produtiva da empresa pelo que é a zona mais sujeita a desgaste e abrasão, tendo de garantir que as actividades que se desenvolvem sobre o pavimento decorram de forma adequada, permitindo boas condições de rolamento dos equipamentos.

De referir que a zona mais à esquerda na figura que se segue é um passadiço metálico, sob o qual se encontra um posto de transformação.

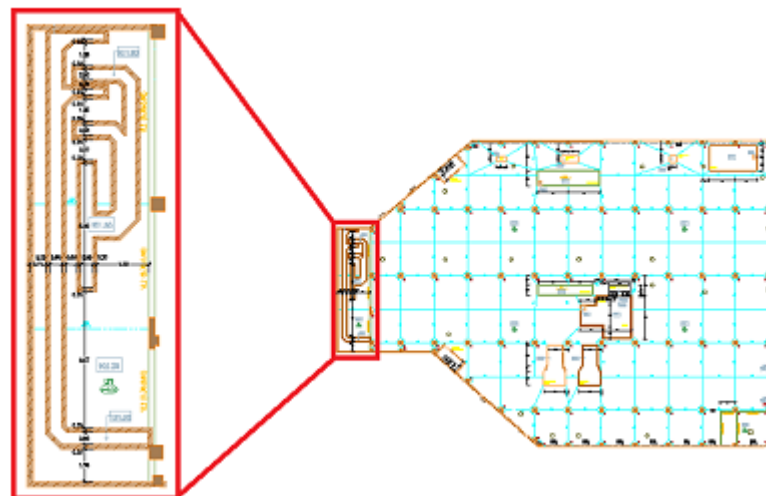


Fig.5.3 – Zona de passadiço metálico destinado a um posto de transformação. Também recorre à solução LT1.

5.4. COMPONENTES DO SISTEMA CONSTRUTIVO: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Para ampliação da indústria de pneus, a solução final proposta pelo empreiteiro para realização do pavimento foi precisamente o objecto de estudo da presente dissertação: a incorporação de fibras de aço no betão.

A execução deste pavimento teve em particular atenção o fenómeno da fendilhação. Assim, optou-se por inserir no betão, além da camada de rede electrossoldada, fibras de aço.

O dimensionamento do piso foi feito com base no EC2 nas quais as características respeitantes ao betão utilizado foram discriminadas em classe de resistência, classe de exposição ambiental, recobrimento nominal e classe de teor de cloretos.

5.4.1. SOLO

Numa primeira fase, como já foi abordado no Capítulo 2, é necessário conhecer a capacidade resistente do solo e a agressividade do meio como ponto de partida para o dimensionamento do pavimento.

Neste caso, o solo foi devidamente compactado, até atingir 95% do Proctor Modificado e nivelado o melhor possível, preparando-o assim para receber as camadas superiores, tornando-o menos compressível, havendo menos probabilidade de ocorrerem assentamentos.

Para adquirir uma maior resistência optou-se pela colocação de uma camada de reforço entre o solo compactado e a sub-base, que confere ao solo um bom acréscimo de resistência mecânica, garantindo a capacidade de transmissão de esforços graças ao atrito entre esta e o solo.

O geotêxtil utilizado nesta obra em particular foi do tipo Roc Pec 55/50F de marca Bidim, possuindo uma resistência à tracção de 58 KN/m de acordo com a norma EN ISO 10319. Trata-se de um geotêxtil não tecido, de filamentos contínuos 100% poliéster, sintético, imputrescível e vendido em rolos de 5,3 m de largura por 100 m de comprimento (Catálogo Bidim).

A sua estrutura é bastante permeável (compatível com a de uma areia média/grossa) e porosa, permitindo a circulação da água nos dois sentidos. Impede, ainda, que materiais de diferentes granulometrias se misturem, funcionando como um filtro ao reter as partículas (Catálogo Bidim).



Fig.5.4 – Rolo de geotêxtil (<http://www.equipededeobra.com.br/construcao-reforma/22/imprime129440.asp>).

5.4.2. SUB-BASE

A sub-base é constituída por material granular, britado, de granulometria aberta de modo a proporcionar um rápido escoamento da água. O material é comercialmente denominado brita 25/40, cuja nomenclatura técnica de acordo com a norma EN 13242 é brita 20/32, «designação dada ao agregado em termos das aberturas do peneiro inferior (d) e do superior (D), expressa como d/D» em milímetros (Coutinho, 2010-2011). Admite algumas tolerâncias de partículas retidas no peneiro superior e outras que passam no peneiro inferior, valor escolhido pelo projectista cuja terminologia é dada por $G_c D/d$ (em que G é um símbolo de granulometria e o índice «c» símbolo de *coarse*, ou seja, grosso), a título exemplificativo, $G_c 90/20$ (90% do material tem de ficar retido no peneiro de maior dimensão estabelecida (D) e até 20% pode passar no peneiro menor (d)). Neste caso verifica-se que os peneiros são consecutivos, sendo a granulometria da brita praticamente homogénea.

Como já foi abordado, a espessura da camada de sub-base é diferente nas duas soluções, apresentando a camada mais resistente LT1, uma espessura de 25cm e a LT2 uma espessura de 35cm. O projectista recorreu a esta opção por haver menos exigências em termos de resistência nesta última e assim, ao diminuir a resistência onde esta não era exigida, houve uma poupança em termos de custos, garantindo de igual modo que o pavimento apresenta as características mecânicas necessárias.

5.4.3. LÂMINA DE NÓDULOS

No caso de estudo, a camada que se segue é definida por uma lâmina de nódulos do tipo Delta-MS 20 da Bettor. A membrana é feita de polietileno de alta densidade, material imputrescível, não tóxico e não poluente, e é comercializado em rolos de 20m x 2m. As saliências desta lâmina possuem uma espessura de 20mm e apresentam-se como uma camada de elevada drenagem. É um sistema que pode ser disposto tanto na horizontal como na vertical, e é corrente a sua utilização em aplicações subterrâneas pois permite uma constante drenagem das águas. Colocado na horizontal tem também a capacidade de drenar as águas que ascendem por capilaridade (www.cosella-dorken.com).

Contudo, neste caso, a função desta camada é apenas de dessolidarização entre as camadas adjacentes: a sub-base e a camada de betão. Assim, é permitida a movimentação destas camadas o que evita o aparecimento de esforços internos que podem conduzir à fissuração.

A resistência à compressão é de 150 KN/m^2 , com capacidade de resistência à uma amplitude térmica entre -30°C a $+80^\circ\text{C}$. A durabilidade esperada deste material é superior a 25 anos, quando não exposto a radiação UV por períodos maiores que 30 dias (com pH entre 4 e 9 e temperatura abaixo dos 25°C) (Catálogo Lâmina de nódulos Delta-MS 20).

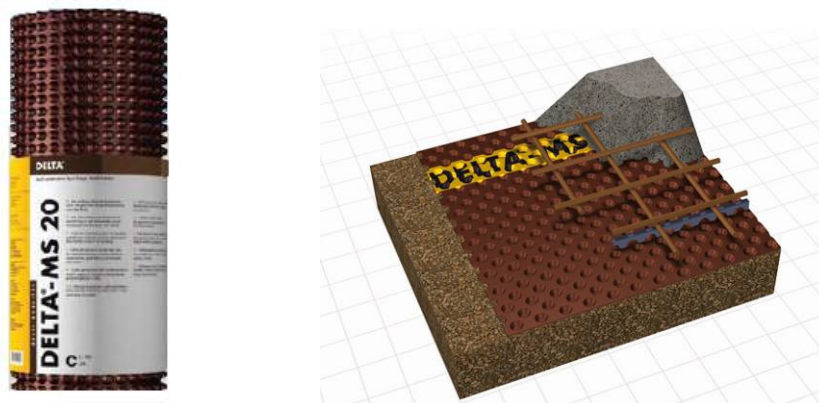


Fig.5.5 – Lâmina de nódulos Delta-MS 20 (www.cosella-dorken.com).

5.4.4. BETÃO

Esta camada deve de ser criteriosamente estudada de modo a ser capaz de resistir aos esforços impostos pelas actividades desenvolvidas sobre o pavimento, e ser capaz de transmitir essas cargas ao solo.

Além da classe resistente do betão, que neste caso é C30/37, outras opções podem conduzir a um incremento da capacidade resistente, por exemplo, através de reforços nesta camada, como é o caso.

Como carregamentos estáticos consideraram-se cargas pontuais e uniformemente distribuídas, não tendo sido estudadas cargas lineares.

A carga uniformemente distribuída tomou o valor de 8,5 ton/m². Quanto às cargas pontuais, por falta de dados, o dimensionamento fez-se pelo lado da segurança em vários aspectos: considerou-se uma carga de 60 KN, numa área mínima de contacto – 2500 mm² – e cuja distância entre duas cargas pontuais seria mínima também – 817 mm. Além disso o factor de segurança adoptado foi 1,2. A resistência necessária, assim, é de 144 KN. Após o dimensionamento da peça verificou-se que, tanto no centro da laje como no bordo, esse valor foi cumprido.

Como cargas móveis, para efeitos de cálculo, previram-se cargas rolantes com 11 toneladas em cada roda, com um total de 10 rodas e uma área de contacto de 220x100 mm por roda, culminando numa capacidade de carga necessária de 176 KN, valor cumprido quer na zona de junta quer na de betão.

O dimensionamento teve como base o Euro Código 2, utilizando os factores de segurança abaixo apresentados.

Quadro 5.1 – Factores de segurança: dados para dimensionamento

	Factores de Segurança
Cargas estáticas	1,2
Cargas dinâmicas	1,6
Betão puro e BRFA	1,5
Cargas variáveis	1,5
Factores de segurança parciais	1

Quanto à tecnologia do sistema construtivo, na zona LT 1 optou-se por utilizar duas camadas de rede electrossoldada, para reforço estrutural do betão. Assim, a rede disposta na camada superior bem como as fibras de aço foram utilizadas para controlo da fendilhação, por outro lado, a camada inferior tem a função resistir aos esforços de tracção. A espessura da camada de betão é de 250mm, como se pode observar na Fig.5.6.

Na zona LT2 a espessura da camada de betão é de 150mm, e são de igual forma incorporadas nesta camada fibras de aço, para um melhor controlo da fendilhação. Além desse reforço, utiliza uma rede electrossoldada sensivelmente na parte central da camada de betão.

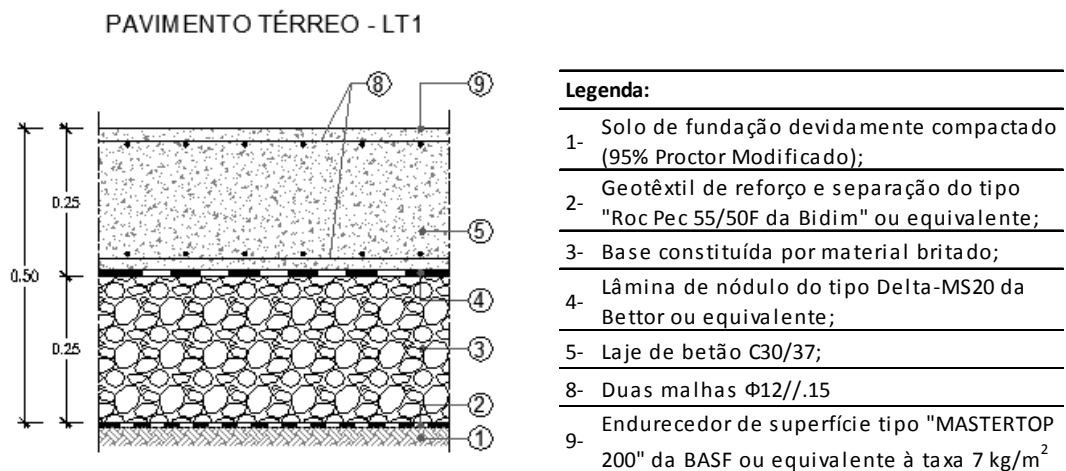


Fig.5.6 – Corte tipo: Pavimento têrreo LT1.

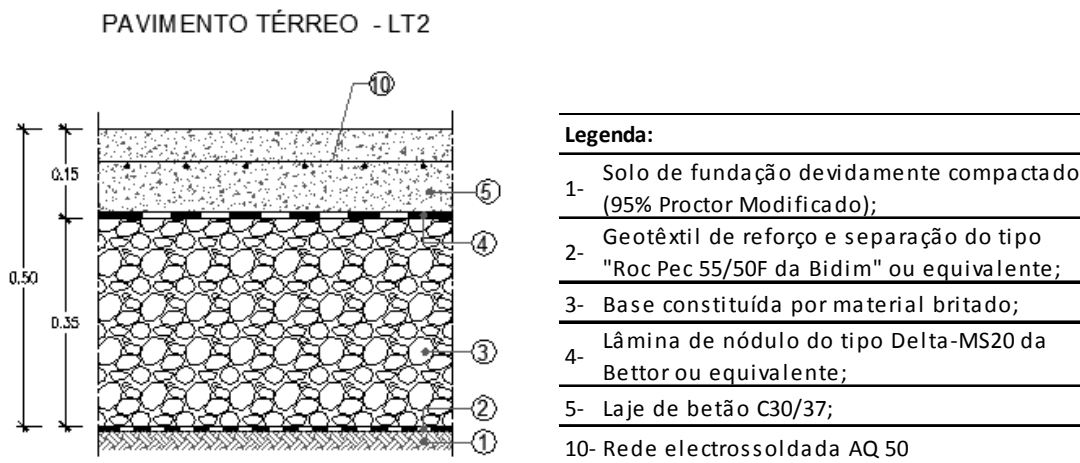


Fig.5.7 – Corte tipo: Pavimento têrreo LT2.

5.4.5. ACABAMENTO SUPERFICIAL

O acabamento superficial permite conferir características ao pavimento que promovam a sua durabilidade, através da melhoria de resistência ao desgaste e à abrasão.

Neste caso específico, o betão teve um acabamento superficial com um endurecedor de superfície «do tipo MASTERTOP® 200», especificado em projecto (Catálogo Endurecedor de superfície MASTERTOP 200). Trata-se de um endurecedor de superfície à base de agregados metálicos capaz de dotar a superfície do pavimento de determinadas peculiaridades, conferindo uma compactação superficial, retirando imperfeições, reduzindo a rugosidade e tornando assim o pavimento mais impermeável. Deste modo, a sua resistência face à penetração de líquidos é aumentada, facilitando a limpeza e o rolamento das máquinas, e ainda incrementando a resistência à abrasão.

Além destas características é possível incorporar pigmentos de cor ao material, permitindo assim obter pavimentos de diferentes cores.

Para dotar a superfície das características esperadas, foi aplicado um valor médio de endurecedor de 7 kg/m^2 .

5.4.6. JUNTAS

As juntas são extremamente importantes para o bom desempenho do pavimento. A criação de juntas permite o movimento das placas de betão de modo a evitar que, ao impedir tais movimentos, ocorra a fissuração do betão promovendo o seu desgaste e diminuindo a sua resistência. Tal papel é desempenhado pelas juntas de dessolidarização (ou de isolamento). As juntas podem ainda servir para o controlo da fendilhação como as juntas serradas (ou de retracção), de modo a garantir que, caso ocorra fendilhação, esta se localize num plano específico ao longo da junta serrada. A quantidade de juntas serradas é feita de acordo com a retracção esperada do pavimento originada por condições ambientais.

Já as juntas de construção (ou de betonagem) devem ser evitadas ao máximo, uma vez que constituem pontos de fragilidade do pavimento pois, ao haver um desnível entre placas sucessivas de betão provocado pelas cargas que operam sobre o pavimento, pode haver degradação dos bordos dessas placas, deteriorando o pavimento, conforme exposto no Capítulo 2.

Neste projecto foram pormenorizadas as juntas serradas e de dessolidarização, bem como ligações do novo pavimento ao existente que se aprofunda adiante.

Tal como foi explicado no Capítulo 2, a junta de dessolidarização entre pilares e o pavimento é efectuada de forma diferente. Neste caso, recorreu-se a juntas serradas em forma de diamante, como se pode constatar na Fig.5.8.

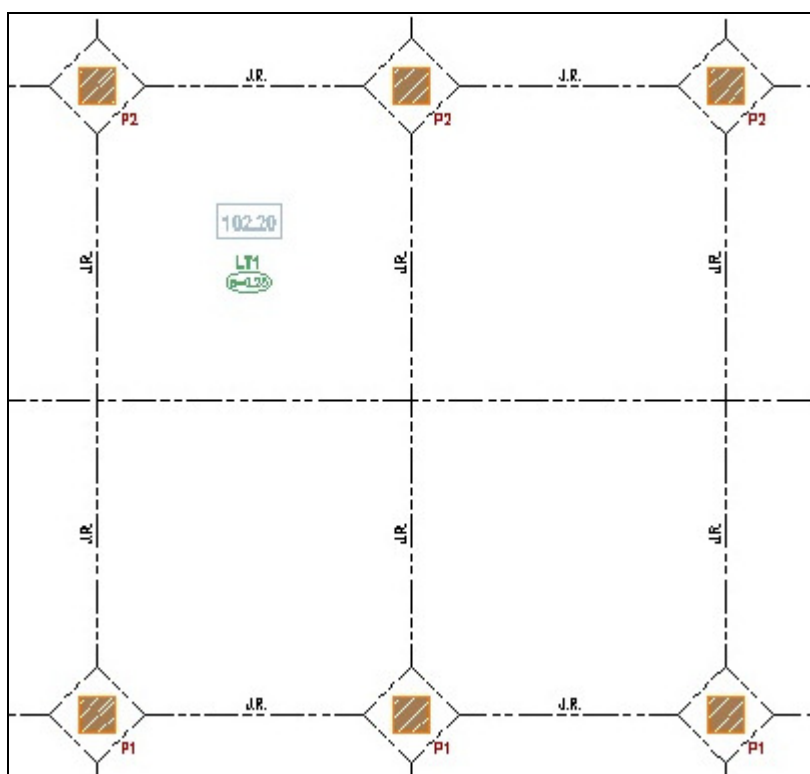


Fig.5.8 – Planta do pavimento térreo: pormenor de juntas de retracção no pavimento e em forma de diamante, à volta dos pilares.

5.4.6.1. Juntas de dessolidarização (ou isolamento)

Tal como o nome indica, as juntas de isolamento pretendem isolar o pavimento de outros elementos, estruturais ou não, de modo a permitir uma maior movimentação das placas de betão e assim evitar retracção e danos nos elementos a separar.

Neste caso, este isolamento foi feito com recurso a um aglomerado de cortiça colado à volta dos elementos a isolar. A junta é selada com um cordão de mástique do tipo «SIKAFLEX 11FC». Este mástique tem como base o poliuretano, usado em selagens e colagens elásticas, e não retrai durante a sua cura, em contacto com a humidade. Apresenta resistência à água, água salgada, bases diluídas e detergentes em dispersão aquosa. Na sua aplicação deve ser mantida uma relação largura/profundidade de 2:1 (Catálogo Catálogo Mástique Sikaflex® 11 FC+).

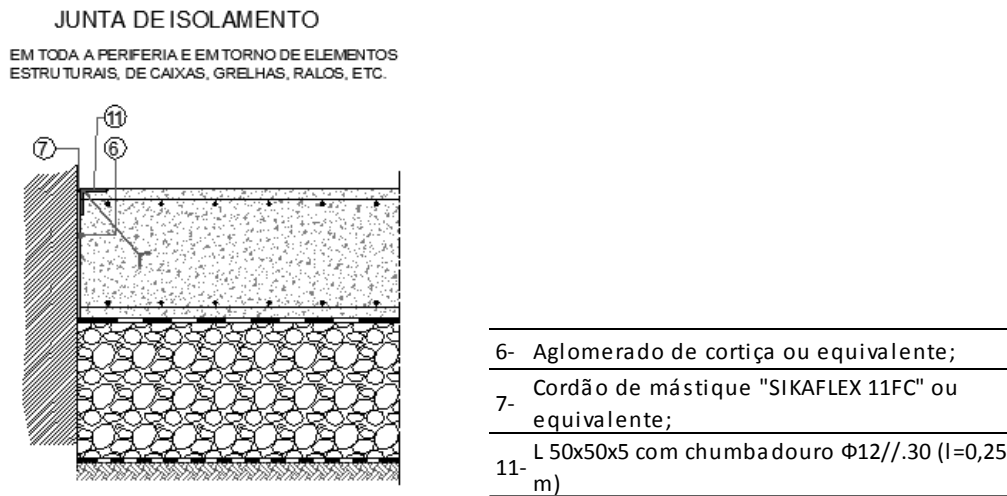


Fig.5.9 – Corte tipo: Junta de isolamento.

5.4.6.2. Juntas serradas (de retracção)

Neste tipo de juntas procede-se à serragem do pavimento, ao longo do qual se concentrarão as possíveis fissuras e, neste caso, como dimensões do corte, verificou-se uma profundidade de 30mm e uma largura de 10mm.

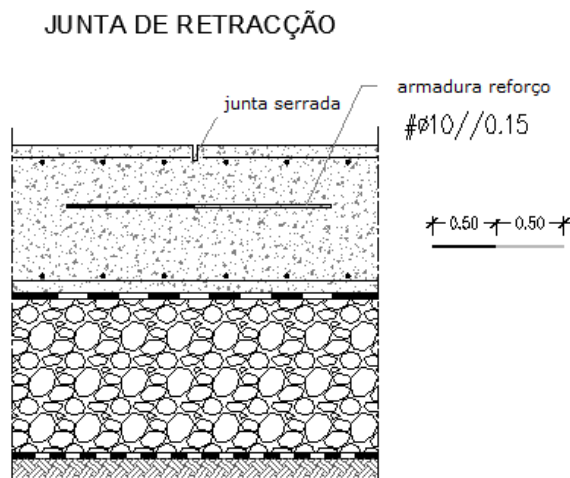


Fig.5.10 – Corte tipo: Junta serrada.

Como se procedeu a uma serragem na laje, deve-se ter em atenção a necessidade de transferência de esforços entre as partes à esquerda e direita do corte. Foi explicado no Capítulo 2 que o atrito existente entre os agregados pode não ser suficiente para garantir essa transferência, se a espessura da fenda esperada for igual ou superior a 0,9 mm. Apesar de as fibras também contribuírem para a transmissão de esforços, achou-se conveniente utilizar armadura de reforço (ferrolho) como mostra a Fig.5.10, cujo objectivo é precisamente assegurar a transmissão de esforços entre as partes. A armadura encontra-se sensivelmente a meia altura da camada de betão, envolto num dos lados por uma camisa que permite o livre movimento da armadura em relação ao betão. O diâmetro das armaduras é de 10mm e o seu comprimento é de 100cm, ficando 50cm à esquerda e 50 à direita da junta. Dois ferrolhos consecutivos distam entre si de 15cm.

5.4.6.3. Juntas de construção (ou de betonagem)

Tendo em conta a problemática dos assentamentos diferenciais entre painéis acima explicados, as juntas de betonagem devem ser munidas de sistemas de protecção e valer-se dos sistemas de transmissão de cargas, como as barras de transferência abordadas no ponto anterior, possuindo, neste caso, um diâmetro de 12mm afastados entre si 50cm. Estes elementos são integrados nos sistemas de cofragem.

Os sistemas de protecção de juntas caracterizam-se por perfis metálicos em formato L, ancorados no betão através de chumbadouros, tendo no caso de estudo os perfis as dimensões 40x40x4 e tendo os chumbadouros um diâmetro de 10mm, afastados entre si 30mm.

A disposição das barras de transferência deve ser a meia altura da camada de betão, perfeitamente na horizontal, também envoltos em camisas num dos lados, neste caso embebidos em mástique.

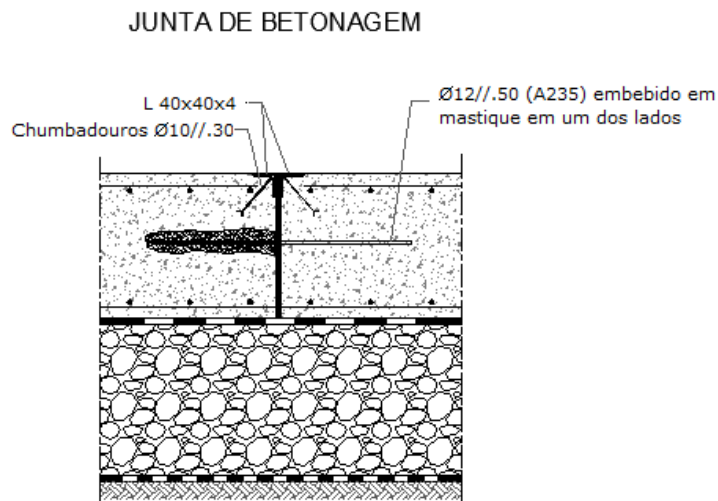


Fig.5.11 – Corte tipo: Junta de betonagem.

É de igual forma importante referir o pormenor de ligação do pavimento térreo novo ao existente. No fundo também se trata de uma junta de betonagem. Também nesta ligação teve-se em atenção o possível desnível entre os painéis pelo que se previram dispositivos de protecção de juntas, mais uma vez em formato L40x40x4, ancorados por chumbadouros com diâmetro de 10mm, afastados entre si

30cm. A armadura proposta para transmissão de cargas entre os pavimentos toma o diâmetro de 16mm, afastadas entre si de 50cm. No pavimento existente, previu-se a selagem dos varões que ligam o pavimento antigo ao novo, usando uma resina epóxi do tipo «Icosit K101» (Catálogo Ligante epóxi Icosit® K 101 N). É um ligante à base de resinas epóxi especiais sem solventes, «fisiologicamente inofensivo após endurecimento» que possibilita a colagem do betão fresco ao endurecido. Este produto está conforme a norma EN 1504-2. É resistente a gorduras e óleos, bases e ácidos diluídos não oxidantes e suporta ainda amplitudes térmicas até 100°C e água quente até 40°C, sem agressões químicas.

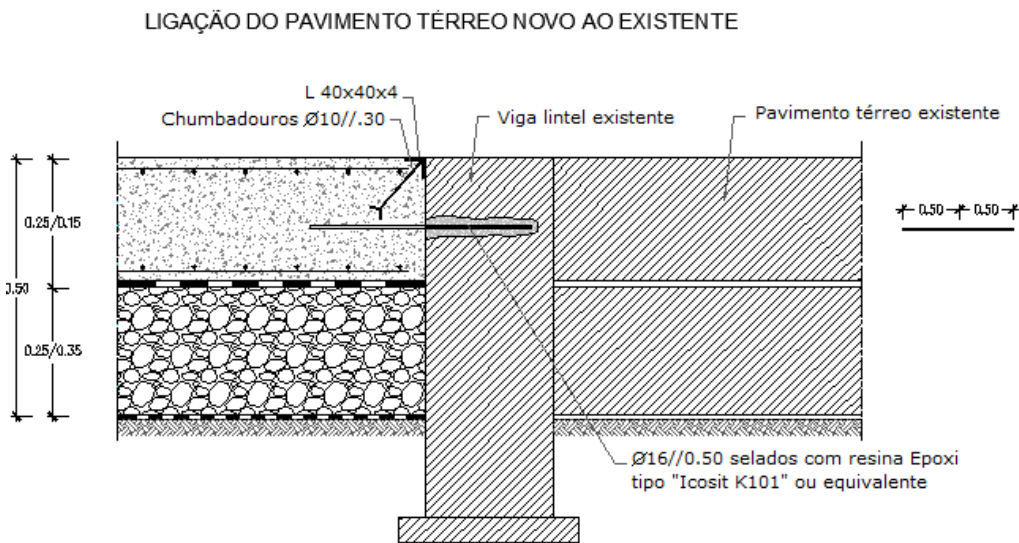


Fig.5.12 – Corte tipo: Ligação do pavimento térreo novo ao existente.

5.5. EXECUÇÃO DA OBRA

5.5.1. SOLO

Já na fase de execução da obra importa referir que se procedeu aos devidos controlos de modo a garantir que o solo segue as especificações de projecto.

Recorreu-se ao ensaio de grau e compactação, até se atingir um valor mínimo de 95% do Proctor Modificado (como havia sido mencionado), resultando numa diminuição da porosidade e do índice de vazios, conforme exposto no Capítulo 2.

Existem várias maneiras de proceder à compactação dos solos. No presente caso, a compactação do solo foi executada a partir de um rolo compactador liso, ou seja, por compressão. Consiste, assim, na aplicação de uma carga vertical elevada, valendo-se do peso do equipamento, obtendo-se deste modo a compressão da superfície do solo. As rodas metálicas do equipamento, permitem assim gerar uma grande pressão contra o solo numa pequena área de contacto.

Quando se dá início ao processo de compactação, a baixa resistência do solo faz com que haja um afundamento das rodas do equipamento, aumentando assim a superfície de contacto, à medida que se prossegue na compactação, o afundamento é cada vez mais pequeno, diminuindo cada vez mais a área de contacto, aumentando por conseguinte a pressão exercida.

A falta de homogeneidade de compactação das camadas faz com que este equipamento seja melhor sucedido em camadas granulares (Mecânica dos Solos. Unidade 10 – Compactação dos solos).



Fig.5.13 – Cilindro compactador (<http://www.logismarket.pt/lamaquina/cilindro-tandem/1274786301-920865001-p.html>).

Como controlo da compactação foi utilizado um equipamento baseado na radioactividade – um medidor nuclear de densidade RoadReader (ver Fig.5.15). Estes equipamentos permitem a medição do peso volúmico e teor em água, e assim proceder à comparação entre as medições realizadas «in situ» e as obtidas em laboratório, esperando deste modo que, se as propriedades forem similares o comportamento mecânico seja também análogo, já que as propriedades mecânicas como resistência e deformabilidade exigem processos e equipamentos bastante complexos para serem determinados (Fernandes, 2006).

O equipamento está munido de uma fonte radioactiva, a qual possui dois tipos de materiais radioactivos e de um receptor-contador, conforme demonstra a Fig.5.14. Na determinação do peso volúmico, a fonte emite raios gama, já na avaliação do teor em água são emitidos neutrões.

Existem duas variantes para a determinação do peso volúmico: por transmissão indirecta ou transmissão directa, que variam na forma como a transmissão é realizada, se pela superfície do terreno – transmissão indirecta – ou se pelo interior do terreno, através da colocação da fonte num furo (transmissão directa). A quantidade de raios gama acusada no receptor é inversamente proporcional à densidade do material atingido (Fernandes, 2006).

A determinação do teor em água, apenas se executa por transmissão indirecta. Verifica-se proporcionalidade entre a resposta acusada no receptor e o teor em água.

Note ainda que o aparelho permite ler as respostas obtidas através de um mostrador digital. Permite ainda memorizar bastantes leituras para futuro tratamento dos dados (Fernandes, 2006).

É de realçar a necessidade de protecção dos operadores desta máquina por causa das emissões radioactivas e também proceder frequentemente à sua calibração. De notar ainda que foram colocados em obra marcos para permitir melhor controlo da espessura do pavimento.

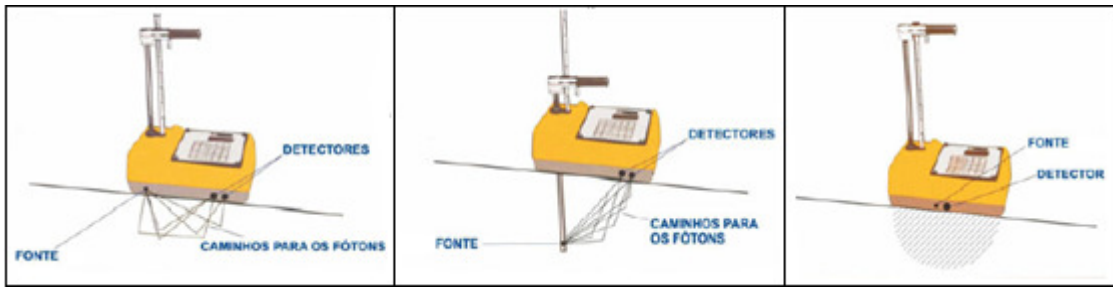


Fig.5.14 – Esquerda: Controlo do peso volúmico por transmissão indirecta; Centro: Controlo do peso volúmico por transmissão directa; Direita: Controlo do teor em água por transmissão indirecta (<http://www.viinstruments.co.za/troxler/Catalogos.pdf>).



Fig.5.15 – Equipamento radioactivo para controlo da compactação - Troxler 3440.

5.5.2. SUB-BASE

É importante referir que o material britado deve ser espalhado sobre a camada de reforço de uma forma homogénea. O tipo de sub-base escolhido traz vantagens no que se diz respeito ao escoamento das águas e evita o fenómeno de capilaridade, como referido no Capítulo 2.

De notar que foram utilizados marcos até se atingir a espessura pretendida para esta camada. Este controlo é importantíssimo pois, se a espessura for inferior à prevista em projecto, irá necessitar de uma camada mais espessa de betão subjacente, o que torna a solução mais onerosa, e se pelo contrário esta for maior que a pretendida, a espessura da camada de betão será menor, comprometendo assim a capacidade resistente do pavimento.

Além deste controlo, deve-se ter em atenção o controlo da qualidade do material, de modo a garantir que o seu comportamento seja o esperado.

Nesta fase utilizam-se pás carregadoras para levar o material britado até ao local desejado. Após despejo do material, os dentes das pás procedem ao seu espalhamento, ta como se pode constatar na Fig.5.16.



Fig.5.16 – Esquerda: Pá carregadora a despejar o material britado no local; Direita: Regularização do material despejado.

A compactação também está presente nesta fase, de modo a evitar assentamentos, processando-se de forma similar ao solo, realizada de igual forma, por um cilindro compactador (Fig.5.17 à esquerda). Para determinadas áreas, em que o cilindro não podia alcançar recorreu-se ao uso de um compactador de percussão tipo «sapo» (Fig.5.17 à direita). Esse último compacta a camada em uma só direcção: vertical, através de golpes dados na camada. O impacto, ao atingir o solo compactado inferior, provoca o movimento contrário, deslocando a máquina de baixo para cima, movimentando assim as britas, conduzindo à compactação (Multiquip do Brasil). Quanto mais o solo está compactado, maior é o ricochete da máquina.



Fig.5.17 – Esquerda: Material britado regularizado por um compactador de rolo, Direita: Compactador tipo «sapo».

5.5.3. LÂMINA DE NÓDULOS

A aplicação desta membrana deve ser executada com a sub-base já perfeitamente regularizada e compactada, e são aplicadas sobre toda a extensão da sub-base, não cobrindo apenas elementos como caixas de visita (Fig.5.18).

As várias faixas da lâmina devem estar sobrepostas de forma a garantir a cobertura total da área, e deve-se apresentar em perfeitas condições, evitando rasgos e enrugamentos, para se poder proceder à betonagem.

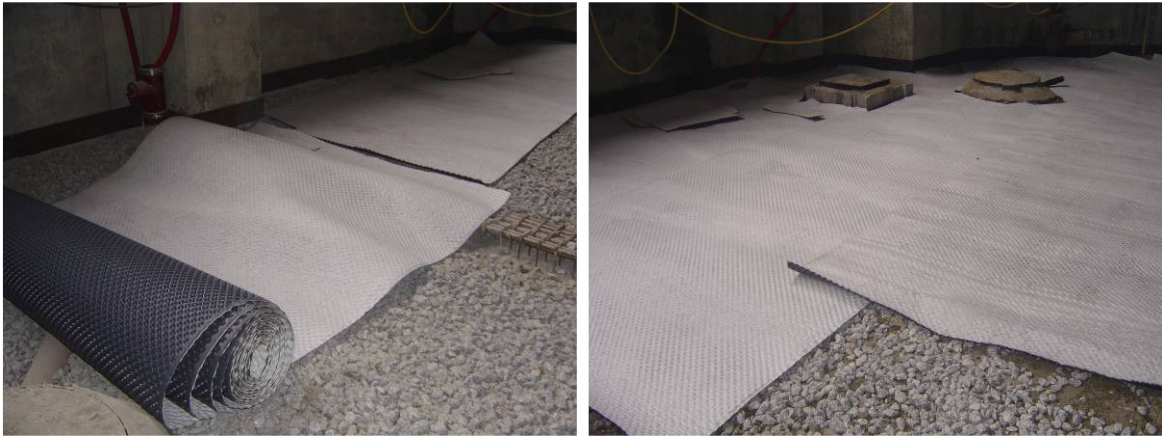


Fig.5.18 – Aplicação da lâmina de nódulos.

Logo após a aplicação desta, reforçou-se com o auxílio a armadura, a zona à volta das caixas com 5 varões cujo diâmetro é 12cm, espaçados 10cm ($5\phi 12//10$), convenientemente amarrados, perfazendo a forma de diamante à volta das mesmas. O comprimento de cada varão é de 1,5 m e a distância mínima entre o varão mais próximo da caixa e o bordo desta é de 5cm. Em torno de cada caixa há uma junta de isolamento, como especificado em projecto. Reforçaram-se também alguns elementos mais críticos como tubagens de PVC, como se pode observar na Fig.5.20.

Outra zona sujeita a reforço com armadura é a zona do passadiço metálico, situada num recanto destinada a um posto de transformação (Fig.5.21).

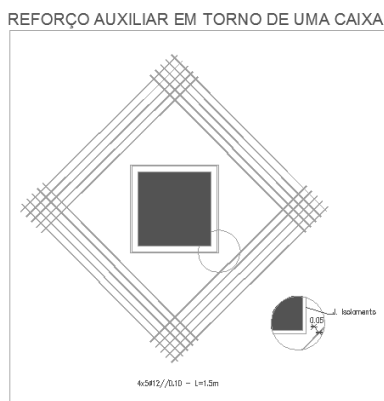


Fig.5.19 – Exemplo de pormenor de reforço auxiliar em torno de uma caixa.



Fig.5.20 – Aplicação de armadura de reforço.

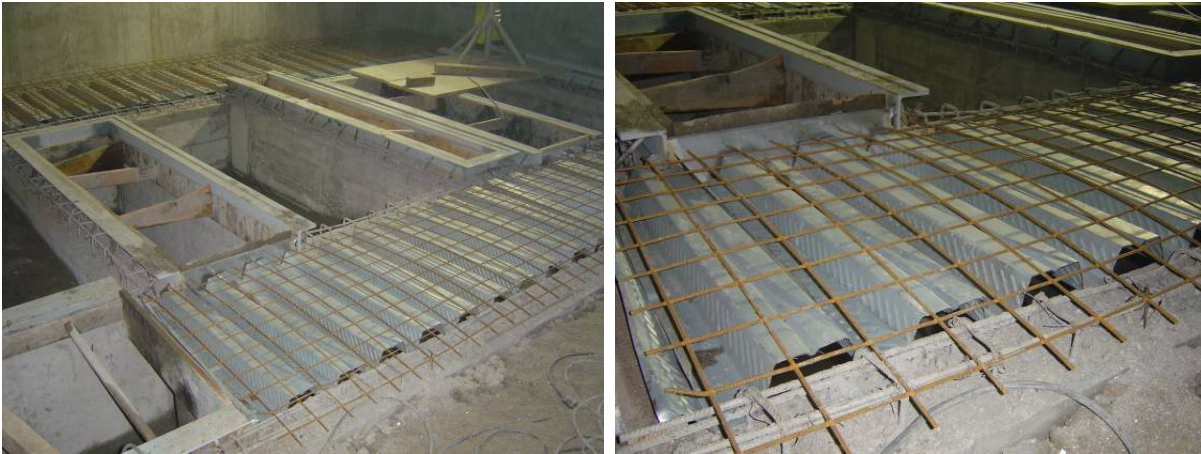


Fig.5.21 – Aplicação de armadura de reforço na zona do passadiço metálico.

5.5.4. BETONAGEM E ACABAMENTO SUPERFICIAL

Antes de se iniciar a betonagem propriamente dita, realizaram-se as devidas cofragens pela parte interna das caixas para evitar vazamento de betão. De notar o facto de as caixas possuírem uma protecção que contém armaduras a toda a sua volta, solidarizadas a esta, de forma a garantir aderência ao betão.

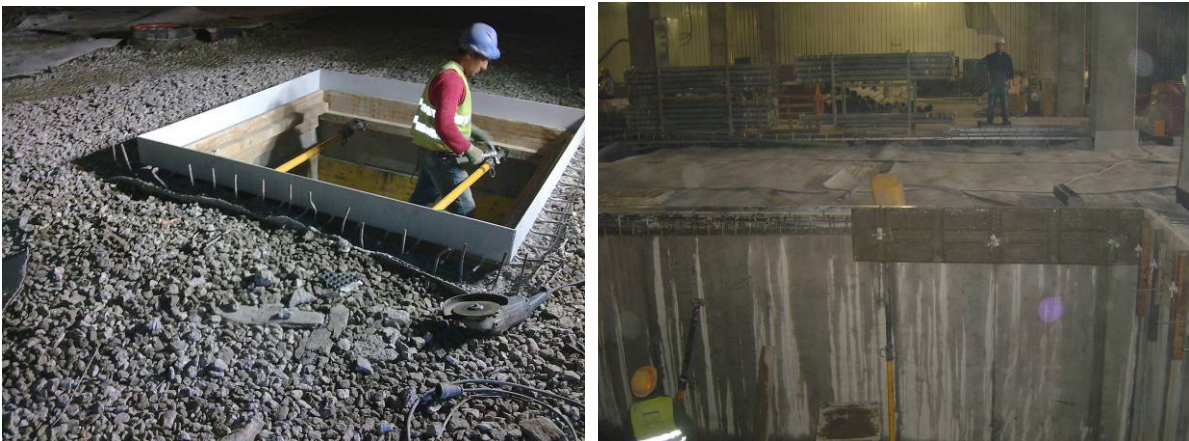


Fig.5.22 – Cofragem das caixas.

Quanto à produção, recorreu-se ao betão pronto, já com as fibras de aço incorporadas e devidamente misturadas.

O lançamento do betão foi realizado directamente da auto-betoneira e a betonagem foi realizada por grandes faixas o que permitiu reduzir o número de juntas de betonagem. À medida que se processava o seu lançamento, os operadores espalhavam o betão com os equipamentos individuais, próprios para o efeito.

De seguida passou-se a régua vibratória na área betonada de modo a uniformizar o mais possível a superfície da camada. As imperfeições eram colmatadas com o recurso à talocha que permite um alisamento mais eficaz da superfície. Esta sucessão de tarefas foi feita rapidamente, logo após o lançamento do betão. Em alguns locais de mais difícil acesso recorreu-se a um vibrador interno, tipo agulha vibratória.



Fig.5.23 – Lançamento e espalhamento do betão.

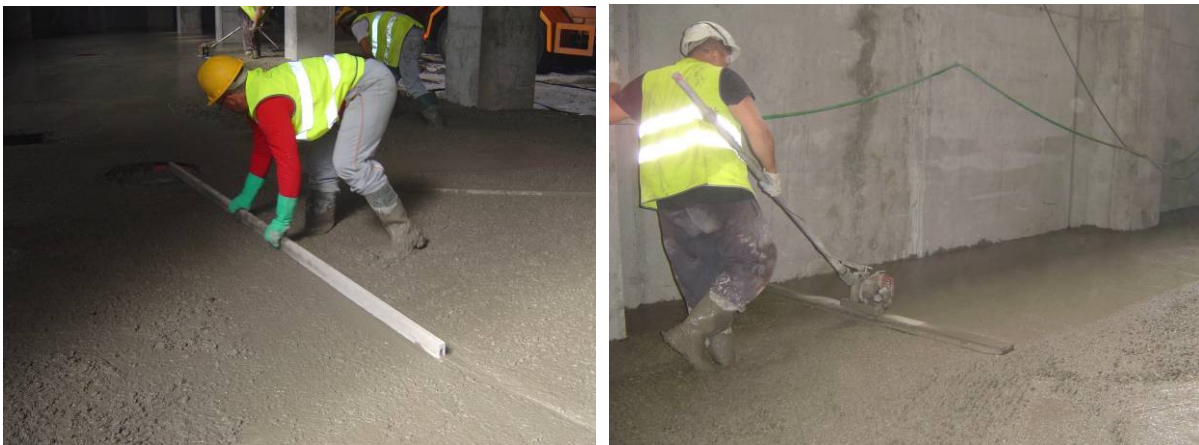


Fig.5.24 – Esquerda: Talochamento; Direita: Alisamento com auxílio da régua vibratória.

Para controlo da espessura do betão recorreu-se ao laser emissor rotativo exposto no Capítulo 2. Relembre-se que é conhecida a distância entre o emissor e a cota esperada para o pavimento, distância essa adoptada pela régua graduada que acopla um receptor. Quando é atingida a cota pretendida o receptor recebe o sinal do laser e emite um som que permite alertar o operador. Era então feito o controlo da espessura da camada com o auxílio do laser, como se pode constatar nas na Fig.5.25. As medições iam sendo feitas em vários pontos do pavimento e quando era atingida a altura de betão pretendida, o operário marcava esse lugar fazendo um círculo no betão (figura 5.25 à direita).



Fig.5.25 – Utilização de um laser emissor rotativo para controlo da espessura de betão.

Segue-se um período de espera e controla-se a perda de água do betão por exsudação, ou seja, o aparecimento de água na superfície do betão após o seu lançamento e compactação no estado fresco, separando-se esta dos outros componentes da mistura.

Quando o betão começou a ganhar presa, procedeu-se à aspersão do endurecedor de superfície, sendo lançado manualmente com auxílio de um carrinho de mão e uma pá. Por fim, realizou-se o afagamento da superfície com um «helicóptero» (talocha mecânica), permitindo uma compactação superficial do pavimento e o seu alisamento.

O tipo de endurecedor especificado em projecto é um endurecedor à base de agregados metálicos (MASTERTOP® 200), em que o fabricante aponta recomendações para a sua utilização: a espessura mínima recomendada de betão são 15cm e deve-se remover a água proveniente da exsudação do betão antes da sua aplicação. O endurecedor deve ser espalhado de modo uniforme após a passagem da régua, em duas fases: 2/3 + 1/3 da massa do material, evitando uma aspersão descuidada, ou um lançamento a uma distância superior a 2m pois pode originar um acabamento pouco uniforme da superfície. Em cada fase de lançamento deve haver uma regularização do mesmo, com recurso a talocha mecânica, recomendando-se que, na cura, a superfície deve ser protegida da desidratação precoce pois corre o risco de aparecimento de fissuras ou que não se desenvolva a totalidade das resistências.

O fabricante alerta também para nunca adicionar água na superfície do pavimento, após a aplicação do endurecedor.

A aplicação manual pode ser feita logo que se possa pisar o pavimento sem que este fique marcado com uma profundidade maior que 5mm (Catálogo Endurecedor de superfície MASTERTOP 200).



Fig.5.26 – Aspersão dos agregados e posterior passagem do «helicóptero».

5.5.5. JUNTAS

Diferentes juntas requerem diferentes abordagens pois cada uma tem uma tecnologia própria que necessita de ser tida em atenção.

Por isso, antes de abordar a execução das juntas serradas, entendeu-se necessário fazer um breve parêntesis para relatar a «execução» e os cuidados a ter antes da betonagem das juntas de construção e de isolamento.

As juntas de betonagem, como já foi atrás referido, requerem cuidados especiais de protecção (Fig.5.27). Quando se fala em execução da junta de isolamento, parte integrante desta «execução» tem

a ver com a colocação de um material que permita a dessolidarização entre o pavimento e o elemento a separar. Deste modo, antes da betonagem, esse material foi colado aos elementos a separar, como se pode observar na Fig.5.28. No presente caso foi utilizado aglomerado de cortiça para realizar tal separação.



Fig.5.27 – Dispositivos de protecção e ferrolhos nas juntas de betonagem.



Fig.5.28 – Colagem do aglomerado de cortiça nos elementos a separar.

É de referir que, conforme o projecto, os ferrolhos têm de ser embebidos em mástique num dos lados. Para proceder à colagem do mástique deve-se pressionar manualmente os elementos a colar. Caso necessário, usa-se fita adesiva de dupla face, grampos ou escoras para efectuar a colagem durante as primeiras horas, podendo, mesmo assim proceder-se ao reposicionamento de um elemento mal colado nos primeiros minutos após colagem, exercendo-se pressão sobre ele. Os valores óptimos de aderência são conseguidos após cura completa do produto, de 24 a 48 horas para uma espessura de cola entre os 2 e os 3cm. Como recomendações, achou-se importante referir que, até à cura completa do produto, é exalado um cheiro característico. Também não se deve misturar o material não curado com álcoois (Catálogo Mástique Sikaflex® 11 FC).

Para selagem das juntas de isolamento e das juntas de betonagens (cujo produto é o já mencionado SIKAFLEX 11FC) foi empregue um cordão de mástique. O material é fornecido em estado líquido e, quanto à dosagem para garantir de impermeabilização, como é o caso, deve-se utilizar $0,10 \text{ l/m}^2$.

Como recomendação do fabricante, na preparação da base, esta deve estar «limpa, sã, isenta de partículas em desagregação, isenta de gorduras, óleos e pinturas e a mais regularizada possível».

A limpeza da superfície deve ser feita com recurso a um jacto de água sob pressão. De seguida, enchem-se as juntas ainda húmidas com a argamassa, apertando-a bem. Como precaução de segurança, devem-se utilizar luvas e óculos de protecção, ao utilizar este material.

As juntas serradas são executadas após o endurecimento do betão, quando o pavimento é capaz de suportar o peso do operador e das máquinas. Este tipo de juntas, também denominado juntas de retracção, são especificadas em projecto, e para sua marcação é utilizada uma fita marcadora azul (Fig.5.29). Para tal, posiciona-se a fita no local a serrar, levanta-se a mesma e ao largá-la esta bate no chão, ficando este último marcado com um traço azul. Esta mesma técnica foi utilizada para marcação da posição do aglomerado de cortiça, ao longo das paredes e dos restantes elementos a separar.



Fig.5.29 – Marcação da zona a serrar.

Na execução deste tipo de juntas em torno dos pilares (juntas em forma de diamante), é também marcado com um traço ortogonal às linhas marcadas, o local onde a serragem deve terminar, de modo a que no final se possa obter uma serragem conforme prevista em projecto (Fig.5.30 à direita).

A serra possui um sistema de guiamento, um eixo articulado dianteiro que guia o operador quanto à posição da mesma, durante a serragem, sendo calibrado para serrar uma espessura, pré-definida em projecto. Durante o processo de serragem, esta emite um jacto de água proveniente de um pequeno reservatório pertencente à máquina para não sobreaquecer o disco de corte (Fig.5.30 à esquerda).



Fig.5.30 – Serragem das juntas.

Quanto à ligação entre o pavimento novo e o existente, acha-se importante referir a utilização de resina epóxi para selar o varão que liga os dois pavimentos (Catálogo Ligante epóxi Icosit® K 101 N). Em relação a este produto o fabricante tem várias recomendações. Este material é obtido a partir da mistura de dois componentes, chamados pelo fabricante de A e B, que devem ser «homogeneizados em separado», e deve-se adicionar o componente B ao A (Componente A : Componente B = 79 : 21), misturando no mínimo «3 minutos com um misturador eléctrico de baixa rotação (500 - 600 rpm) até o material se apresentar com uma cor uniforme», evitando a incorporação de ar. Após transferência da mistura para um recipiente limpo, misturar novamente mais 1 minuto.

A sua aplicação deve ser feita com pincéis de pêlo curto sobre o betão existente, limpo. De seguida, «esfregar o produto bem na superfície para obter uma boa penetração. Verificar se a cola recobre bem toda a superfície de betão e vazar então o novo betão fresco contra a cola» ainda com propriedades relativas.

A Fig.5.31 apresenta o resultado final da uma junta de betonagem e de uma junta serrada em forma de diamante, concluindo, deste modo a última etapa da realização deste tipo de pavimentos.



Fig.5.31 – Esquerda: Aspecto final das juntas de betonagem; Direita: Aspecto final das juntas serradas.

5.6. CONTROLO DA QUALIDADE – FICHAS DE INSPECÇÃO E ENSAIO

De modo a proceder à validação da Fichas de Inspeção e Ensaio produzida e apresentada no capítulo anterior, resolveu-se aplicá-la ao estudo de caso, de modo a se perceber se a mesma é efectivamente útil e exequível em obra e apurar os possíveis defeitos que esta possa ter e assim poder corrigi-la e adaptá-la à realidade.

A parcela do pavimento em que a autora teve oportunidade de acompanhar em obra foi praticamente realizada num mesmo dia, exceptuando a serragem da junta que foi executada dois dias após a finalização do processo de betonagem e aplicação do endurecedor.

O Quadro 5.2. apresenta a Ficha preenchida para que possa servir de modelo a futuras aplicações, exemplificando como se proceder ao seu preenchimento.

De realçar que o estudo de caso foi fundamental para a realização da mesma, uma vez que permite uma perspectiva mais real do desenrolar das actividades em obra, tendo-se aplicado à prática os conhecimentos teóricos adquiridos.

Quadro 5.2. – Exemplo de preenchimento da Ficha de Inspeção e Ensaio, de acordo com o estudo de caso

FICHA DE INSPECÇÃO E ENSAIO			PAVIMENTOS INDUSTRIAIS				
Encomenda	_____	Designação	_____				
Dono Obra	_____	Adjudicatário	_____				
Controlo de conformidade							
referente a	Controlo de qualidade na execução de pavimentos industriais						
localização:		Inspeção	Critério de aceitação	registro			ass.
				datas		resultado	
				início	fim	A NA	
Localização do pavimento em obra:							
1	Recepção de materiais						
1.1.	SUB-BASE						
1.1.1.	Se granular, dispõe de granulometria correcta.	CE	SIMNÃO	09-03-2011	X	Manuela	
1.1.2.	Se tratada, mistura correcta.	CE	SIMNÃO				
1.2.	CAMADA DE DESSOLIDARIZAÇÃO						
1.2.1	Conformidade com projecto.	CE	SIMNÃO	09-03-2011	X	Manuela	
1.3.	BETÃO						
1.3.1.	Conformidade com projecto.	CE	SIMNÃO	11-03-2011	X	Manuela	
1.3.2.	Capacidade central adequada.	Cálculo	SIMNÃO	11-03-2011	X	Manuela	
1.3.3.	Endurecedor de superfície conforme em projecto.	CE	SIMNÃO	11-03-2011	X	Manuela	
1.3.4.	Auxiliadores de cura conforme em projecto.	CE	SIMNÃO	11-03-2011	X	Manuela	
1.4.	FIBRAS PARA BETÃO						
1.4.1.	Quantidade conforme projecto.	Cálculo		11-03-2011	X	Manuela	
1.4.2.	Características conforme projecto.	CE		11-03-2011	X	Manuela	
1.5.	MATERIAL DE SELAGEM DE JUNTAS						
1.5.1.	Selantes conforme projecto.	CE	SIMNÃO	11-03-2011	X	Manuela	
1.5.2.	Capacidade adequada à necessidade.	Cálculo	SIMNÃO	11-03-2011	X	Manuela	
2	Execução da tarefa						
2.1.	PREPARAÇÃO DO SOLO						
<i>Controlo geométrico</i>							
2.1.1.	Nivelamento adequado.	Visual	CONFORME REFERÊNCIAS E MARCOS	09-03-2011	11-03-2011	X Manuela	
2.1.2.	Espessura prevista.	Visual	CONFORME REFERÊNCIAS E MARCOS	09-03-2011	11-03-2011	X Manuela	
<i>Controlo tecnológico</i>							
2.1.3.	Compactação.	CE	SIMNÃO	11-03-2011	11-03-2011	X Manuela	
2.2.	SUB-BASE						
<i>Controlo geométrico</i>							
2.2.2.	Nivelamento adequado.	Visual	CONFORME REFERÊNCIAS E MARCOS	11-03-2011	11-03-2011	X Manuela	
2.2.3.	Espessura prevista.	Visual	CONFORME REFERÊNCIAS E MARCOS	11-03-2011	11-03-2011	X Manuela	
<i>Controlo tecnológico</i>							
2.2.4.	Compactação.	CE	SIMNÃO	11-03-2011	11-03-2011	X Manuela	

2.3. CAMADA DE DESSOLIDARIZAÇÃO								
2.3.1.	Não enrugada; não rasgada. Cobertura de toda a área.	Visual	SIM/NÃO	11-03-2011	11-03-2011	X		Manuela
2.4. COFRAGENS								
2.4.1.	Conformidade com projecto.	Visual	SIM/NÃO	10-03-2011	11-03-2011	X		Manuela
2.4.2.	Alinhada, nivelada e devidamente fixada.	Visual	SIM/NÃO	11-03-2011	11-03-2011	X		Manuela
2.4.3.	Devidas aberturas para posicionamento armadura e outros elementos.	Visual	SIM/NÃO	11-03-2011	11-03-2011	X		Manuela
2.5. POSIONAMENTO DA ARMADURA (SE EXISTIR)								
<i>Controlo geométrico</i>								
2.5.1.	Posicionamento correcto dos ferrolhos.	CE	FERROLHOS: MEIA ALTURA DOS PAINEIS, DISTÂNCIAS ENTRE ESTES E JUNTAS \geq 10mm.	11-03-2011	11-03-2011	X		Manuela
<i>Controlo tecnológico</i>								
2.5.2.	Resistência à tracção armadura.	CE	SIM/NÃO	11-03-2011	11-03-2011	X		Manuela
2.6. BETONAGEM								
2.6.1.	Betão com trabalhabilidade adequada.	CE	SIM/NÃO	11-03-2011	11-03-2011	X		Manuela
2.6.2.	Acessibilidade dos equipamentos ao local.	Visual	SIM/NÃO	11-03-2011	11-03-2011	X		Manuela
2.6.3.	Betonagem uniforme, sem interrupção.	Visual	SIM/NÃO	11-03-2011	11-03-2011	X		Manuela
2.6.4.	Velocidade betonagem de acordo com a de vibração e acabamento.	CE	SIM/NÃO	11-03-2011	11-03-2011	X		Manuela
2.6.5.	Compactação adequada.	CE	SIM/NÃO	11-03-2011	11-03-2011	X		Manuela
2.6.6.	Espessura prevista.	Visual	CONFORME REFERÊNCIAS E MARCOS	11-03-2011	11-03-2011	X		Manuela
2.7. ACABAMENTO								
<i>Betão em estado fresco</i>								
2.7.1.	Equipamentos adequados.	Visual	SIM/NÃO	11-03-2011	11-03-2011	X		Manuela
2.7.2.	Controlo exsudação.	Visual	SIM/NÃO	11-03-2011	11-03-2011	X		Manuela
<i>Quando a presa</i>								
2.7.3.	Respeito pelo tempo de presa.	Visual	SIM/NÃO	11-03-2011	11-03-2011	X		Manuela
2.7.4.	Equipamentos adequados.	Visual	SIM/NÃO	11-03-2011	11-03-2011	X		Manuela
2.7.5.	Compactação superficial.	Visual	SIM/NÃO	11-03-2011	11-03-2011	X		Manuela
2.7.6.	Espalhamento uniforme do endurecedor de superfície.	Visual	SIM/NÃO	11-03-2011	11-03-2011	X		Manuela
2.8. CURA								
2.8.1.	Espalhamento uniforme dos auxiliares de cura (cura química).	Visual	SIM/NÃO					
2.8.2.	Boa cobertura, no caso de cura húmida.	Visual	SIM/NÃO					
2.9. JUNTAS								
2.9.1.	Tempo de espera para serralagem das juntas.	Visual	QUANDO O BETÃO SUPORTA O PESO DAS MÁQUINAS E DO OPERADOR	11-03-2011	14-03-2011	X		Manuela

2.9.2.	Marcação dos locais de serragem conforme projecto.	Visual	SIM/NÃO	14-03-2011	14-03-2011	X		Manuela
2.9.3.	Desalinhamento máximo entre juntas.	Visual	≤10mm ao longo de 3m	14-03-2011	14-03-2011	X		Manuela
2.9.4.	Profundidade juntas igual em projecto.	Visual	Sim/Não com tolerância ± 5mm	14-03-2011	14-03-2011	X		Manuela
2.9.5.	Posicionamento do fundo de junta conforme projecto.	Visual	SIM/NÃO	15-03-2011	15-03-2011	X		Manuela
2.9.6.	Preparação para aplicação do selante.	Visual	SUPERFÍCIE LIMPA; BORDAS ISOLADAS COM FITAS	15-03-2011	15-03-2011	X		Manuela
<p>Legenda: A - Aprovado; NA - Não Aprovado; CE - Caderno de Encargos</p> <p>Registos: Condições climatéricas: temperaturas muito baixas durante a betonagem e o acabamento.</p> <p>Data:</p> <p>Verificado em: ____/____/____ Fiscalização: _____</p>								

Como considerações finais, pode-se afirmar que a Ficha produzida é um documento útil de auxílio das acções de fiscalização em pavimentos industriais. Acompanha todos os passos da execução dos pavimentos, desde a recepção dos materiais até selagem de juntas e permite um rápido e fácil preenchimento.

6

CONCLUSÃO

6.1. VERIFICAÇÃO DO CUMPRIMENTO DOS OBJECTIVOS PROPOSTOS

Após a realização da dissertação pensa-se que se cumpriram os objectivos específicos definidos no capítulo inicial, nomeadamente a criação de um documento que detivesse informação relativa à tecnologia construtiva apresentada e à preparação de uma Ficha de Inspeção e Ensaio, aplicável a acções de fiscalização de pavimentos industriais.

Numa primeira fase, com a informação recolhida, criou-se um documento que retrata os materiais base na constituição do compósito, escrutinando, através de investigações e ensaios descritos, a alteração das propriedades de um betão ao qual se adicionou fibras de aço, relativamente a um betão corrente, com as mesmas características. Com o decorrer da investigação, analisou-se as funções de cada componente do sistema construtivo utilizando-se esquemas que facilitassem a sua percepção. Posteriormente, descreveu-se sua aplicação em obra de cada camada, indicando todos os cuidados a ter durante esse processo. Referiu-se também alguns problemas associados à execução deste tipo de pavimentos, porém sem ser exaustivo pois achou-se necessário tomar conhecimento de algumas anomalias, todavia sem aprofundar o tema, visto que não era objectivo da dissertação.

Constatou-se que a solução estudada já se encontra implementada no mercado português, facto que se pôde comprovar através do estudo de mercado efectuado no Capítulo 3 e da existência de normalização portuguesa que regula, além de ensaios, as características e declarações de conformidade a serem efectuadas pelos fabricantes, permitindo um maior controlo por parte de quem as produz.

Através da pesquisa de sites técnicos e da pesquisa de regras de qualidade apontadas por fabricantes, realizou-se o Capítulo 4 resultando num compêndio de regras de qualidade, tal como previsto.

Neste capítulo apresenta-se a Ficha de Inspeção e Ensaio produzida que a autora considera ser de preenchimento fácil e intuitivo, estando nela descritas todas as fases de execução de pavimentos e o respectivo controlo que deverá ser feito pelo Supervisor de Construção em Obra. Considera-se tal ferramenta como essencial a prática da fiscalização, pois permite avaliar todas as actividades realizadas, apontando se determinada tarefa foi aprovada ou não, podendo ser descrita em «observações» o que levou à não aprovação das mesmas.

O acompanhamento da obra referida no Capítulo 5, mostrou-se importantíssimo para a autora, tanto pela possibilidade de preenchimento da Ficha atrás mencionada como também para validar os conhecimentos adquiridos, vivenciando a realização da solução referida em obra. Ora, as regras de qualidade e as indicações descritas no Capítulo 4 só são úteis se forem exequíveis em obra.

6.2. DIFICULDADES SENTIDAS

Na realização da dissertação houve várias dificuldades sentidas. A primeira que se acha importante referir associa-se à grande dificuldade em obter informações técnicas desenvolvidas e bem validadas por parte das empresas portuguesas do sector, o que limitou a dimensão e qualidade da abordagem efectuada no Capítulo 3. Muitas das empresas não informam o tipo de serviços que prestam nem o tipo de obras que já realizaram e se já recorreram ou não a fibras metálicas para executar pavimentos téreos.

Outra dificuldade sentida é respeitante ao Capítulo 5. Na obra acompanhada a autora não teve acesso ao Caderno de Encargos da Obra que possibilitaria uma melhor e mais profunda compreensão do caso em estudo e das especificidades técnicas de todas as fases do processo. Outro factor que condicionou a realização desse Capítulo foi o facto de a autora só ter tido oportunidade de acompanhar uma parte muito diminuta da obra, o que limitou a profundidade das conclusões a que se chegou bem como a própria capacidade para rever e actualizar a Ficha produzida, de forma mais profunda e completa.

Por fim, outro obstáculo que importa referir passa pela falta de experiência profissional e a sua influência na criação da Ficha Inspeção e Ensaio pois o que teoricamente é aceitável pode não ser de todo exequível na prática, daí a necessidade da sua validação através do estudo de caso abordado no Capítulo 5.

6.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

De modo a dar continuidade ao estudo até aqui realizado, existem vários temas que poderão ser explorados.

A primeira proposta que a autora acha conveniente mencionar é o estudo do betão reforçado com outro tipo de fibras e quais as vantagens/desvantagens e diferenças entre os vários tipos de fibras comercializadas no mercado.

O estudo do efeito conjunto de mais de um tipo de fibra adicionadas ao betão, seria de igual forma um tema a abordar, concluindo acerca da influência destas no composto.

Também poderá ser interessante aprofundar, de forma mais completa e exaustiva, o mercado português das fibras para reforço de betões, enquadrando-o detalhadamente no mercado mundial, e realizando inclusive uma análise comparativa de preços, ou seja, uma análise económica das várias soluções.

Seria, de igual forma interessante a realização de uma dissertação vocacionada para o estudo de patologias resultantes da introdução de fibras no betão, com indicações das causas prováveis, métodos preventivos e soluções de reparação dos pavimentos defeituosos.

Outro assunto que poderá ser objecto de análise relaciona-se com a execução de pavimentos industriais sem juntas abordando o desenvolvimento dessa solução em Portugal, e efectuando uma comparação económica entre pavimentos com e sem juntas, quais as vantagens relativas de cada um, explorando a informação e recomendações existentes noutros países e ainda tentando conhecer e sintetizar quais os riscos e patologias associadas a esta solução.

Por fim, considera-se que seria proveitoso o estudo de soluções associadas à utilização de betão autocompactável reforçado com fibras em pavimentos industriais, compreendendo com profundidade a sua eventual vantagem em termos de custo/benefício, comparando os ganhos em desempenho, produtividade e durabilidade com os aumentos de custo associados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Concrete Institute. (1996). *Guide for Concrete Floor and Slab Construction*. ACI. Chapter 2-Classes of Floors. (ACI 302.1R-1). ACI Committee 302 USA.
- Antunes, A., Barros, J. (2003). *Juntas em pavimentos de edifícios industriais*. Dimensionamento de Estruturas de Betão Reforçado com Fibras de Aço (Barros J., Rossi P., Massicotte B., eds.), Grande Auditório da Escola de Engenharia da Universidade do Minho, pp. 14.1-14.21, Universidade do Minho, Guimarães.
- Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho. (2006-2010). ANAPRE, 2006-2010. Disponível em www.anapre.org.br. Acesso em 07/06/2010.
- Catálogo** Bidim. Disponível em: http://www.geomaks.com.br/produtos/1_BidimRT/catalogo/SolucoesGeo.pdf. Acesso em 14/04/2011.
- Catálogo** Endurecedor de superfície MASTERTOP 200. Disponível em: <http://www.basf-cc.com.br/PT/produtos/pisos/MASTERTOP200/Documents/MASTERTOP%20200.pdf>. Acesso em 14/04/2011.
- Catálogo** Lâmina de nódulos Delta-MS 20. Disponível em: <http://www.deltamembranes.com/pdf/MS20.pdf>. Acesso em 14/04/2011
- Catálogo** Ligante epóxi Icosit® K 101 N. Disponível em: http://material.pinaferreira.pt/MULTIMEDIA/DOCUMENTOS/575/PINAFERREIRA_SIKA_ICOSIT_K101.pdf. Acesso em 14/04/2011.
- Catálogo** Mástique Sikaflex® 11 FC+. Disponível em: http://www.sotecnisol.pt/upload/conteudo/sikaflex_11_FC_.pdf. Acesso em 14/04/2011.
- Catálogo** Resina de aderência para argamassa de cimento Sikalutex. Disponível em: http://www.construlink.com/LogosCatalogos/sika_resinas_aderencia_sikalutex_ed2007_2009.pdf. Acesso em 14/04/2011.
- Comité técnico CEN/TC 104. (2008). *Ensaio do betão projectado. Parte 5: Determinação da capacidade de absorção de energia de provetes de lajes reforçadas com fibras*. Norma Portuguesa NP EN 14488-5, IPQ.
- Comité técnico CEN/TC 104. (2008). *Ensaio do betão projectado. Parte 7: Dosagem de fibras no betão reforçado com fibras*. Norma Portuguesa NP EN 14845-2, IPQ.
- Comité técnico CEN/TC 104. (2008). *Fibras para betão. Parte 1: Fibras de aço. Definições, especificações e conformidade*. Norma Portuguesa NP EN 14889-1, IPQ.
- Comité técnico CEN/TC 104. (2008). *Métodos de ensaio das fibras no betão. Parte 1: Betões de Referência*. Norma Portuguesa NP EN 14845-1, IPQ.
- Comité técnico CEN/TC 104. (2008). *Métodos de ensaio de fibras no betão. Parte 2. Influência sobre a resistência*. Norma Portuguesa NP EN 14845-2, IPQ.
- Coutinho, A.S. (1994). *Fabrico e propriedades do betão*. Vol. II, LNEC.
- Coutinho, J. S. (2003). *NP EN 12350 – Ensaio do betão fresco*. Apontamentos teóricos MC2, FEUP.
- Coutinho, J.S. *Materiais de Construção 1. Práticas 2010-2011*. FEUP.

Cristelli, R. (2010). *Pavimentos Industriais de Concreto. Análise do sistema construtivo*. Monografia, Escola de Engenharia UFMG.

Evangelista, L. (2003). *Betão reforçado com fibras de aço. Aplicação de pavimentos industriais*. http://www.construlink.com/2003_ConstrulinkPress/Ficheiros/MonografiasPrimeirasPaginas/Mono11_6.pdf. Acesso em 20/02/2011.

Fernandes, M. M. (2006). *Mecânica dos Solos. II Volume*. Porto, FEUP.

Ferreira, N. (2008). *Influência das Características das Fibras no Desempenho do Betão*. Dissertação de Mestrado Integrado, FEUP.

Figueiredo, A. (2000). *Concreto com fibras de aço*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://www.allquimica.com.br/arquivos/websites/artigos/A-000222006526153128.pdf>. Acesso em 20/02/2011.

Multiquip do Brasil. *Compactação do solo. Um manual básico*. (?). Disponível em: http://www.multiquip.com.br/imagens/catalogo/Catalogo_Compacta%C3%A7%C2%A6odeSolo_20050822132416.pdf. Acesso em 14/04/2011.

Neves, R. (2003). *Betões reforçados com fibras de aço. Modelação do comportamento à compressão uniaxial*. Dissertação de Mestrado, LNEC, 2003.

Notas da aula - Mecânica dos Solos. Unidade 10 – Compactação dos Solos. Disponível em: http://www.ufsm.br/engcivil/Material_Didatico/TRP1003_mecanica_dos_solos/unidade_10.pdf. Acesso em 01/04/2011.

Nunes, S. A. (2010). *Secções sujeitas a esforço axial: pré-esforço centrado em tirantes*. Apontamentos das aulas teóricas.

Oliveira, P.L. (2000). *Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Polisseni, A. E. (2008). *Pisos Industriais. Plano de Concretagem*. Disponível em: http://marcoscassiano.com/eng/attachments/078_Pisos%20industriais%20%20Plano%20de%20concretagem.pdf. Acesso em 28/03/2011.

Proença, A. M. *Betão com fibras*. http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/Mestr_Estr/NovosMateriais/apontamentos/teorica/Betao%20com%20fibras.pdf. Acesso em 24/02/2011.

SIB. *Guia técnico de aplicação – Pavimentos Industriais*. Disponível em: http://www.sibland.pt/pt/downloads/gtap_pavimentosind.pdf. Acesso em 23/05/2011.

Steel Fibre Reinforced Concrete for industrial floors, especially floors without joints and floors on piles: A practical guide. Disponível em: http://www.arcelormittal.com/distributionsolutions/repository/fanny/practical_guide_SFRC-UK.pdf. Acesso em 23/05/2011.

SITES CONSULTADOS

- <http://www.betecna.pt/>. Acesso em 05/05/2011.
- <http://www.cimpor-portugal.pt/>. Acesso em 05/05/2011.
- <http://www.pavin.net/>. Acesso em 28/04/2011.
- <http://www.pavilaje.pt/>. Acesso em 28/04/2011.
- <http://www.pavieste.pt/>. Acesso em 28/04/2011.
- <http://pavimaia.pai.pt/>. Acesso em 28/04/2011.
- <http://www.solpave.com/>. Acesso em 02/05/2011.
- <http://www.servipavi.net/>. Acesso em 02/05/2011.
- <http://www.rocland.pt/>. Acesso em 02/05/2011.
- <http://www.egon.pt/>. Acesso em 02/05/2011.
- <http://www.ineditbase.com/>. Acesso em 02/05/2011.
- <http://www.engenhariacivil.com/betao-reforcado-fibras>. Acesso em 26/05/2010.
- <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/163/artigo189448-1.asp>. Acesso em 26/05/2010.
- <http://www.pisosindustriais.com.br/materias/noticia.asp?ID=146>. Acesso em 26/05/2010.
- http://www.contionline.com/generator/www/com/en/continental/portal/general/home/index_en.html. Acesso em 14/04/2011.
- http://www.cciap.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=566:continental-mabor-estudano-novo-investimento-superior-a-50-milhoes-de-euros&catid=61:noticias&Itemid=83. Acesso em 14/04/2011.
- http://www.afia.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=1941&Itemid=61&lang=en. Acesso em 14/04/2011.
- http://www.cosella-dorken.com/bvf-ca-es/products/foundation_civil/products/ms_20_tunnel-vault.php. Acesso em 01/04/2011.
- http://www.bureauveritas.pt/wps/wcm/connect/bv_pt/Local/Home/bv_com_serviceSheetDetails?serviceSheetId=4566&serviceSheetName=Marca%25C3%25A7%25C3%25A3o+CE. Acesso em 02/05/2011.

