Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

IMPORTÂNCIA DA NORMA EUROPEIA EN 1504, NA PROTEÇÃO E REPARAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

F. C. B. MONTEIRO
Mestrando em Engª Civil
Universidade Estadual de Campinas - FEC
São Paulo; Brasil
fcarlos_monteiro@hotmail.com

L. C. ALMEIDA
Doutor em Engenharia Civil
Universidade Estadual de Campinas - FEC
São Paulo, Brasil
almeida@fec.unicamp.br

L. M. TRAUTWEIN
Doutor em Engenharia Civil
Universidade Estadual de Campinas - FEC
São Paulo; Brasil
leandromt@fec.unicamp.br

RESUMO

A crescente preocupação da sustentabilidade na construção, alicerçada por políticas ambientais, tem vindo a exigir dos projetistas, construtores e entidades governamentais ligadas ao setor, uma visão mais consciencializada da importância dos aspetos que se relacionam com a qualidade, o desempenho, a durabilidade e vida útil das construções, traduzidos num conjunto de procedimentos, obtidos pela experiência e pesquisa técnica e/ou cientifica, dando lugar a documentos Normativos e/ou Diretrizes, que regulam a pratica da construção. Pelo exposto, pretende o presente estudo realçar a importância da Norma Europeia EN 1504, intitulada: *" Produtos e sistemas para a proteção e reparação das estruturas de betão"*, tanto por se apresentar como um documento único que integra todos os aspetos que se relacionam com os processos de proteção e/ou reparação, bem como por conduzir a um absoluto envolvimento de todos os profissionais afetos a obra (donos obra, projetistas, empreiteiros e fornecedores de materiais). Tal fato, veio permitir um maior nível de confiança dos proprietários e simultaneamente a obtenção de Construções de qualidade e durabilidade superior. O conteúdo da Norma compreende 10 partes distintas. Inicialmente, far-se-á uma abordagem teórica de cada uma das partes, segue-se o relacionamento entre as mesmas e pôr fim a sua aplicabilidade prática, através de 4 exemplos. Para cada exemplo, e de acordo com a Norma, os procedimentos a adotar encontram-se devidamente sistematizados. Deste modo, pretende-se contribuir para a evolução do profissional, no uso desta poderosa ferramenta, de ampla aplicação, desde a simples detecção de manifestações patológicas decorrentes, à elaboração e controle do projeto de reparação.
Palavras-chave: EN 1504, recomendações, padronização, reparação.

ABSTRACT

The growing concern for sustainability in construction, supported by environmental policies, has been urging the designers, builders and entities linked to the sector, a more informed view of the importance of the aspects that relate to the quality, performance, durability and life useful constructions, translated into a set of procedures, obtained by the technical / scientific experiment and research, giving rise to Normative documents or Guidelines that regulate the practice of construction. The above, the present study aims to highlight the importance of European Standard EN 1504, entitled: " Products and systems for the protection and repair of concrete structures", both present as a single document that includes all aspects that relate to the protection of processes and / or repair, as well as leads to an absolute involvement of all professionals affects the work (owners of the works, designer, contractors and suppliers material). This fact has allowed a higher level of confidence of project owners and simultaneously obtaining quality construction and superior durability. The standard content comprises 10 distinct parts. Initially, there will be a theoretical approach of each party, follows the relationship between them and finally their practical applicability through four concrete examples. Thus, it intends to contribute will progress Professional, no use this powerful wide application tool, from simple detection of pathologies arising from the development and repair of project control.
Keywords: EN 1504, Recommendations, Standardization, Repair.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

1. ENQUADRAMENTO

Para além das causas naturais de deterioração já conhecidas nas estruturas de concreto (de natureza: mecânica, física, química e biológica), bem como as falhas afetas a erros humanos (refletidas em erros de projeto, uso inadequado de materiais de construção, falhas ao longo da construção e inexistência de manutenção eficiente, etc) [1], existem ainda outros fatores que ao agravar-se nas últimas décadas, tais como: a especulação econômica dos custos imobiliários e a falta de rigor por parte de profissionais e empresas pressionados pela forte concorrência, a crescente poluição ambiental, entre outros, têm conduzido respetivamente a estruturas cada vez mais esbeltas e menos preparadas a determinados agentes patológicos. Como consequência, vários anos após o grande "boom" da utilização do concreto na construção, observa-se o crescente envelhecimento das estruturas, repletas de anomalias, que desencadeiam a necessidade de preservação do patrimônio edificado. Torna-se portanto premente o desenvolvimento de técnicas e de materiais que visem não só dotar as construções em concreto armado das caraterísticas mecânicas, funcionais e estéticas originais, como também prolongar o seu ciclo de vida útil. É notória a crescente preocupação das entidades governamentais, em legislar o setor da construção civil, no sentido de criar uniformização dos aspetos construtivos e deste modo garantir qualidade, desempenho e durabilidade das construções. Por sua vez, as construtoras perante as novas realidades, procuram adaptar-se com a consciência de que a presença no mercado, exige cada vez mais imagem de marca pautada pelo rigor e obediência à legislação vigente. Neste cenário, este trabalho visa apresentar especificações pertinentes para o alcance da durabilidade, pautadas no documento EN 1504.

2. A EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

Segundo [2], a construção em concreto até a década de 80 era regida pelo bom senso e a experiencia profissional, sendo o principal requisito da segurança a resistência média à compressão. Com o evoluir dos conhecimentos, sobretudo acerca dos mecanismos de transporte de líquidos e gases agressivos no interior de meios porosos (o concreto) e ainda das possíveis consequências de sinergia entre diferentes processos de degradação [3], foi possível associar o fator tempo aos modelos matemáticos que expressam quantitativamente esses mecanismos, contribuindo significativamente para a avaliação da vida útil expressa em número de anos e não mais em critérios de adequação da estrutura a certos graus de exposição ambiental. Consequentemente, a durabilidade deixou de ser um aspeto subjetivo, exclusivamente assegurado por exigências prescritivas, para dar lugar a um dos mais importantes requisitos de projeto.

Por outro lado, normas e documentos técnicos das mais diversas entidades (nacionais e internacionais), elaborados nas três últimas décadas, muito contribuíram para o alargamento e consolidação dos conhecimentos a favor da durabilidade e aumento de vida útil das estruturas de concreto. Pelo exposto e perante fatores como competitividade, custos e preservação do meio ambiente, é possível observar-se a atual tendência a nível mundial, de privilegiar os aspetos de projeto com base nos requisitos anteriormente focados, exigindo equipes multidisciplinares, com atuação em todas as etapas do processo construtivo e sobretudo com domínio dos fenómenos e/ou processos físico-químicos-mecânicos e suas sinergias.

3. NORMAS

3.1 Conceito e objetivos; Organismos de normalização (comités)

Segundo [4], a crescente competitividade, as exigências dos mercados globalizados e as necessidades da sociedade, requerem das organizações a adoção de métodos de gestão otimizados, que dependem da capacidade de incorporação de novas tecnologias de produtos e de processos. Este contexto direciona as empresas ao uso da normalização de forma a representar um instrumento de gestão facilitador do acesso aos mercados. Neste sentido, a normalização veio regular e aperfeiçoar a adequação de produtos, processos e serviços aos fins para que foram concebidos, aumentado desta forma, a aceitabilidade por parte dos mercados mediante as referências dos métodos normalizados. Paralelamente, contribuiu ainda ajudar a otimização da gestão das empresas e na prestação de serviços, com diminuição consequente, dos custos inerentes. Poder-se-á dizer que, as normas propiciam o correto suprimento das necessidades práticas dos produtores e consumidores e são fundamentais para a eliminação de desperdícios de tempo, matéria-prima e mão-de-obra, o que resulta em crescimento do mercado, melhoria da qualidade e redução de preços e custos, fatores que alimentam o ciclo motor do desenvolvimento social. De uma forma sucinta, a Normalização é desenvolvida em diversos níveis através de organismos de normalização internacionais (ISO), regionais (CEN – Organismo Europeu de Normalização) e nacionais (ONN – Organismos Nacionais de Normalização, sendo exemplo: ANSI, BSI, AFNOR, ABNT, IPQ, AENOR, UNI).

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

3.2 Principais normas Europeias aplicáveis ao projeto e execução de estruturas de concreto.

3.2.1 Evolução normativa; Transposição das normas europeias para a regulamentação Portuguesa.

Com o sentido de regular a atividade da construção que envolve a utilização do material "concreto", a Europa nomeou desde a década de 80 um grupo de trabalho TC 104 do CEN (Comité Europeén de Normalisation), composto por vários subcomités, destinados a elaboração de uma serie de normas específicas referente ao elemento "Betão". Dos inúmeros subcomitês, evidencia-se o SC1 destinado a emissão e revisão da Norma provisória ENV 206: 1990, "Betão – Comportamento, produção, colocação e critérios de conformidade", com o objetivo de regular e uniformizar a fabricação e aplicação do concreto, com base nos pressupostos de durabilidade. Estes novos regulamentos, já se apresentam mais consistentes que os anteriores, por apresentarem um maior domínio dos principais fatores que intervêm na durabilidade do concreto. Nos anos 90 foram publicados um conjunto de Normas, (9) Eurocódigos, para utilização em projeto de diferentes materiais, destacando-se a EN 1992: "Projeto de Estruturas de Betão", que absorve e consolida todos os aspetos referente às propriedades e aplicação do concreto, constantes na Pré-Norma ENV 206.

O novo enquadramento regulamentar do material " concreto " consubstanciado pela Norma EN 206-1: 2005 "Especificação, Desempenho, Produção e Conformidade". A revisão da presente Norma tem em consideração as evoluções tecnológicas relacionadas com os aspetos da produção, a durabilidade das estruturas e as metodologias de ensaio. Porém, as alterações mais significativas, situam-se na classificação das ações ambientais e nos requisitos para os concretos inseridos em ambientes agressivos; no uso de adições em substituição de parte do concreto e no controle da produção, incluindo o controlo de conformidade. Por outro lado, todas as questões que se relacionam com a execução em obra, isto é, a Colocação, Compactação e Cura, foram retiradas da original ENV 206 e remetidos para a Pré-Norma ENV 13670-1: 2000 "Execução de Estruturas de Concreto", que mediante atualizações, se encontra a vigorar através da EN 13670: 2009.

A Norma EN 206-1: 2005, de acordo com a inserção da obra no meio ambiente, impõe do projetista a necessidade de conhecer, avaliar e classificar o grau de agressividade do ambiente a que a estrutura de concreto armado se encontra exposta, para que com base nessa classificação, seja possível definir o tipo de cimento (que inclui o uso de adições), a classe de resistência mínima do concreto, a dosagem mínima de cimento, a máxima razão agua/cimento, o recobrimento nominal mínimo, a máxima dimensão do agregado, a classe de teor de cloretos, o uso de eventuais aditivos (adjuvantes) e a classe de consistência, se assemelhando aos critérios na ABNT NBR 6118 que variam de acordo com a classe de agressividade ambiental na qual a edificação está inserida. Percebe-se deste modo, a relação direta, entre a classe de agressividade ambiental (caraterizada pelos agentes patológicos locais) e a natureza e caraterísticas do concreto a projetar. Cumprindo todos estes requisitos, é expectável que a estrutura durante a sua vida útil de projeto (de 50 ou 100 anos, segundo a categoria pré-estabelecida), possa suportar com nível apropriado de confiabilidade e de forma económica todas as ações (quer mecânicas, quer ambientais), durante o seu uso e sua operação e continuar adequada á função para o qual foi concebida.



Figura 1: Transposição das normas europeias para a regulamentação Portuguesa. Relação entre a norma NP EN 206-1: 2007 e as normas de projeto (NP EN 1992: 2010) e execução de obras (NP EN 13670: 2010) [5]

3.3 Norma europeia aplicável á reabilitação de estruturas de concreto

3.3.1 Apresentação da norma EN 1504; objetivos e organização. A norma Portuguesa NP EN 1504.

Do grupo de trabalho TC 104 do CEN (Comité Europeén de Normalisation) referido anteriormente, destaca-se o Subcomitê 8 (SC8), encarregado da preparação de uma série de normas específicas para a reparação e proteção de estruturas de concreto, incluindo definições, requisitos dos produtos, referências e métodos de ensaio, controle da qualidade e verificação da conformidade. Em 2009 é emitida uma Norma Européia EN 1504: 2009, intitulada "Produtos e Sistemas para a Reparação e Proteção de Estruturas de Betão", que tem por objetivo a definição dos produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de concreto, bem como o estabelecimento dos seus princípios, métodos, requisitos, controlo de qualidade e avaliação da conformidade e especificações referentes à aplicação dos mesmos. Para além do exposto, a norma atribui responsabilidades a todos os intervenientes afetos á atividade da construção/reparação, em função do seu desempenho, bem como prevê o controle técnico dos produtos de reparação e proteção do concreto que circulam no espaço Europeu, através da marcação CE que inclui o registo de todas as caraterísticas requeridas e obtidas através de ensaios normalizados (EN 1505-2). Este projeto requereu da indústria de fabricação dos materiais de construção, um avanço tecnológico notável relativamente aos requisitos de desempenho técnico dos produtos de reparação e proteção do concreto. A existência de modelos de classificação previstos na Norma, permitiu aos fornecedores catalogar os seus produtos em função das suas caraterísticas e para as funções a que se destinam. Deste modo, sem margem de erro, poder-se-á dizer que este regulamento normativo representa o culminar de mais de 15 anos de trabalho por parte de profissionais de todos os quadrantes da indústria de reparação do concreto.
Trata-se indubitavelmente de um recurso que auxilia projetistas, empreiteiros, empresas fabricantes e garante a satisfação e a confiança dos proprietários.

Transposta para a Norma Portuguesa, a NP EN 1504, apresenta 10 partes distintas, de acordo com as suas funções: (Figura 2)

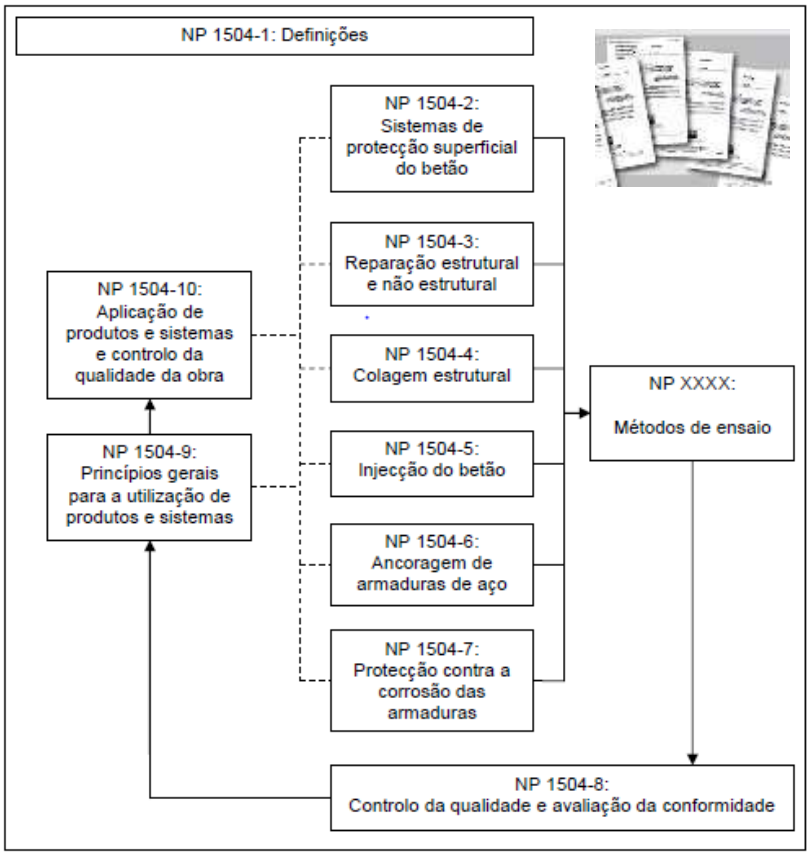

Figura 2: Interligação entre as diferentes partes da NP EN 1504, (Adaptado de [6])

Nota: dado que a Norma de referência daqui por diante é a Norma Portuguesa, NP EN 1504, passaremos a designar ao elemento "concreto" a designação "betão", para estar em consonância com a referida Norma.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

- ✓ NP 1504-1: Descreve os termos e definições contidos na norma;
  - ✓ NP 1504-2: Fornece especificações para os produtos/sistemas de proteção superficial do betão;
  - ✓ NP 1504-3: Fornece especificações/requisitos para a reparação estrutural e não estrutural;
  - ✓ NP 1504-4: Fornece especificações/requisitos para a colagem estrutural;
  - ✓ NP 1504-5: Fornece especificações/requisitos para a injeções em betão;
  - ✓ NP 1504-6: Fornece especificações/requisitos para a ancoragem de armaduras;
  - ✓ NP 1504-7: Fornece especificações/requisitos para a proteção anticorrosiva de armaduras;
- ✓ NP 1504-8: Descreve o controlo da qualidade e avaliação da conformidade de produtos e sistemas previstos na serie NP EN 1504, contemplando a sua marcação "CE" e a sua rotulagem.
  - ✓ NP 1504-9: Define os princípios gerais para a utilização de produtos e sistemas na reparação e proteção do betão;
  - ✓ NP 1504-10: Fornece informações sobre a aplicação dos produtos em obra e controlo de qualidade dos trabalhos.

Segundo [6], as 10 partes que constituem a norma, estão associadas a cerca de 65 diferentes normas, correspondentes aos métodos de ensaios referentes aos requisitos de identificação e desempenho dos produtos e sistemas e ao controle da sua qualidade e à avaliação da sua conformidade. A Fig. 2, ilustra a interligação entre as várias partes da norma.

A parte 1 da NP EN 1504 contempla as definições de todos os termos aplicados na totalidade das partes e define as principais categorias de produtos e sistemas, bem como os tipos de químicos e principais constituintes dos mesmos.

As partes 2 a 7, inclusive, constituem o cerne da série, referindo-se aos requisitos de identificação e desempenho dos tipos de sistemas e produtos contemplados na norma, bem como os métodos de ensaio a eles associados.

A parte 8, resume todos os procedimentos para o controlo da qualidade, que se baseiam na EN ISO 9001, e a avaliação da conformidade dos produtos e sistemas previstos na série NP EN 1504, contemplando a sua marcação "CE" e a sua rotulagem, de acordo com um conjunto específico de ensaios. Destina-se ao fabricante e ao Instituto de Certificação.

A parte 9 corresponde à aplicação geral e princípios gerais para o uso dos produtos e sistemas definidos nas partes 2 a 7. A parte 10, refere-se a aplicação no local dos materiais e ao controle da qualidade dessa aplicação.

3.3.2 Fases de um projeto de reparação – NP EN 1504-9

Havendo necessidade de se proceder à realização de um projeto de reparação, a Norma NP EN 1504 orienta, propondo de forma flexível as seguintes fases de projeto, subdivididas em seis subcapítulos:

- ✓ Informação acerca da estrutura;

(através das peças de projeto, do plano de manutenção, das condições locais ou outras)

- ✓ Processo de avaliação;

(Deve incluir: Estado visível da estrutura; Ensaio que permitem determinar o estado do betão e das armaduras; Mapeamento das anomalias; Conceção original do projeto; Caraterização das condições de exposição ambiental; Condições existentes durante a construção, incluindo condições climatéricas, materiais utilizados, tais como a natureza da água de amassadura, tipo de agregados, etc; Historial da estrutura em termos de ações e tipo de utilização da estrutura; Definição dos requisitos para o uso futuro da estrutura, etc.)

- ✓ Estratégia de gestão;

(A vida útil de projeto após intervenção de reparação é fundamental na escolha da estratégia de gestão. As intervenções podem ser do tipo exaustivas ou de manutenção. Segundo a Norma, a escolha apropriada de reparação deve ter em consideração as seguintes opções de gestão: Não intervir mas monitorizar; Reanalisar a capacidade da estrutura, podendo conduzir a uma alteração de funcionamento; Prevenir ou reduzir outras deteriorações; Reforçar ou reparar e proteger toda ou parte da estrutura de betão; Reconstituir ou substituir toda ou parte da estrutura de betão; Demolir toda ou parte da estrutura de betão. Um outro aspeto importante que a norma acrescenta é a especificação dos fatores a considerar na escolha do método de reparação. A escolha de uma estratégia de gestão não se restringe á vertente técnica. Deve implicar análise a outros fatores, tais como: económicos, funcionais, ambientais, bem como os próprios requisitos futuros pretendidos pelo dono de obra, (ou seja, fatores de: Base, Estruturais, Saúde /Segurança e Ambientais).

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

- ✓ Projeto do trabalho de reparação;

(As fases tipo propostas pela Norma são: Recolha dos dados resultantes do processo de avaliação e da estratégia de gestão; Análise dos princípios de reparação aplicáveis; Escolha dos métodos para proteção e reparação da estrutura; Análise de possíveis consequências indesejáveis resultantes da aplicação de um ou mais métodos nas condições específicas individuais; Definição das especificações dos produtos e sistemas correspondentes aos métodos de reparação adotados, baseados nos requisitos definidos nas partes 2 a 7 da NP EN 1504; Realização de análise estrutural e da segurança após a proteção e a reparação).

- ✓ Trabalho de reparação;

(O modo de execução dos trabalhos é parte determinante no complexo processo de proteção e reparação de estruturas de concreto armado. A Parte 10 da NP EN 1504 vem desse modo definir os requisitos do substrato antes e durante a aplicação, incluindo estabilidade estrutural dos elementos em estudo, preparação e aplicação dos produtos e sistemas de reparação, controlo de qualidade dos trabalhos efetuados, segurança, saúde e ambiente. De um modo geral, a norma NP EN 1504-10 define para cada método de reparação 3 fases de processo: preparação do substrato; aplicação de produtos e sistemas; controlo da qualidade. O controlo de qualidade dos trabalhos de reparação é efetuado através de ensaios ou observações, em função do método utilizado. A norma disponibiliza um quadro com o sumário dos ensaios e observações a realizar, que se encontra subdividido em quatro fases: condições do substrato antes ou depois da preparação; aceitação de produtos e sistemas; condições e requisitos antes ou durante a aplicação; e condição final do endurecimento. Para cada um dos quarenta e cinco ensaios e observações, o anexo A da NP EN 1504-10 específica a norma EN, normas nacionais ou ISO a utilizar para a sua realização, dando ainda orientações sobre os parâmetros máximos e mínimos aceitáveis para os ensaios das características).

- ✓ Aceitação do trabalho de reparação;

Após o término dos trabalhos de reparação e sempre que aplicável, deve ser implementado um sistema de gestão da manutenção, de forma a garantir o tempo de vida útil das intervenções. Nos casos em que a integridade da estrutura dependa diretamente do bom estado dos produtos e sistemas, estes devem ser regularmente inspecionados, ensaiados e renovados se necessário. Assim sendo, o dono de obra deve ficar com todos os registos dos materiais utilizados e respetivos modos de aplicação, bem como das intervenções futuras a realizar no âmbito da inspeção e manutenção, os riscos inerentes à deterioração dos trabalhos efetuados e qual o tempo de vida útil da estrutura.

3.3.3 Princípios e métodos de proteção e reparação – NP EN 1504-9

A série NP EN 1504 estabelece 40 métodos de reparação, agrupados em 11 princípios que possibilitam a prevenção das causas de deterioração físicas, químicas e eletroquímicas, que surgem no concreto e nas armaduras. Seis desses princípios estão relacionados com os defeitos do betão e cinco com a corrosão das armaduras. A cada princípio estão associados vários métodos e para cada método é possível adequar produtos ou sistemas. Os sistemas surgem da conjugação de dois ou mais produtos aplicados de forma sucessiva ou conjunta. Os princípios seguidos pela Norma abrangem as causas já conhecidas: ações humanas, mecânicas, físicas e químicas P(1-6) e ações eletroquímicas P(7-11).

Tabela 1 – Princípios e os Métodos relacionados com a degradação da matriz de betão

PRINCIPIOS	MÉTODOS
P1 [PI] - Proteção contra o ingresso de agentes agressivos	MR1.1 – Impregnação hidrofóbica, MR1.2 – Impregnação, MR1.3 – Revestimento superficial, MR1.4 – Fendas localmente tapadas, MR1.5 – Enchimento de fendas, MR1.6 – Transformação de fendas em juntas, MR1.7 – Colocação de painéis externos, MR1.8 – Aplicação de membranas
P2 [MC] - Controlo da humidade	MR2.1 – Impregnação hidrofóbica, MR2.2 – Revestimento superficial, MR2.3 – Proteção física ou camada de recobrimento, MR2.4 – Tratamento eletroquímico

P3 [CR] - Restauração do betão	MR3.1 – Aplicação de argamassa à mão, MR3.2 – Nova betonagem, MR3.3 – Projeção de argamassa ou de betão, MR3.4 – Substituição de elementos
P4 [SS] - Reforço estrutural	MR4.1 – Adição ou substituição de armaduras externas ou internas, MR4.2 – Colocação de armaduras em furos existentes ou a fazer, MR4.3 – Colagem de chapas de reforço, MR4.4 – Colocação de argamassa à mão, MR4.5 – Injeção de fendas ou vazios, MR4.6 – Enchimento de fendas ou vazios, MR4.7 – Pré tensão ou pós tensão.
P5 [PR] - Resistência física	MR5.1 – Camadas de recobrimento ou revestimento, MR5.2 – Impregnação, MR5.3 – Adição de argamassa ou betão.
P6 [RC] - Resistência ao ataque químico	MR6.1 – Camadas de recobrimento ou revestimento, MR6.2 – Adição de argamassa ou betão.

Tabela 2 – Princípios e os Métodos relacionados com a corrosão das armaduras

PRINCIPIOS	METODOS
P7 [RP] - Preservação ou restituição da camada passiva das armaduras	MR7.1 – Aumento do recobrimento com argamassa ou betão, MR7.2 – Substituição de betão contaminado ou carbonatado, MR7.3 – Realcalinização eletroquímica do betão carbonatado, MR7.4 – Realcalinização do betão carbonatado por difusão, MR7.5 – Extração eletroquímica dos cloretos do betão.
P8 [IR] - Aumento da resistividade do betão	MR8.1 – Impregnação hidrofóbica, MR8.2 – Revestimento superficial.
P9 [CC] - Controlo catódico	MR9.1 – Limitação do teor de oxigénio no cátodo por saturação do betão ou revestimentos superficiais
P10 [CP] - Proteção catódica	MR10.1 – Aplicação de potencial elétrico.
P11 [CA] - Controlo das áreas anódicas	MR11.1 – Pintura das armaduras com tintas que contenham pigmentos ativos, MR11.2 – Pintura das armaduras com tintas que funcionem como barreiras, MR11.3 – Aplicação de inibidores de corrosão no betão.

O Principio 1 [PI] – Redução ou prevenção do ingresso de agentes agressivos, tais como a água e outros líquidos, vapor, gases, agentes químicos (sais, ácidos) ou biológicos, através do bloqueio das fendas ou da porosidade do betão.

O Principio 2 [MC] – Controle do teor de humidade no concreto num intervalo de valores especificado, o que reduz a probabilidade de ocorrência de determinadas patologias, por exemplo: as reações alcalis-sílica e os ciclos de gelo degelo

O Principio 3 [CR] – Restauração do betão original para a forma e função especificadas. A substituição do betão, deverá ser efetuado caso se verifique deterioração do tipo delaminação, corrosão das armaduras, ataque químico, etc.

O Principio 4 [SS] – Aumento ou reposição da capacidade estrutural de um elemento da estrutura, nos casos em que esta se encontre limitada na sua função estrutural.

O Principio 5 [PR] – Aumento da resistência a ataques físicos ou mecânicos, sendo exemplo o desgaste superficial.

O Principio 6 [RC] – Aumento da resistência química da superfície do betão á deterioração por ataque químico

O Principio 7 [RP] – Preservação ou restituição da camada passiva das armaduras, que deverá ser aplicado nos casos em que as armaduras se encontram despassivadas ou em processo de despassivação, limitando assim a corrosão.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

O Principio 8 [IR] – Aumento da resistividade elétrica do betão. Pretende-se diminuir o risco ou evolução da corrosão, limitando as trocas entre o ânodo e o cátodo, por exemplo: através da diminuição do grau de humidade do betão.
O Principio 9 [CC] – Controlo catódico, visa impedir a formação de uma zona catódica, para que não se dê o processo eletroquímico que origina a corrosão nas zonas anódicas.

O Principio 10 [CP] – Proteção catódica, implica a criação de um sistema que impeça a formação de zonas anódicas.

O Principio 11 [CA] – Controlo das áreas anódicas, é utilizado para prevenir a formação de zonas anódicas no aço, recorrendo à sua proteção com inibidores de corrosão.

3.3.4 Considerações gerais sobre a execução dos trabalhos e o controle de qualidade – NP EN 1504-8; NP EN 1504-10

Definida a estratégia de gestão, segue-se a realização do projeto de trabalho de reparação, com base nas principais etapas de projeto: (Escolha dos princípios e métodos de reparação com base nos elementos recolhidos; Análise de compatibilidade dos métodos e das condições de exequibilidade; Definição dos produtos e sistemas a aplicar em função dos princípios e métodos adotados e da análise económica; Avaliação dos resultados da intervenção na estrutura). As especificações dos produtos e sistemas correspondentes aos métodos de reparação adotados, encontram-se definidas nas características de desempenho constantes nas tabelas das partes de 2 a 7 da Norma NP EN 1504.

Sobre á execução dos trabalhos, a Norma prevê fundamentalmente 3 fases: preparação do substrato (limpeza do concreto, aderência entre materiais e remoção do betão danificado, preparação do aço); aplicação de produtos e sistemas; controlo de qualidade. Em relação às 2 primeiras fases, a parte 10 da NP EN 1504, apresenta linhas orientadoras (através de Tabelas), dos procedimentos a adotar consoante o método de reparação escolhido. No que diz respeito ao controle de qualidade, a Norma apresenta a parte 8 relativa ao Controlo da Qualidade e Avaliação da Conformidade de produtos e sistemas e a parte 10 relativa á Aplicação e Controlo da Qualidade dos Trabalhos.
Na parte 8, são apresentadas os ensaios de desempenho para garantir que produtos e sistemas respeitam as especificações apresentadas nas restantes partes da Norma, bem como indicações relativas a equipamento, rotulagem de materiais e fiscalização. Na parte 10, (através de tabelas) são especificados, de acordo com o método adotado, os ensaios e observações a utilizar para avaliar a condição do substrato, a conformidade de produtos e sistemas a aplicar e o cumprimento de requisitos de qualidade.

3.4 Casos de estudo

3.4.1 Apresentação de casos de estudo; Estratégia de gestão; Projeto do trabalho de reparação [7].

Pela elevada ocorrência na prática de casos de deterioração do betão por efeito da corrosão, serão apresentados quatro (4) cenários de estudo, sendo estes:

- Destacamento localizado do concreto
  1. Corrosão causada pela ação da Carbonatação
  2. Corrosão causada pelo ingresso de Cloretos
- Deterioração do concreto com perda parcial da seção do elemento
  3. Corrosão causada pela ação da Carbonatação
  4. Corrosão causada pelo ingresso de Cloretos

Admitindo que as hipotéticas obras nos casos 2 e 4, se encontram em ambiente marinho (propicio á penetração de cloretos para o interior do betão por difusão em solução aquosa) e as obras nos casos 1 e 3, se encontram nas proximidades de estradas de elevado trafego (propicio á grande acumulação de dióxido de carbono na atmosfera, iniciou-se o processo de avaliação (parte 9 da Norma), através de uma inspeção visual ás obras e elaborou-se um mapeamento local das áreas visivelmente afetadas. Da inspeção visual resultaram as seguintes conclusões: manchas de ferrugem na superfície do concreto em ambos os casos, destacamento localizado da camada de recobrimento nos casos 1 e 2 e em estado já bastante mais avançado, perda parcial da seção do elemento com armaduras expostas, nos casos 3 e 4. Os sintomas apresentados conferem com os agentes patológicos predominantes, no ambiente de exposição local das estruturas. Na realização da inspeção preliminar são utilizados auxiliares de diagnósticos como o fissurómetro, o esclerómetro, o medidor de humidade, etc, com vista á obtenção de dados que possam vir a ser correlacionáveis com

constatações já existentes. No entanto, para reforçar o diagnóstico é necessário proceder-se a determinados ensaios adequados ás patologias em causa. Hoje em dia existe uma grande variedade de ensaios, que para além de beneficiarem de novas tecnologias, são sobretudo ensaios não destrutivos, sendo classificados de um modo geral, de Ensaios Estruturais (In-situ e Laboratoriais) e Ensaios de Durabilidade (In-situ e Laboratório).

Para os casos em estudo e de acordo com a sintomatologia apresentada em obra, optaríamos pelos seguintes ensaios:

- Determinação in-situ do teor de cloretos: (caso 2 e 4)
- Determinação da profundidade de carbonatação de betões: (casos 1 e 3)
- Medição da espessura do recobrimento; (casos 1,2,3 e 4)
- Avaliação da taxa de corrosão das armaduras pela técnica da resistência de polarização: (casos 1,2,3 e 4)
- Avaliação do risco de corrosão ativa das armaduras através medição da resistividade do betão: (caso 1,2,3,4)

Com base nos resultados obtidos, (ou seja, perante a presença de cloretos e a profundidade de carbonatação significativa para justificar a corrosão das armaduras, muito mais expressiva nos casos 3 e 4 pela maior destruição, em profundidade, da camada passiva e o consequente destacamento das camada de cobrimento provocado pelas tensões internas dos subprodutos da corrosão), poder-se-á seguidamente dar inicio á Estratégia de Reparação. Esta, compreende para cada caso na escolha dos Princípios, Métodos, Produtos e Sistemas, mais adequados.

Os Princípios e os Métodos constam na parte 9 da Norma. Detetadas as causas e comprovados os efeitos é possível estabelecer os princípios e os métodos a ter em conta na reabilitação das estruturas. Para os casos em estudo (na presença de iões cloreto ou de carbonatação) os princípios e os métodos são idênticos, existindo posteriormente sistemas e produtos mais adequados a uma situação e á outra. Assim sendo, podemos ter os seguintes Princípios associados á estratégia de reabilitação, segundo a Norma:

- Controlo das áreas anódicas (corrosão das armaduras);
- Preservação ou restauração da passividade (corrosão das armaduras);
- Reforço estrutural (deterioração do betão);
- Restauração do betão (deterioração do betão);
- Proteção contra o ingresso (deterioração do betão);
- Aumento da resistividade (corrosão das armaduras);
- Controlo da humidade (deterioração do betão).

Perante os Princípios e os Métodos assumidos para cada caso, segue-se a escolha dos Produtos ou Sistemas mais eficazes, para o fim a que se destinam, tendo em conta os aspetos técnico e/ou económicos. Esta tarefa está simplificada uma vez que os fornecedores de materiais de construção, possuem todos os seus produtos catalogados segundo a NP EN 1504-9, encontrando-se dispostos segundo os princípios e métodos a que dizem respeito e em função dos seus objetivos.

Tabela 2: Princípio e métodos relacionados com corrosão de armaduras

Princípio	Descrição	Método	Soluções Sika
⋮			
Princípio 10	**Protecção catódica.**	10.1 Aplicação de um potencial eléctrico.	Argamassas de recobrimento **Sika®**.
Princípio 11	**Controlo de zonas anódicas.** Criar condições para que zonas potencialmente anódicas da armadura não intervenham na reacção de corrosão.	11.1 Revestimento activo das armaduras. 11.2 Revestimento de protecção das armaduras. 11.3 Aplicação de inibidores de corrosão no ou sobre o betão.	**SikaTop® Armatec-110 EpoCem®, Sika® MonoTop®-910 S.** **Sikadur®-32 N.** Inibidores de corrosão de aplicação superficial e adjuvante **Sika® FerroGard®.**

Figura 3: Exemplo de tabelas de Produtos e/ou Sistemas de um Fabricante Português R01, segundo a NPEN 1504-9 [8]

Obviamente que todos esses produtos e sistemas, para serem aprovados pela norma, passam por uma panóplia de testes e ensaios com vista ao cumprimento dos requisitos de identificação e desempenho previstos nas partes 2 a 7 da Norma.

Para os 4 casos em estudo, a estratégia de reabilitação visa conferir aos elementos as caraterísticas do ponto de vista estético e de resistência mecânica, iguais ou superiores às condições originais. Para tal, foram adotados os seguintes

Princípios, Métodos, Produtos e Sistemas, tendo em conta a escolha dos fornecedores (R 01; R 02; R 03; R 04) e a dupla preço/qualidade dos seus produtos.

➘ 1º CASO - Elemento sujeito à ação da carbonatação, deteriorado pontualmente. (Fornecedor R 01)

Sintomas/Diagnóstico: Existe corrosão localizada por carbonatação, mas grande parte do elemento não esta ainda afetado, pelo que a reparação e proteção serão localizadas na ótica da prevenção contra a carbonatação do elemento.

Princípios / Métodos (tratamentos superficiais no Concreto e no Aço):

- Controlo das áreas anódicas (CA) – Aplicação de revestimento ativo da armadura (Tintas);
- Preservação ou restauração da passividade (RP) – Substituição do concreto contaminado ou carbonatado;
- Restauração do betão (CR) – Argamassa aplicada à mão;
- Proteção contra o ingresso (PI) – Aplicação de revestimento por pintura;
- Aumento da resistividade (RI) – Aplicação de revestimento por pintura.

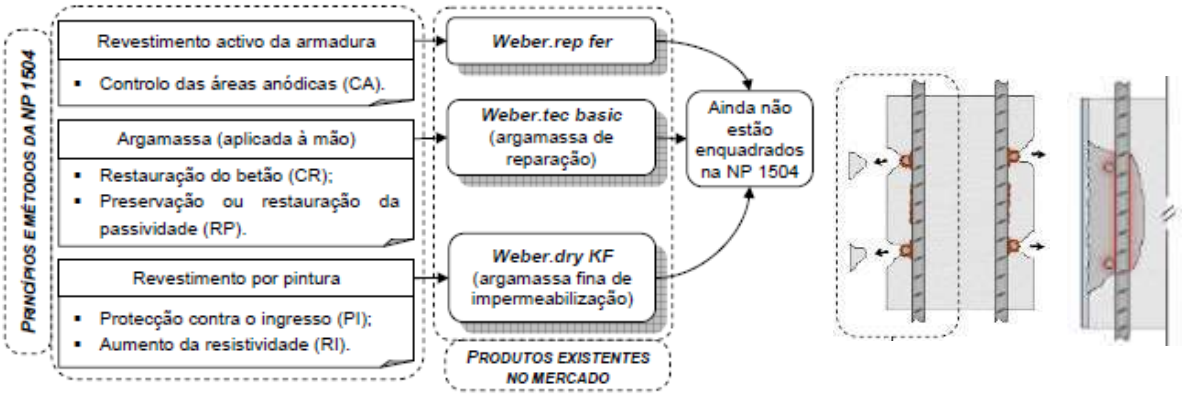

Figura 4: Articulação entre os produtos de mercado e os Princípios e Métodos adotados – Caso 1

➘ 3º CASO - Elemento sujeito à ação da carbonatação, cuja seção está parcialmente deteriorada (Fornecedor R 03)

Sintomas/Diagnóstico: Existe corrosão generalizada por carbonatação, mas parte do elemento não esta ainda afetado, pelo que a reparação e proteção a realizar será de forma exaustiva e extensa na ótica da prevenção contra a carbonatação

Princípios / Métodos (tratamentos superficiais no Concreto e no Aço):

- Controlo das áreas anódicas (CA) – Aplicação de revestimento ativo da armadura (Tintas);
- Preservação ou restauração da passividade (RP) – Substituição do betão contaminado ou carbonatado;
- Reforço estrutural (SS) – Adição de argamassa;
- Restauração do betão (CR) – Aplicação de nova argamassa cofrada (aplicação formas para segurar o betão);
- Proteção contra o ingresso (PI) – Aplicação de revestimento por pintura;
- Aumento da resistividade (RI) – Aplicação de revestimento por pintura.

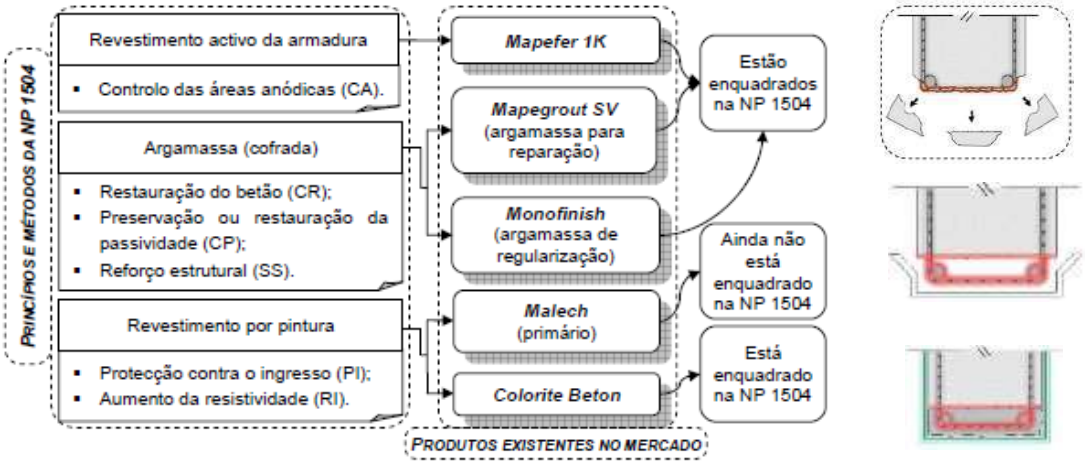

Figura 5: Articulação entre os produtos de mercado e os Princípios e Métodos adotados – Caso 3

➘ 2º CASO - Elemento sujeito à ação dos iões cloretos, deteriorado pontualmente. (Fornecedor R 02)

Sintomas/Diagnóstico: Existe corrosão localizada pela ação de cloretos, mas grande parte do elemento não esta ainda afetado, pelo que a reparação e proteção serão localizadas na ótica da prevenção, contra o reingresso de iões cloreto.

Princípios / Métodos (tratamentos superficiais no Betão e no Aço)

- Controlo das áreas anódicas (CA) – aplicação de revestimento ativo da armadura (Tintas);
- Preservação ou restauração da passividade (RP) – Substituição do betão contaminado;
- Restauração do betão (CR) – Argamassa aplicada à mão;
- Controlo das áreas anódicas (CA) – Aplicação de inibidores de corrosão no betão;
- Proteção contra o ingresso (PI) – Aplicação de impregnação hidrofóbica;
- Controlo da humidade (MC) – Aplicação de impregnação hidrofóbica;
- Aumento da resistividade (RI) – Aplicação de impregnação hidrofóbica.

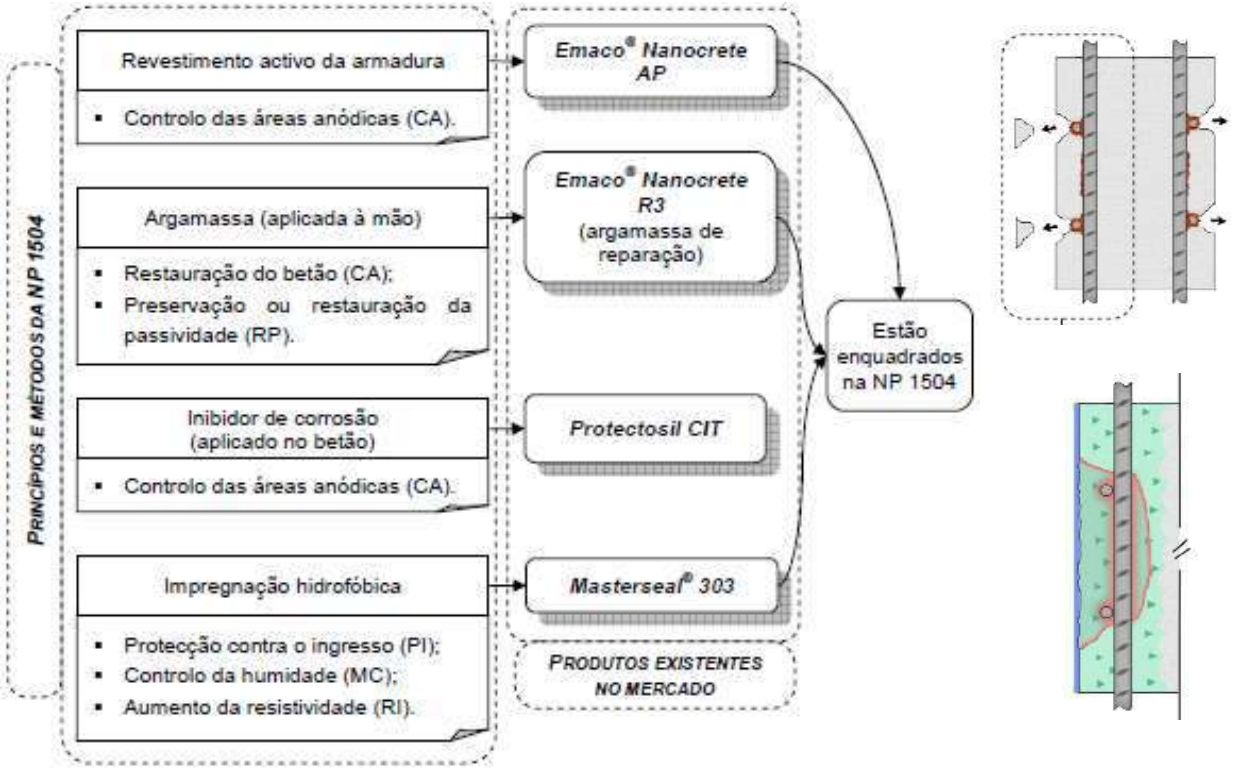

Figura 6: Articulação entre os produtos de mercado e os Princípios e Métodos adotados – Caso 2

➘ 4º CASO - Elemento sujeito à ação dos iões cloretos, cuja seção está parcialmente deteriorada. (Fornecedor R 04)

Sintomas/Diagnóstico: Existe corrosão generalizada pela ação de cloretos, mas parte do elemento não esta ainda afetado, pelo que a reparação e proteção a realizar será de forma exaustiva e extensa na ótica da prevenção contra o ingresso de iões cloreto

Princípios / Métodos (tratamentos superficiais no Betão e no Aço)

- Controlo das áreas anódicas (CA) – Aplicação de revestimento ativo da armadura (Tintas);
- Preservação ou restauro da passividade (RP) – Substituição do betão contaminado
- Reforço estrutural (SS) – Adição de argamassa;
- Restauração do betão (CR) – Aplicação de nova argamassa cofrada (aplicação de formas para segurar o betão)
- Controlo das áreas anódicas (CA) – Aplicação de inibidores de corrosão no betão;
- Controlo da humidade (MC) – pela aplicação de revestimento por pintura;
- Aumento da resistividade (RI) – pela aplicação de revestimento por pintura.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

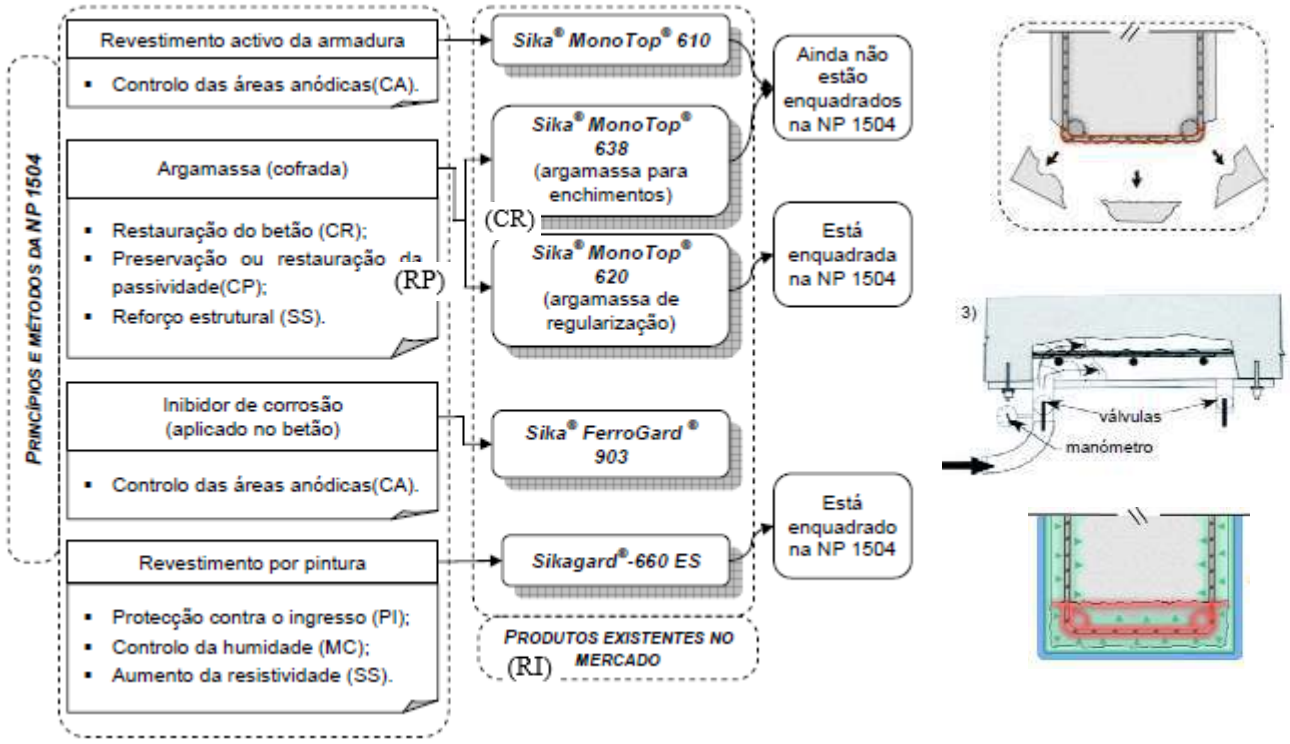

Figura 7: Articulação entre os produtos de mercado e os Princípios e Métodos – Caso 4

Muito havia a dizer sobre uma serie de tópicos que não foram convenientemente focalizados nos casos de estudo, sendo exemplo: o modo de realização dos ensaios preliminares e equipamentos utilizados para comprovação do diagnóstico; a natureza, caraterísticas técnicas e os ensaios a que os produtos e sistemas utilizados na reparação devem obedecer para garantia dos requisitos de desempenho constantes nas partes 2 a 7 da Norma; a sequência na aplicação dos produtos e sistemas, incluindo o modo de preparação dos substratos (betão e armaduras); o controlo de qualidade no decurso do desenvolvimento dos trabalhos, incluindo os ensaios inerentes a esse controle, descritos na parte 10 da Norma, bem como a compilação técnica a fornecer ao Dono de Obra, quer se trate do desenvolvimento de obra, como também da manutenção futura a prestar aos elementos recuperados, etc. A verdade é que a temática é tão extensa, que a proposta foi restringir-se aos aspetos mais importantes, com o propósito de permitir aos interessados evolução com entusiamo por se tratar de um mundo ainda em desenvolvimento, mas que apresenta já resultados muito concretos de estar a caminhar na direção certa. O simples fato desta Norma comprometer todos os intervenientes afetos á reabilitação de obras, só por si, já representa um marco histórico sem precedentes. Por último, refira-se que a Norma abarca um conjunto extenso e detalhado de informação (com especial destaque no controle de qualidade dos trabalhos, por intermédio de quadros e tabelas organizativas), que permitirá mesmo aos iniciantes uma progressão gradual dos conhecimentos, sem grandes dificuldades.

5. REFERÊNCIAS

[1] Norma ABNT NBR 6118, " Projeto de estruturas de concreto - Procedimento", Cap. 5,6, e 7, 2014, pp 13-21
[2] Helene, P. *et al*, "Concreto: Ciência e Tecnologia", Cap. 22 - *IBRACON*, 2011, pp 773 – 788
[3] Coutinho M. J. A. R., " Melhoria da durabilidade dos betões por tratamento da cofragem", *Feup*, 1998, pp 12-35
[4] Yan, T. S. A., "Técnicas e laboratórios de ensaios de Betões", *Ist*, 2013, pp 5-59
[5] Cachim P. "A especificação do betão segundo a Norma EN 206-1", *UA*, 2008, 39 p
[6] Goncalves A.; Aguiar S. D., "Curso de Especialização em conservação, reabilitação e reforço de edifícios", *LNEC-ISEL*, 2007, pp 3.1 – 3.30
[7] Catarino, A.M. "Reabilitação de superfícies de betão aparente", *Feup*, 2010, pp 71-97
[8] Manual Técnico do Fornecedor R04, "Reparação e proteção de betão, de acordo com a NP EN 1504", 2009, pp 52