

## **ALARGAMENTO E REFORÇO ESTRUTURAL DE PASSAGENS INFERIORES DA AUTO-ESTRADA DO NORTE**

**A. PERRY DA CÂMARA**

Prof. Adjunto da A.M.

PC&A

Lisboa

**Carlos VIEIRA**

Eng. Civil

PC&A

Lisboa

**Paulo BARROS**

Eng. Civil

BRISA/DIP

Carcavelos

**Pedro F. CARVALHO**

Eng. Civil

BRISA/GEN

Maia

### **SUMÁRIO:**

Descrevem-se as soluções de reforço estrutural utilizadas no alargamento das Passagens Inferiores do trecho Nó com o IC24 / Carvalhos do Sublanço Feira / Carvalhos da A1- Auto-estrada do Norte. Apresentam-se alguns aspectos do projecto e do faseamento da obra.

### **1. INTRODUÇÃO**

A necessidade de alargamento de algumas das principais vias de comunicação do nosso país tem obrigado os projectistas a conceber soluções estruturais de reforço e alargamento das obras de arte existentes mantendo-as em serviço. Estes projectos, por se tratarem de intervenções sobre estruturas muito diversas, constituem sempre um desafio.

Nos anos recentes foram feitas operações de reforço e alargamento em grandes estruturas como a Ponte 25 de Abril ou de alteração estrutural profunda para aproveitamento dos tabuleiros como nas Passagens Superiores da A2 junto a Almada.

As estruturas em causa são quatro passagens inferiores localizadas no sublanço Feira/ Carvalhos da Auto-estrada do Norte, nomeadamente no trecho compreendido entre o futuro Nó com o IC 24 e o Nó de Carvalhos . O alargamento deste sublanço para quatro vias em cada sentido implicou uma correcção da rasante que origina fortes recargas de pavimento. O aproveitamento do separador, anteriormente livre, com a colocação de separadores rígidos veio

também aumentar de forma significativa a carga permanente actuante sobre o tabuleiro. O projecto [1] tinha sido elaborado para as sobrecargas do RSEP (1961) [2] em que a sobrecarga uniformemente distribuída era de  $300 \text{ kg/m}^2$  contra os  $4 \text{ kN/m}^2$  do RSA [3]. Em contrapartida o veículo tipo, embora com peso idêntico, era afectado do coeficiente dinâmico de 1.2.

## 2. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO PROJECTO

Procedeu-se inicialmente a uma inspecção visual que revelou o bom estado geral das obras, apresentando apenas pequenas patologias, como os cantos agudos dos muros partidos, zonas com deficiências de recobrimento e fissuras com alguma extensão mas de abertura reduzida nos montantes da PI 26.

Em segundo lugar fez-se a verificação da segurança das estruturas existentes tendo em atenção que os tabuleiros estarão sujeitos, para além do tapete existente que já excedia largamente os 6 cm previstos no projecto inicial, a uma recarga de betão betuminoso com espessura variável e ainda a uma eventual futura recarga de 0.04 m. Tiveram-se em conta as alterações nos valores das sobrecargas rodoviárias que o R.S.A. introduziu. Este trabalho baseou-se no projecto de execução das obras (assumido como aquilo que estava construído) e nos dados resultantes da medição das espessuras de betuminoso existentes sobre as obras obtidos por carotagem local; com estes dados e os perfis transversais do projecto foi possível estimar os valores totais dos enchimentos a colocar em definitivo sobre o tabuleiro.

Esta análise permitiu identificar a falta de reserva de resistência em quatro das obras. Verificou-se que o acréscimo de cargas permanentes não punha em causa a segurança das fundações. No entanto os tabuleiros necessitavam de reforço e em duas das obras a base dos montantes também carecia de capacidade resistente. Compararam-se então as vantagens e desvantagens da utilização no tabuleiro de reforços com a utilização de colagem de armaduras em chapa de aço, em compósitos de carbono e a aplicação de pré-esforço exterior que compensasse o acréscimo de cargas permanentes.

A colagem de chapas de aço só se revelava adequada para o reforço da face interior dos pórticos. A colagem de mantas de fibras de carbono revelava-se adequada para o reforço quer das faces inferiores quer da face superior dos nós de ligação montantes / tabuleiro; no entanto nos casos em que era necessário este último reforço, tornava-se necessário escavar em alguma profundidade no tardo dos montantes o que se revelava difícil devido à necessidade de manutenção do tráfego nas proximidades. Finalmente o pré-esforço exterior revelou-se como a solução técnica e economicamente mais adequada para o reforço das PI 19, 21 e 22, uma vez que estas obras apresentavam alguma reserva de resistência na secção da base dos montantes, local onde o pré-esforço exterior do tabuleiro agrava os esforços induzidos pelas cargas permanentes. Descrevem-se seguidamente as soluções de reforço adoptadas.

### 3. PASSAGENS INFERIORES 19, 21 E 22

O reforço destas obras foi semelhante pelo que se apresenta o caso da PI 22 como típico. Nesta obra as sucessivas recargas de pavimento originaram a existência sobre a obra de arte de um enchimento com cerca de 0.20 m de espessura. A concepção da rasante e do perfil transversal vai originar que esse enchimento venha a atingir um máximo de 0.35 m.

A autoestrada deveria manter-se em serviço durante a execução dos alargamentos das obras de arte com uma largura mínima disponível por faixa de 7.50 m entre guardas de segurança.

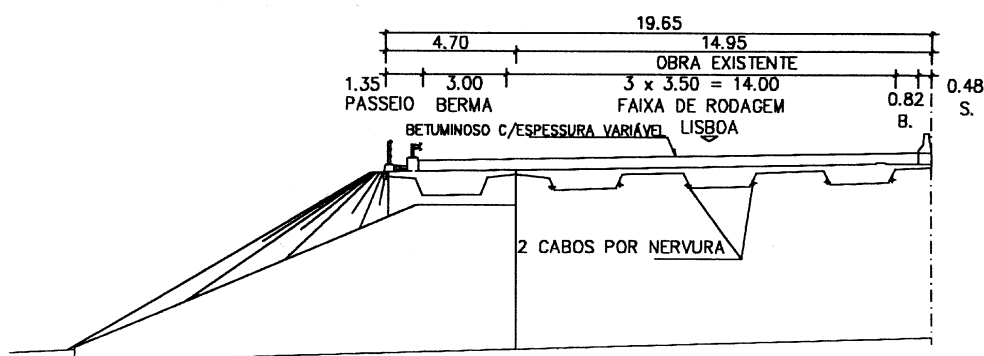


Figura 1 – Corte da PI pelo eixo do restabelecimento

#### 3.1 – Condicionamentos geológico - geotécnicos

O local foi objecto de uma campanha de prospecção geotécnica que consistiu em duas sondagens à percussão cujos resultados recomendaram a adopção de fundação indirecta inseridas no horizonte granítico com NSPT > 60, a cerca de 12.0 m de profundidade no lado da faixa Porto -Lisboa e cerca de 20.0 m no lado Lisboa-Porto.

#### 3.2 – Condicionamentos estruturais

A estrutura existente é constituída por dois pórticos bi-encastados de betão armado cujas travessas são constituídas por lajes nervuradas e cujos montantes são muros com nervuras salientes para o exterior do pórtico no prolongamento das nervuras do tabuleiro. Os dois pórticos são separados por uma junta de dilatação disposta no plano vertical intermédio.

A travessa de cada pórtico apresenta três nervuras largas com uma espessura de 0.80 m e uma largura variável. A laje apresenta uma espessura mínima de 0.25 m, com um vão livre de 2.40 m entre nervuras prolongando-se em consola para o exterior das nervuras extremas. A consola exterior apresenta espessura variável linearmente entre 0.20 m e 0.30 m e a interior espessura constante de 0.25 m. Os montantes apresentam nervuras, em correspondência com as da laje,

com uma espessura de 0.70 m, uma largura de 3.30 m e são ligadas por paredes com 0.25 m de espessura. O vão livre recto da estrutura é de 13.80 m (cerca de 15.0 m segundo o viés), sendo a respectiva fundação indirecta por estacas de betão armado. Os muros de ala são nervurados, com altura variável e com fundação idêntica à dos pórticos.

### 3.3 – Descrição da solução

#### 3.3.1 – Reforço da estrutura existente

O reforço do tabuleiro foi efectuado pela aplicação de pré-esforço exterior. O efeito de compensação parcial das cargas permanentes é suficiente para permitir as recargas geradas pela correcção da rasante e do perfil transversal.

O pré-esforço exterior foi realizado pela instalação e tensionamento de dois cabos por nervura com um traçado poligonal. Foram executados furos por carotagem nos muros de testa, imediatamente abaixo da laje. Foram instalados desviadores a cerca de 0.4 do vão constituídos por tubos metálicos curvados, soldados a chapas metálicas por seu lado fixas às nervuras por buchas químicas. No tardo dos muros de testa procedeu-se à demolição do cachorro de apoio da laje de transição e desta numa extensão mínima de um metro. Aí foram repescadas as armaduras da zona demolida, seladas novas armaduras e montadas as armaduras de uma nova carlinga, onde ficarão alojadas as novas ancoragens e onde se passará a efectuar o apoio da laje de transição.

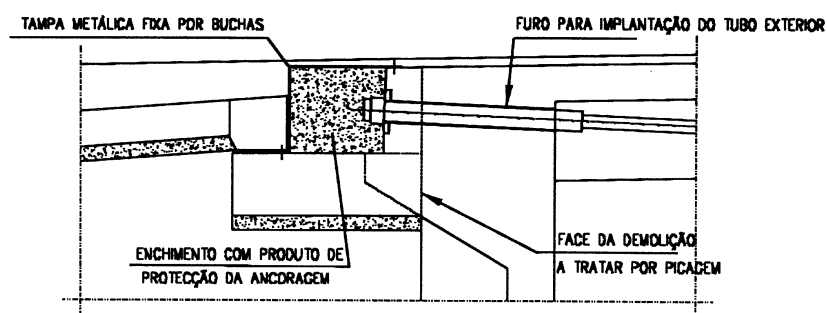


Figura 2 – Ancoragem dos cabos de reforço

O pré-esforço instalado é constituído por cabos de dezanove cordões de 0.6” autoprotégidos em bainha de polietileno lubrificada, sendo o conjunto inserido numa bainha exterior do mesmo material que, uma vez posicionados os cabos, será injectada com calda de cimento. Os cabos em conjunto com as respectivas ancoragens constituem um sistema homologado para pré-esforço exterior, que permite o posterior retensionamento ou substituição.

Antes do tensionamento dos cabos a face superior da nervura exterior do extradorso da faixa S/N foi limpa e picada; aí foram instalados os ferrolhos e a nova armadura superior e depois betonada a camada de betão complementar.

Dentro do faseamento previsto que será descrito adiante, o reforço das nervuras exteriores será executado em simultâneo com o alargamento dos tabuleiros. O tensionamento dos cabos das nervuras extremas será sempre executado antes da betonagem da banda de ligação entre a estrutura existente e a nova.

As lajes de transição ficam com uns recortes para permitir a eventual futura instalação dos macacos para retensionamento dos cabos. As caixas onde se alojam as ancoragens são dotadas de tampas metálicas e cheias com um produto idêntico ao utilizado na injeção das ancoragens (cera ou massa mineral hidrófuga). Desta forma as ancoragens ficarão protegidas do contacto directo com o aterro.

A tensão máxima de esticamento dos aços de pré-esforço foi considerada como  $0.70 f_{puk}$ , o que deixa margem para um eventual sobretensionamento até  $0.75 f_{puk}$  caso se venha a verificar essa necessidade no futuro.

A solução proposta, para além de introduzir no tabuleiro esforços que equilibram os provenientes dos enchimentos a efectuar, melhora substancialmente o comportamento da estrutura existente. Apresenta, por outro lado, a vantagem de pouco afectar o trânsito sob a Obra de Arte.

### 3.3.2 – Alargamento

O alargamento da obra é efectuado pela construção a cada lado da obra existente de um tabuleiro em laje de betão armado pré-esforçado longitudinalmente, com três vãos, sendo o vão central de 26.65 m e vãos laterais de 12.0 m, e quatro carlingas que funcionam também como maciços de encabeçamento de microestacas.

No vão central o tabuleiro é constituído por uma laje com uma nervura larga trapezoidal, geometricamente semelhante às nervuras do pórtico existente, prolongada com consolas de 1.00 m, totalizando uma largura de 4.60 m. A nervura terá uma altura de 1.1 m e as consolas espessura variável de 0.20 m na extremidade e 0.30 m no encastramento. Os vãos extremos são constituídos por uma laje rectangular com a mesma altura da nervura central. As carlingas, implantadas no tardo dos muros de ala existentes, são dispostas paralelamente aos montantes do pórtico.

Os novos muros de avenida são ligados às carlingas e laje do tabuleiro e têm por objectivo suportar o alargamento da plataforma até uma distância dos muros de ala tal que as novas saias de aterro não produzam acréscimo de impulso sobre aqueles. Os impulsos horizontais gerados sobre estes novos muros são absorvidos por uma ancoragem em cada carlinga central com cerca de 20.0 m de extensão.

A ligação dos novos tabuleiros ao tabuleiro dos pórticos será efectuada através de uma banda de fecho a betonar em 2ª fase [4]. A intervenção a efectuar nas estruturas existentes com vista à implantação dos novos tabuleiros, resume-se à demolição dos passeios actuais, demolição com repescagem de armaduras numa faixa com cerca de 0.50m de largura ao longo da face dos tabuleiros e ainda demolição do coroamento dos muros de ala.

A fundação das novas estruturas será assegurada, como atrás foi dito, por microestacas a executar sobre a saia do aterro existente. As microestacas foram dimensionadas para uma carga máxima de serviço de 500 kN com comprimentos da ordem dos 17.0 m.

### 3.3.3 – Verificação da segurança. Materiais.

A determinação dos esforços no tabuleiro e nos montantes foi feita recorrendo a um modelo de elementos finitos (SAP2000). As combinações de acções e a determinação de armaduras foram conduzidas de acordo com a regulamentação actual (R.S.A. e R.E.B.A.P.).

Foi analisada a interacção das novas estruturas com os pórticos existentes, nomeadamente no que respeita a esforços devidos a sobrecargas, a encurtamento diferenciado de betões de idades diferentes e ainda restrições à deformação entre estruturas de tipologia distinta.

O critério de dimensionamento do pré-esforço exterior foi, para além da verificação da segurança aos estados limites últimos de resistência contando apenas com a força útil de pré-esforço, o cumprimento do estado limite de descompressão para a totalidade das cargas permanentes. Tal critério foi adoptado, na ausência de regulamentação específica, de acordo com as recomendações contidas em [5].

Os materiais aplicados nas obras de arte foram betão B35, aço A400 NR em varão e aço duro para pré-esforço de baixa relaxação com  $f_{puk}=1860$  MPa em cordão de 0.6”.

## 4. PASSAGEM INFERIOR 26

### 4.1 - Introdução

Esta estrutura foi objecto de um reforço estrutural diferente por a sua capacidade resistente ser inferior às restantes.

### 4.2 – Condicionamentos estruturais

A estrutura existente é idêntica à descrita anteriormente. O vão livre recto da estrutura é de 10.60 m, sendo a respectiva fundação indirecta por estacas de betão armado  $\phi 0.60$  m moldadas no solo. Os muros de ala são nervurados, com altura variável e com fundação directa dimensionada para 200 kPa de tensão admissível.

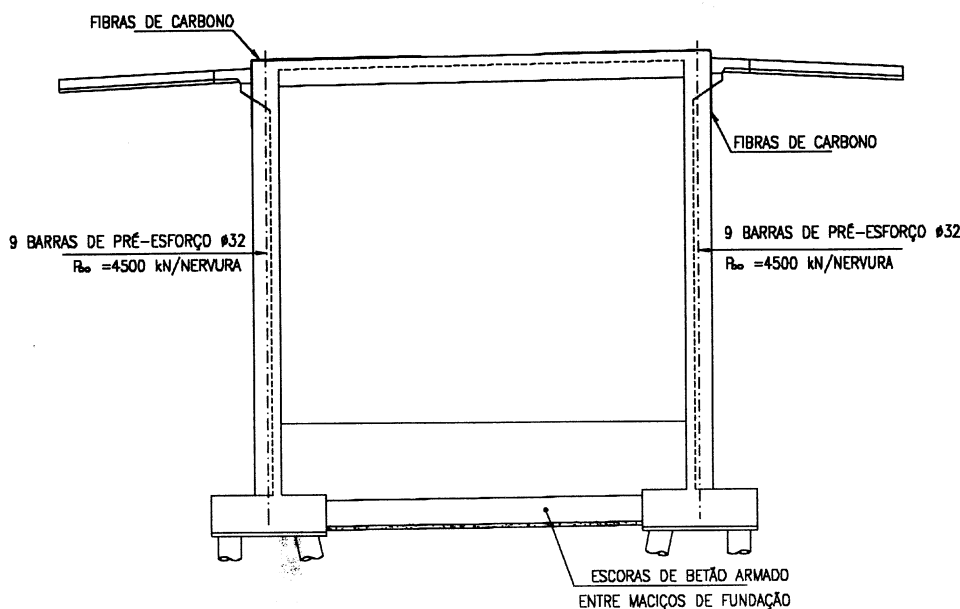


Figura 3 – PI 26 – Corte Longitudinal

### 4.3 - Descrição da solução proposta

#### 4.3.1 - Reforço da estrutura existente

Na análise da estrutura existente concluiu-se que a capacidade resistente da estrutura, mesmo antes do alargamento, não comportava margem de segurança face à regulamentação vigente. De facto verificou-se que existia deficiência de armadura de flexão nas estacas de fundação e nas secções da base dos montantes e de apoio do tabuleiro. Considerando uma redistribuição de esforços associada a estas deficiências de capacidade resistente verificou-se não existir suficiente reserva de resistência na secção a meia altura do montante. Uma inspecção mais detalhada dos montantes permitiu a identificação de fissuração visível das faces interiores dos montantes a cerca de meia altura, sintoma do atrás descrito.

Optou-se então por proceder ao reforço estrutural dos montantes e zona de ligação destes ao tabuleiro, bem como tomar medidas que impeçam o acréscimo de esforços transversos nas estacas gerados pelo acréscimo de acções permanentes e para as acções variáveis. Assim projectou-se a instalação de escoras ligando entre si os maciços de encabeçamento das estacas, o reforço dos montantes com a utilização de pré-esforço vertical em barras em furos abertos no plano médio daqueles e o reforço da secção de apoio do tabuleiro pela colagem de bandas de fibras de carbono (FRP) no topo do montante e face superior do tabuleiro.

A hipótese de utilização de pré-esforço exterior no tabuleiro não é viável devido à instalação de esforços hiperstáticos que tendem a agravar a situação de secções já críticas.

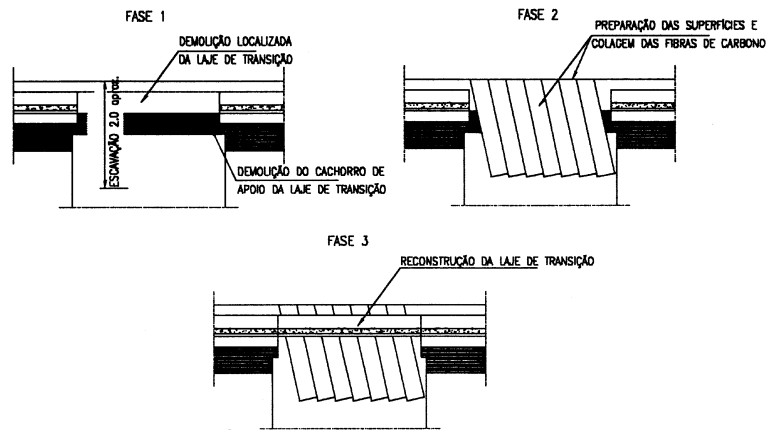


Figura 4 – Faseamento do reforço com mantas de fibras de carbono

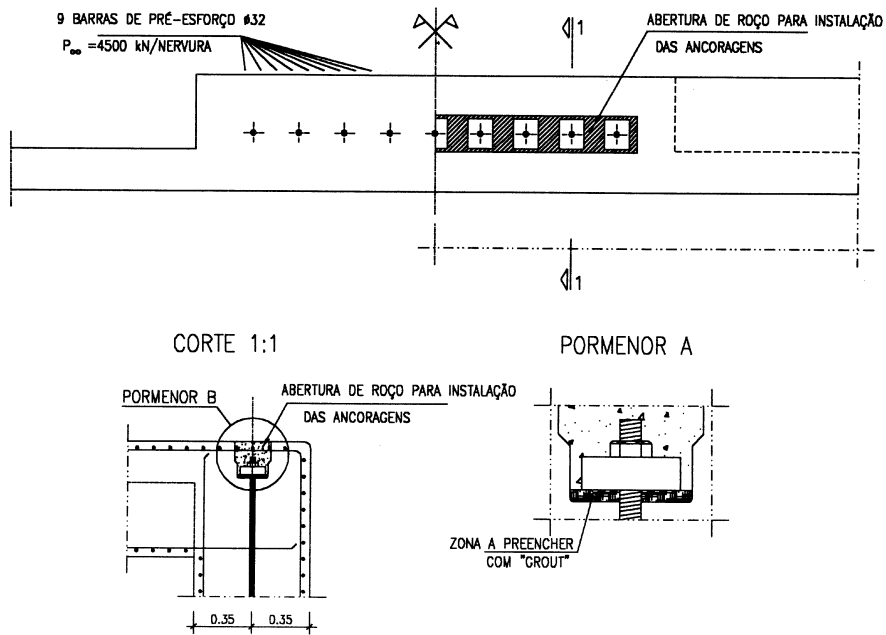


Figura 5 – Pré-esforço vertical dos montantes



#### 4.3.2 - Alargamento

O alargamento da obra é efectuado de forma idêntica à descrita para a PI22.

#### 4.3.3 - Verificação da segurança. Materiais.

A metodologia e critérios de verificação da segurança foram idênticos aos descritos para a obra anterior. Tal como atrás foi dito constatou-se que a estrutura actual, para as hipóteses de projecto tinha falta de armadura de flexão nas estacas, na secção da base dos montantes e nos apoios do tabuleiro. Considerando uma redistribuição de esforços associada à referida menor capacidade resistente das secções concluiu-se ainda que os montantes também não dispunham de armadura de flexão suficiente a meia altura, tornando-se portanto indispensável o reforço da estrutura. Assim dimensionou-se o reforço por forma a que, em todas as secções, com excepção à da base do pórtico, e para a hipótese mais desfavorável de comportamento (encastramento ou articulação na base), se dispusesse de capacidade resistente adequada bem como um comportamento em serviço que se enquadrasse no prescrito no EC2.

Os materiais aplicados foram idênticos aos das restantes obras e tendo-se usado ainda aço duro para pré-esforço em barra com  $f_{puk}=1030$  MPa. As telas de fibras de carbono foram caracterizadas por um módulo de elasticidade superior a 125 GPa, tensão característica de rotura superior a 1700 MPa e alongamento de rotura superior a 1.1%.

### 5. PROCESSO CONSTRUTIVO E FASEAMENTO DA OBRA

O processo construtivo preconizado para o reforço da PI4-26 baseia-se no seguinte faseamento:

1 – Execução da sinalização horizontal provisória e colocação dos perfis móveis de betão por forma a reduzir a largura das faixas de rodagem de 2 x 3,75 m para 3,20 + 3,30 m. Com esta redução e com o isolamento da berma exterior, consegue-se uma plataforma de trabalho no extradorso da Auto-estrada com cerca de 3,60 m;

2.- Construção das escoras entre sapatas sob a obra de arte, executadas alternadamente para minimizar a descompressão dos solos entre os maciços de encabeçamento de estacas;

3 - Abertura da plataforma para a execução das microestacas e no tardo da nervura extrema do montante; desmontagem da guarda de segurança e do guarda corpos;

4 – Demolição do passeio e de parte da consola da P.I na extensão definida nas peças desenhadas; demolição do coroamento dos muros de ala; escavação no tardo da nervura extrema e central do montante; demolição da laje de transição na extensão mínima definida nas peças desenhadas e do respectivo cachorro de apoio;

5 - Execução das microestacas;

6 – Execução dos furos para a instalação do pré-esforço vertical de reforço dos montantes das nervuras referidas, podendo a parte inicial ser executada por carotagem, devendo a zona de selagem ser obrigatoriamente aberta por método que deixe a superfície do furo rugosa; preparação das zonas de ancoragem, instalação das barras de pré-esforço, selagem dos seus extremos, tensionamento, injeção e refecimento das caixas das ancoragens;

7 - Preparação das superfícies de betão da ponta da consola, limpeza e repescagem das armaduras e execução dos ferrolhos de ligação;

8 - Aplicação das telas de reforço da nervura exterior;

9 – Montagem do cimbre, cofragens e armaduras e betonagem da nervura nova, deixando a banda de ligação definida nas peças desenhadas para betonagem em 2ª fase; Pré-esforço da nova nervura;

10 – Preparação das cofragens e armaduras da banda de ligação. A cofragem deverá ficar apoiada no tabuleiro novo e no existente;

11 – No mínimo oito dias após o pré-esforço proceder-se-á à betonagem da banda de ligação. Tal prazo poderá ser dilatado pela Fiscalização. Esta betonagem realizar-se-á sempre após a aplicação do pré-esforço exterior da nervura extrema do tabuleiro existente;

12 – Execução do aterro da plataforma até ao nível das lajes de transição. Execução das mesmas. Tensionamento das ancoragens definitivas;

13 – Execução do pavimento e acabamentos desta zona da obra de arte;

14 – Passagem da faixa de rodagem da zona central para as zonas alargadas da obra;

15 - Execução dos trabalhos de reforço nas duas nervuras interiores de ambos os pórticos por metodologia idêntica à descrita.

## **6. BIBLIOGRAFIA**

[1] – OPCA et al. - *A1- Autoestrada do Norte – Projecto de Execução das Obras de Arte Especiais*

[2] – RSEP - *Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes* – Decreto nº44041 de 18 de Novembro de 1961

[3] – RSA - *Regulamento de Segurança e Acções em Estruturas de Edifícios e Pontes*

[4] - American Concrete Institute - *Guide for Widening Bridges - ACI 345.2R-92*

[5] – VSL International Ltd. - *External Post-Tensioning*