



IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS  
18 a 20 de maio, 2016 - Everest Rio Hotel

## **Substituição das Pontes Sobre os Rios Santa Joana, Corrente, Piraqueaçu e Santa Maria ao Longo da EFVM – Espírito Santo e Minas Gerais - Brasil**

**José Silva, João Lopes, Pedro Faro**

Teixeira Duarte S.A. / Geotecnia e Reabilitação / [jls@teixeiraduarte.com.br](mailto:jls@teixeiraduarte.com.br)

Teixeira Duarte S.A. / Geotecnia e Reabilitação / [jal@teixeiraduarte.com.br](mailto:jal@teixeiraduarte.com.br)

Teixeira Duarte S.A. / Metalomecânica / [plf@teixeiraduarte.com.br](mailto:plf@teixeiraduarte.com.br)

### **Resumo**

O presente artigo visa apresentar as obras de Substituição das Pontes sobre os Rios Santa Joana, Corrente, Piraqueaçu e Santa Maria ao longo da Estrada de Ferro Vitória Minas (EFVM) no Espírito Santo e Minas Gerais – Brasil para a VALE, S.A com início em 2012 e conclusão em 2015. Enquadra-se num programa de curto prazo de substituição de pontes metálicas ferroviárias datadas da década de 40, no seguimento das diversas anomalias verificadas nas estruturas existentes e de campanha de monitorização e inspeção. A obra consistiu na concepção e substituição de quatro pontes metálicas (num total de sete vãos), substituição de aparelhos de apoio, reforço de fundações através de estacas, reforço e adequação de encontros e pilares em concreto armado, aplicação de tirantes protendidos e desmontagem das pontes originais. Durante a intervenção a infraestrutura ferroviária manteve-se em atividade, situação que condicionou as metodologias utilizadas tendo em vista a minimização das interferências no normal funcionamento da ferrovia. Para garantir este objetivo foram projetadas e executadas estruturas metálicas auxiliares provisórias para apoio à montagem, substituição e desmontagem das pontes adaptadas às condicionantes locais de cada ponte.

### **Introdução**

A Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM) nos estados do Espírito Santo e Minas Gerais (Brasil) é uma infraestrutura ferroviária essencial na operação da VALE, S.A., uma das maiores empresas mineradoras do mundo. Com uma extensão total superior a 900km, onde passam em média 40 trens por dia, garante o transporte do minério proveniente das minas localizadas na região de Belo Horizonte até ao Porto de Tubarão em Vitória. Ao longo da sua extensão conta com 179 pontes das quais 11 são treliças metálicas tipo Warren instaladas nos anos 40 (séc. XX) e fabricadas nos EUA.



## **Patologias verificadas**

Em 2007 foram identificados alguns problemas relacionados com a rotura de algumas peças, sujeitas a solicitações cada vez mais exigentes durante a utilização da infraestrutura. Com base nas anomalias detectadas a VALE, S.A. desenvolveu um plano de ações que consistiu numa fase inicial num programa de inspeções e restrições de tráfego em todas as pontes de características semelhantes àquelas onde foram detectados os problemas, seguido de estudo de monitorização e instrumentação de algumas pontes treliçadas em conjunto com a Universidade de São Paulo (USP). Destas ações, conclui-se que os problemas estavam relacionados com a fadiga das peças metálicas tendo sido desenvolvido um plano estratégico para a substituição de todas as pontes metálicas treliçadas da EFVM no período de 2008 a 2020.

## **Considerações e Condicionantes para o Projeto de Execução**

Numa fase inicial foi necessário compilar os poucos elementos existentes, datados da década de 1940, relativamente à ponte metálica e aos encontros em concreto armado. Face à escassez de informação foi necessário realizar um trabalho de campo exaustivo contemplando estudo geotécnico, levantamento geométrico e ensaios de caracterização do concreto dos encontros, nomeadamente inspeção visual, ensaios de resistência à compressão e ensaios de penetração de cloretos.

Com base nas informações recolhidas foi desenvolvido o projeto de execução contemplando o reforço e adequação dos encontros e o processo de substituição da ponte metálica.

O novo projeto deveria prever a substituição da ponte metálica por nova estrutura metálica treliçada (fornecida pela VALE), que garantisse o aumento da capacidade de carga da mesma e a adequação e reforço dos encontros.

O aumento de carga deriva não só do aumento da capacidade dos comboios que circulam na linha férrea, mas também ao facto da nova ponte apresentar uma solução de tabuleiro ortotrópico, com melhorias significativas ao nível da manutenção da via.

A condicionante ao nível do projeto foi a minimização do impacto na operação ferroviária, dos trabalhos de substituição da ponte, encontrando-se os prazos máximos de interdição definidos contratualmente.

## **Ponte sobre o Rio Santa Joana – Colatina/ES**

A ponte sobre o Rio Santa Joana em Colatina no estado do Espírito Santo é constituída por um vão de 41m em treliça metálica apoiada em encontros de concreto armado. A estrutura metálica apresentava anomalias evidentes ao nível da corrosão de elementos metálicos, mesmo após diversas intervenções de substituição de montantes, aparelhos de apoio e de



IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS  
18 a 20 de maio, 2016 - Everest Rio Hotel

rebites por parafusos. Os encontros em concreto armado, segundo os elementos disponíveis, tinham fundação por estacas de madeira.

### Reforço e Adequação dos Encontros

Como já referido, o projeto de execução previu o reforço e adequação dos encontros desprezando totalmente a capacidade de carga dos elementos de suporte existentes. Deste modo foi definida a fundação indireta dos encontros através de estacas raiz de diâmetro 410 mm, o encamisamento total dos encontros em concreto armado e a colocação de tirantes transversais passivos em barra *Dywidag* de 36 mm de diâmetro.



**Figura 1: Trabalhos de adequação e reforço dos encontros**

### Montagem e Substituição da Ponte

A nova ponte metálica é uma estrutura treliçada USI SAC 350 com tabuleiro ortotrópico para receber balastro, previamente fabricada e armazenada pela VALE, S.A. Foi transportada pela via férrea desde João Neiva/ES para o local da obra e montada na praça de montagem especificamente concebida e preparada entre as duas linhas férreas existentes no local.

Os trabalhos de montagem e substituição consistiram nas seguintes atividades realizadas de forma sequencial:

- Montagem da ponte na praça de montagem sobre estrutura metálica com fundação em blocos pré-moldados de concreto armado apoiados em caixa de brita com espessura de 1,00m;
- Translação da praça de montagem para posição sobre os trilhos;
- Transferência de carga dos apoios provisórios para os patins e deslizamento longitudinal da ponte nova;
- Elevação da ponte existente e montagem do patim de deslizamento longitudinal da ponte existente;



**Figura 2: Trabalhos de montagem e substituição da ponte**

- Montagem do sistema de tração na via para os deslocamentos longitudinais das pontes;
- Deslocamento longitudinal da nova ponte até à proximidade da ponte existente;
- Ligação das duas pontes através incorporação de elementos metálicos;
- Deslocamento longitudinal das duas pontes;



**Figura 3: Trabalhos de substituição da ponte**

- Transferência de carga das extremidades de cada ponte e desligamento das mesmas e abaixamento da nova ponte para sua posição final e grauteamento dos aparelhos de apoio;
- Deslocamento longitudinal e transversal da ponte existente para a praça de desmontagem;



**Figura 4: Trabalhos de substituição da ponte**

Após os trabalhos de substituição, a ponte foi desmontada, as suas peças identificadas e inventariadas e foi transportada por via rodoviária para Lavras/MG para eventual utilização futura. Todas as estruturas auxiliares foram desmontadas e repostas as condições iniciais.



IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS  
18 a 20 de maio, 2016 - Everest Rio Hotel

## Ponte sobre o Rio Corrente – Governador Valadares/MG

A ponte sobre o Rio Corrente no estado de Minas Gerais é constituída por um vão de 41m em treliça metálica e um vão de viga de alma cheia com 16m apoiados em encontros e pilar central de concreto armado. À semelhança do caso apresentado anteriormente, a estrutura metálica apresentava anomalias diversas de corrosão de elementos metálicos, mesmo após intervenções de substituição de montantes, aparelhos de apoio e dos rebites por parafusos. Os encontros em concreto armado, segundo os elementos disponíveis, encontravam-se fundados diretamente no maciço rochoso.

### Reforço e Adequação dos Encontros

De acordo com os elementos disponíveis, foi considerada e aproveitada a capacidade resistente dos encontros e pilar central. O projeto de execução previu apenas a adequação de pilar e encontros às novas dimensões dos vãos metálicos e aparelhos de apoio.

A solução de adequação foi também condicionada pela metodologia de troca, prevendo-se a execução de vigas de coroamento que funcionariam como apoio provisório durante as operações de substituição dos vãos metálicos.

Apenas no pilar central foi contemplada na zona dos apoios a execução de tirantes em barra *Dywidag* protendidos com diâmetros entre os 20 e os 32 mm e cargas aplicadas de 258 e 633kN, respectivamente.

Neste âmbito foi efetuada igualmente a recuperação do concreto armado e posterior pintura de encontros e pilar.



Figura 5: Trabalhos de adequação e reforço dos encontros e pilar

### Montagem e Substituição da Ponte

As novas pontes metálicas (1 vão treliçado com 41m e 1 vão de viga de alma cheia com 16m) em aço tipo USISAC 350 têm tabuleiro ortotrópico para receber balastro.

Foram previamente fabricadas e armazenadas pela VALE, S.A. e posteriormente apresentadas pela via férrea de João Neiva/ES para o local da obra e montadas nas praças de montagem especificamente concebidas e preparadas entre as duas linhas férreas existentes no local.

Os trabalhos de montagem e substituição consistiram nas seguintes atividades realizadas de forma sequencial:





IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS  
18 a 20 de maio, 2016 - Everest Rio Hotel

- Montagem das pontes nas praças de montagem. De acordo com as condicionantes geotécnicas o vão de 41m foi montado sobre plataforma parcialmente fundada em blocos pré-moldados de concreto armado apoiadas sobre o maciço rochoso e com a restante fundação em tubos metálicos vibrocavados com 711mm de diâmetro apoiados no maciço rochoso. A montagem do vão de 16m foi efetuada sobre blocos pré-moldados de concreto apoiadas sobre o solo, atendendo à carga reduzida;
- Montagem de estrutura auxiliar de *jetty* com fundação em tubos metálicos vibrocavados com 711mm de diâmetro apoiados no maciço rochoso (total de 950m de cravação), módulos em estrutura metálica e assoalhamento em madeira. O *jetty* foi montado com o apoio de guindaste de rastos *Liebherr* HS 855 HD de 90ton e grupo vibrocavador PVE 52M.



Figura 6: Trabalhos de montagem da ponte e do jetty

- Elevação dos tabuleiros das pontes antigas com recurso a macacos hidráulicos *Enerpac* 100ton e desactivação dos aparelhos de apoio;
- Deslocamento transversal do vão treliçado de 41m antigo para posição sobre o jetty através de sistema de puxe com barras *Dywidag* 36 mm e macacos hidráulicos de haste vazada *Enerpac* de 100ton;
- Deslocamento longitudinal do vão treliçado de 41m novo para posição sobre o *jetty* ao longo de vigas longitudinais de plataforma de montagem e *jetty*, através de sistema de puxe com barras *Dywidag* 36mm e macacos hidráulicos de haste vazada *Enerpac* de 100ton;
- Deslocamento transversal conjunto dos dois vãos treliçados (antigo e novo) sobre o *jetty*, através do mesmo sistema de puxe, montado no extremo oposto das vigas transversais;



Figura 7: Trabalhos de elevação dos tabuleiros e movimentação das pontes



- Desmontagem dos sistemas auxiliares para deslocamento transversal, montagem dos novos aparelhos de apoio, abaixamento da ponte nova e enchimento e execução de maciços para os novos aparelhos de apoio.
- Deslocamento longitudinal da ponte treliçada antiga para a praça de montagem/desmontagem;



**Figura 8: Trabalhos de abaixamento, montagem dos aparelhos de apoio e deslocamento da ponte antiga**

- Remoção com recurso a grua automóvel de 300ton de vão de viga de alma cheia de 16m antigo;
- Preparação dos encontros para novos aparelhos de apoio;
- Colocação de novo vão com recurso a grua automóvel e enchimento dos maciços dos novos aparelhos de apoio.



**Figura 9: Trabalhos de remoção e colocação de novo vão de 16m**

Após os trabalhos de substituição, a ponte foi desmontada, as suas peças identificadas e inventariadas e foi transportada por via ferroviária para depósito provisório da VALE, S.A. em João Neiva/ES. Todas as estruturas auxiliares foram desmontadas e repostas as condições iniciais.

### **Ponte sobre o Rio Piraqueçu – João Neiva/ES**

A ponte sobre o Rio Piraqueçu no estado de Espírito Santo é constituída por um vão de 31m em treliça metálica invertida (caso único em toda a EFVM) e um vão de viga de alma cheia com 12m apoiados em encontros e pilar central de concreto armado. A estrutura metálica apresentava igualmente anomalias diversas de corrosão de elementos metálicos, mesmo após intervenções de substituição de montantes, aparelhos de apoio e dos rebites por parafusos. Os



IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS  
18 a 20 de maio, 2016 - Everest Rio Hotel

encontros em concreto armado, segundo os elementos disponíveis, encontravam-se fundados diretamente no maciço rochoso.

### Reforço e Adequação dos Encontros

De acordo com os elementos disponíveis e campanha de inspeção e ensaios, foi considerada e aproveitada a capacidade resistente dos encontros e pilar central. O projeto de execução previu apenas a adequação de pilar e encontros às novas dimensões dos vãos metálicos e aparelhos de apoio, adotando-se vigas de coroamento que funcionaríamos igualmente com o apoio auxiliar durante as operações de substituição dos vãos metálicos.

Atendendo às características da envolvente, foi necessário prever e executar um muro de suporte em concreto armado entre as linhas férreas existentes. As fundações foram executadas em estacas raiz (15 no total) com comprimento que variaram entre os 15 e os 17m.

Neste âmbito foi efetuada igualmente a recuperação do concreto armado e posterior pintura de encontros e pilar.



**Figura 10: Trabalhos de reforço e adequação dos encontros e pilar e muro de suporte**

### Montagem e Substituição da Ponte

As novas pontes metálicas (1 vão treliçado invertido com 31m e 1 vão de viga de alma cheia com 12m) em aço tipo USISAC 350 têm tabuleiro ortotrópico para receber balastro. Foram previamente fabricadas e armazenadas pela VALE, S.A. e posteriormente apresentadas por via rodoviária do pátio da VALE em João Neiva/ES para o local da obra e montadas na plataforma de montagem especificamente executada para o efeito.

Os trabalhos de montagem e substituição consistiram nas seguintes atividades realizadas de forma sequencial:

- Execução de plataformas de montagem (situada a montante da ponte existente) e desmontagem (situada a jusante da ponte existente) sobre o rio Piraqueçu. As plataformas de montagem e desmontagem eram constituídas por asnas metálicas com vãos de 30 e 20 m, respectivamente, apoiadas em maciços de concreto armado com fundação por estacas raiz de diâmetro 410 mm. As estacas raiz foram executadas até ao maciço rochoso, garantindo um encastramento mínimo neste de 2 m, atingindo comprimentos totais que variaram entre os 9 e os 18 m;





**Figura 11: Trabalhos de execução de plataformas de montagem e desmontagem**

- Execução de contenção provisória entre as vias de modo a permitir a execução de muro de suporte e apoio Norte da plataforma de desmontagem. A contenção foi executada com perfis metálicos verticais, entivação de madeira e escoramentos metálicos. A colocação dos perfis metálicos verticais foi executada através de furação com revestimento de 410 mm, colocação do perfil metálico e enchimento com argamassa até à cota definida em projeto;



**Figura 12: Trabalhos de execução de contenção provisória entre vias.**

- Montagem da ponte treliçada sobre a plataforma de montagem e do vão de 12m em espaço de estaleiro próximo;
- Elevação das pontes antigas com recurso a macacos hidráulicos *Enerpac* de 100ton e desativação dos aparelhos de apoio;
- Deslocamento transversal conjunto das pontes treliçadas ficando a ponte nova na posição final e a ponte antiga sobre a plataforma de desmontagem;



**Figura 13: Trabalhos de montagem e substituição das pontes.**

- Remoção, preparação do encontro e pilar para novos aparelhos de apoio e colocação de novo vão de 12m com recurso a guindaste de 200ton;
- Desmontagem de estruturas provisórias de deslocamento, montagem dos aparelhos de apoio e preparação do encontro e pilar para os novos aparelhos de apoio;



IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS  
18 a 20 de maio, 2016 - Everest Rio Hotel

- Abaixamento da ponte nova treliçada para posição final e enchimento dos maciços dos novos aparelhos de apoio;



**Figura 14: Trabalhos de substituição das pontes.**

Após os trabalhos de substituição, a ponte foi desmontada e transportada por via rodoviária para depósito provisório da VALE, S.A. em João Neiva no estado do Espírito Santo. Todas as estruturas auxiliares foram desmontadas e repostas as condições iniciais.

### **Ponte sobre o Rio Santa Maria – Serra/ES**

A ponte sobre o Rio Santa Maria no estado de Espírito Santo é constituída por dois vãos de 41m e 31m em treliça metálica apoiados em encontros e pilar central de concreto armado.

De forma idêntica a todos os casos anteriores a estrutura metálica apresentava anomalias diversas de corrosão de elementos metálicos, mesmo após intervenções de substituição de montantes, aparelhos de apoio e rebites (por parafusos). Os encontros em concreto armado, segundo os elementos disponíveis, encontravam-se fundados em estacas de madeira.

### **Reforço e Adequação dos Encontros**

O projeto de execução previu o reforço e adequação dos encontros desprezando totalmente a capacidade de carga dos elementos de suporte existentes. Deste modo foi definida fundação dos encontros através de estacas raiz de diâmetro 410 mm, o encamisamento total dos encontros e pilar em concreto armado e a colocação de tirantes transversais nos encontros e transversais e longitudinais no pilar com diâmetros entre os 32 e os 50 mm com cargas entre os 258 e os 880 kN.



**Figura 15: Trabalhos de adequação e reforço dos encontros e pilar.**

### **Montagem e Substituição da Ponte**

As novas pontes metálicas (2 vãos treliçados com 41m e 31m) em aço tipo USISAC 350 têm tabuleiro ortotrópico para receber balastro.



IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS  
18 a 20 de maio, 2016 - Everest Rio Hotel

Foram previamente fabricadas e armazenadas pela VALE, S.A. e posteriormente apresentadas por via férrea de João Neiva/ES para o local da obra e montadas nas praças de montagem especificamente concebidas e preparadas entre as duas linhas férreas existentes no local.

Os trabalhos de montagem e substituição consistiram nas seguintes atividades realizadas de forma sequencial:

- Montagem das pontes na praça de montagem. De acordo com as condicionantes geotécnicas as plataformas de montagem foram fundadas através de tubos metálicos vibrocavados com 711mm de diâmetro apoiados no maciço rochoso;
- Montagem de estrutura auxiliar de *jetty* com fundação em tubos metálicos vibrocavados com 711mm de diâmetro apoiados no maciço rochoso (total de 2000 m de cravação), módulos em estrutura metálica e assoalhamento em madeira. O *jetty* foi montado com o apoio de guindaste de rastos *Liebherr* HS 855 HD de 90ton e grupo vibrocavador PVE 52M;
- Contenção provisória nos encontros com recurso a vibrocavação de estacas prancha;



**Figura 16: Trabalhos de montagem da ponte, do jetty e contenção provisória do encontro.**

- Elevação dos tabuleiros das pontes antigas com recurso a macacos hidráulicos *Enerpac* 100ton e desativação dos aparelhos de apoio;
- Deslocamento transversal do vão de 41m antigo e posteriormente do vão de 31m para posição sobre o *jetty* através de sistema de puxe com barras *Dywidag* 47mm e macacos hidráulicos de haste vazada *Enerpac* de 100ton;
- Deslocamento longitudinal dos vãos novos para posição sobre o *jetty* ao longo de vigas longitudinais de plataforma de montagem e *jetty*, através de sistema de puxe com barras *Dywidag* 47mm e macacos hidráulicos de haste vazada *Enerpac* de 100ton;
- Deslocamento transversal conjunto dois a dois dos vãos (antigo e novo) sobre o *jetty*, através do mesmo sistema de puxe, montado no extremo oposto das vigas transversais;





IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS  
18 a 20 de maio, 2016 - Everest Rio Hotel



**Figura 17: Trabalhos de elevação dos tabuleiros e movimentação das pontes**

- Desmontagem dos sistemas auxiliares para deslocamento transversal, montagem dos novos aparelhos de apoio, abaixamento das pontes novas para a cota final e enchimento e execução de maciços para os novos aparelhos de apoio.
- Deslocamento longitudinal das pontes antigas para a praça de montagem/desmontagem;



**Figura 18: Trabalhos de abaixamento, montagem dos aparelhos de apoio e deslocamento das pontes antigas.**

Após os trabalhos de substituição, a ponte foi desmontada, as suas peças identificadas e inventariadas e foi transportada por via ferroviária para depósito provisório da VALE, S.A. em João Neiva no estado do Espírito Santo. Todas as estruturas auxiliares foram desmontadas e repostas as condições iniciais.

## Conclusões

Através de um planejamento atempado e um bom detalhamento de projeto foi possível realizar a troca das quatro pontes com sucesso, tornando-as uma referência a nível nacional neste tipo de trabalho, reduzindo os prazos previstos e introduzindo no mercado novas tecnologias e metodologias, representando uma otimização de recursos significativa relativamente aos métodos anteriormente utilizados.

## Referências

BITTENCOURT T.N. – Relatório Técnico de Monitoramento das Pontes Rio Corrente e Rio Suassuí. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

CONCREMAT – Relatório Técnico de Inspeção das Pontes Rio Corrente e Rio Suassuí, São Paulo 2011.

VALE, S.A. – Planejamento Estratégico de Manutenção da EFVM, Vitória 2013.