

# ZONAS DE TRANSIÇÃO DE VIAS-FÉRREAS. A IMPORTÂNCIA DE UMA SOLUÇÃO GEOESTRUTURAL.

## TRANSITION ZONES OF RAILWAYS. THE IMPORTANCE OF A GEOSTRUCTURAL SOLUTION.

Seara, Ivo, *Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, ivoseara@gmail.com*

Gomes Correia, António, *Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, agc@civil.uminho.pt*

### RESUMO

Após a realização de uma pesquisa bibliográfica exaustiva a nível internacional, verificou-se que as soluções tradicionais para as zonas de transição de vias-férreas passavam muitas vezes por uma abordagem a nível estrutural ou estritamente geotécnica. Os comportamentos observados para essas soluções revelaram deficiências a longo prazo que conduziram ao desenvolvimento de soluções mais recentes e que actuam simultaneamente a nível estrutural e a nível geotécnico (solução geoestrutural). No presente artigo descrevem-se estas soluções e o seu comportamento com base em observações *in situ*.

### ABSTRACT

Based on a deep bibliographic study at international level, it was concluded that the conventional solutions for transition zones of railways are or acting strictly at structural or strictly at geotechnical level. The long term behaviors of these solutions are not efficient and consequently new developments emerged. These new developments act simultaneously at structural and geotechnical levels (geostructural solution). This paper presents covers a broad range of solutions for transition zones and its behavior based *in situ* measurement.

### 1. INTRODUÇÃO

Com a necessidade de se executarem traçados tão rectos quanto possível nas redes ferroviárias de alta velocidade, torna-se inevitável que os mesmos atravessem solos menos adequados bem como estruturas de grande rigidez, comparativamente à rigidez desses mesmos solos, como é o caso das pontes.

Assim, os comboios de alta velocidade trazem problemas novos devido às velocidades elevadas (Woldringh e New 1991, DeGrand e Schillemans 2001 e Di Mino e Di Liberto 2007) que exigem tolerâncias e alinhamentos muito mais apertados de modo a garantirem a segurança e o conforto dos utentes (Ju 2002). O caso das zonas de transição “aterro – obra de arte” é hoje um dos problemas mais prementes que tem vindo a merecer uma atenção acrescida da comunidade científica e técnica (Di Mino e Di Liberto 2002).

As zonas de transição, tais como áreas adjacentes a uma ponte (Sasaoka e Davis 2005), por exibirem uma grande variação de rigidez numa curta distância, podem apresentar problemas significativos quando sujeitas a cargas dinâmicas, as quais podem gerar impactos que contribuem para uma degradação acelerada da via e, conseqüentemente, uma constante manutenção (Dahlberg 2003, Dahlberg et al. 2006 e Read e Li 2006).

Os problemas associados às transições das vias-férreas podem ser divididos em três grandes categorias: i) assentamentos diferenciais; ii) mudança abrupta da rigidez; iii) condições de dissipação de energia (Dahlberg 2003, Sasaoka e Davis 2005 e Read e Li 2006).

Os assentamentos diferenciais são originados por dois segmentos de via com rigidez diferente (Hoppe 1999), tais como da ponte para a zona de transição ou vice-versa. Normalmente as pontes são construídas sobre fundações profundas, tais como estacas, e estão relativamente imunes a assentamentos do solo de fundação. Em contraste, a transição consiste em material de aterro e tem uma escala de assentamentos maior (Dahlberg 2003 e Sasaoka e Davis 2005).

Uma mudança abrupta na rigidez ocorre nas zonas de transição. Por exemplo, uma ponte constituída por um tabuleiro de betão sobre pilares de elevada rigidez, confere à via um módulo demasiadamente elevado quando comparado com as zonas em aterro da via contíguas à ponte. Uma mudança abrupta da rigidez da via não causa nem contribui só por si para a sua própria degradação mas, forças dinâmicas elevadas, quando associadas a um pequeno desnível entre as superfícies, podem induzir forças de impacto elevadas (Dahlberg 2003 e Sasaoka e Davis 2005). A variação brusca de rigidez contribui para a degradação prematura e para os assentamentos diferenciais que ocorrem na via. Este caso é o mais importante problema da rigidez das vias, o qual se tenta mitigar ao máximo (Dahlberg 2003 e Sasaoka e Davis 2005).

O modo de dissipação de energia está associado ao amortecimento do sistema que difere com a composição do tipo de estrutura da via. Na zona de transição a energia é dissipada através da estrutura da via-férrea, da fundação e do solo subjacente. Sobre o tabuleiro alguma energia é dissipada no balastro da via-férrea mas, grande parte da energia pode-se estender ao longo da estrutura da ponte (Dahlberg 2003 e Sasaoka e Davis 2005).

De maneira a mitigar ou minimizar tais problemas, torna-se necessária a realização de soluções devidamente executadas. Após uma pesquisa bibliográfica exaustiva a nível internacional, verificou-se que as soluções tradicionais para as zonas de transição passavam muitas vezes por uma abordagem a nível estrutural, ou estritamente geotécnica. De entre as mesmas destacam-se: i) aumento gradual do comprimento das travessas assim como da sua secção transversal, com possibilidade de redução do espaçamento entre elas (Read e Li 2006); ii) uso de geocell ou mistura solo-cimento na zona do aterro (Schooleman 1996, Li e Davis 2005 e Read e Li 2006); iii) uso de lajes de transição (Woldring e New 1991, Sasaoka e Davis 2005 e Read e Li 2006); iv) uso de colunas ou estacas como reforço da fundação (Woldring e New 1991, Sew e Chin 2001 e Read e Li 2006); v) uso de encontros compostos por solo reforçado com geossintéticos (GRS) (Wu et al. 2004 e Wu et al. 2006); vi) uso de material leve para o aterro na zona de transição (Sew e Chin 2001 e Read e Li 2006); vii) uso de cunhas invertidas (Manterola e Cruz 2004). Mais recentemente, as soluções para as zonas de transição têm tido uma conjugação de abordagens estruturais e geotécnicas, designadas soluções geoestruturais. De entre estas destacam-se: i) uso de uma camada de mistura betuminosa (Li e Davis 2005 e Read e Li 2006); ii) uso de palmilhas sob o carril ou sob a travessa na zona rígida da via-férrea (Dahlber et al. 2006 e Read e Li 2006); iii) uso de travessas de material compósito (Read e Li 2006)

## **2. ZONAS DE TRANSIÇÃO. SOLUÇÕES TIPO**

### **2.1. Aumento gradual do comprimento das travessas**

As soluções inicialmente realizadas, e de uma forma rudimentar, passavam pelo simples aumento gradual do comprimento das travessas e/ou da sua secção transversal (Read e Li 2006). Esta solução pretende proporcionar uma maior área de suporte e contacto para transmissão das

cargas ao terreno, podendo ainda, por redução do espaçamento entre travessas, conferir à via um módulo mais elevado (Read e Li 2006).

## **2.2. Uso de colunas ou estacas como reforço da fundação**

A adopção de colunas ou estacas como reforço de fundação é uma técnica de reforço de terrenos que parece ser benéfica para as transições (Sew e Chin 2001). De facto, o uso de estacas com comprimentos variados, crescentes com a aproximação da ponte, permite aumentar de forma progressiva a capacidade de carga e a rigidez da via (Sew e Chin 2001).

## **2.3. Uso de cunhas de transição**

A realização de cunhas de transição executadas com determinados tipos de material é também uma solução bastante usada.

Pelo que é possível encontrar na bibliografia, pode-se usar solo reforçado com geossintéticos (GRS) na realização da transição, colocando-se, acima do reforço, uma laje de transição (Wu et al. 2006).

Em alternativa pode adoptar-se a solução que passa pela materialização da cunha com poliestireno expandido (EPS) (Sew e Chin 2001). Este material deve ser colocado sobre uma camada de areia, e o seu módulo de deformabilidade pode variar consoante as características pretendidas. No topo do EPS é colocada uma camada de polietileno de alta densidade (HDPE), e como reforço uma laje de transição de betão para protecção dos raios UV, hidrocarbonetos e solventes prejudiciais para o EPS (Sew e Chin 2001).

## **2.4. Uso de lajes de transição**

O uso de laje de transição colocada entre o balastro e o sub-balastro, promove o aumento gradual da rigidez desde a zona de aterro até à ponte (Read e Li 2006). A laje, apoiando-se sobre o encontro na extremidade de menor profundidade, deve ter uma inclinação de 1/200 e o seu comprimento mais usual ronda os 6m. O módulo de deformabilidade normalmente atribuído à laje é de 30GPa (Read e Li 2006). As lajes de transição têm também sido usadas para realizar a transição desde uma zona da via não balastrada para uma balastrada uma vez que também aqui ocorre uma variação de rigidez (Read e Li 2006).

Juntamente com as lajes de transição pode-se adoptar a solução que passa pelo aumento gradual do comprimento das travessas, ou o aumento da sua secção transversal, embora tal efeito não seja tão preponderante como quando se efectua tal solução sem a presença da laje de transição (Read e Li 2006).

## **2.5. Uso de uma camada de mistura betuminosa, ou “geocell” ou mistura solo-cimento**

A realização de uma camada de mistura betuminosa (HMA - Hot Mix Asphalt), colocada entre o solo e o balastro, permite uma melhor degradação das cargas, o que é importante nomeadamente quando a fundação é constituída por solos moles (Read e Li 2006).

Em alternativa a esta solução pode recorrer-se ao uso de “geocell” e à utilização de mistura solo-cimento (Li e Davis 2005 e Schoolman 2006). Esta última é também uma solução de estabilização da fundação, cuja rigidez obtida depende da dosagem de cimento a utilizar.

## 2.6. Uso de cunhas invertidas

Na literatura encontram-se soluções para realização da transição entre a ponte e o terrapleno através de um conjunto de cunhas invertidas (Manterola e Cruz 2004). A cunha de transição contígua ao encontro pode ser em *tout-venant* de boa qualidade, britas tratadas ou determinados *tout-venants* melhorados com cimento, com o objectivo de se obter o módulo de deformabilidade desejado. O terrapleno adjacente, ou seja, a cunha mais afastada do encontro, requer, geralmente, materiais seleccionados que proporcionem módulos de deformabilidade menores (Manterola e Cruz 2004).

## 2.7. Uso de palmilhas na zona rígida da via-férrea

Este tipo de solução actua sobretudo ao nível da superestrutura, envolvendo a redução da rigidez da via-férrea na zona rígida, ou seja, na zona da ponte, através do uso de palmilhas, constituídas por material com propriedades elásticas, entre o carril e a travessa (Read e Li 2006). As palmilhas podem ser concebidas para uma rigidez pretendida.

## 2.8. Uso de travessas de material compósito

Este tipo de solução tem sido desenvolvida e estudada e, tal como a anteriormente mencionada, actua sobretudo ao nível da superestrutura. Consiste na substituição das travessas de betão por travessas de material compósito (Read e Li 2006). A sua colocação é feita na zona de maior módulo da via, ou seja, sobre o tabuleiro, conseguindo-se um módulo da via-férrea idêntico ao da transição.

As travessas de material compósito são principalmente constituídas por polietileno de alta densidade reciclado (HDPE). Para se melhorarem as características do material usa-se HDPE misturado com outros tipos de materiais (Lampo et al. 2001). Desses diversos tipos destacam-se: HDPE reforçado com fibras de vidro; HDPE misturado com borracha modificada e reforçado com fibras de vidro; HDPE reforçado com polímeros; HDPE combinado com produtos minerais (Lampo et al. 2001).

## 3. COMPORTAMENTO OBSERVADO EM ZONAS DE TRANSIÇÃO

Dos diversos relatos presentes na literatura acerca das soluções para as zonas de transição, mencionam-se as avaliações do desempenho de algumas delas com base em resultados de monitorização.

1. Aumento gradual do comprimento das travessas: o desempenho depende muito particularmente da uniformidade da compactidade do balastro subjacente. Este tipo de solução revela-se contribuir muito pouco para o aumento da rigidez da via-férrea (Read e Li 2006).

2. Uso de colunas ou estacas como reforço da fundação: sobre este tipo de soluções somente existem referências a confirmar a sua viabilidade devido à sua simples execução e mecanismo de funcionamento (Sew e Chin 2001 e Read e Li 2006).

3. Uso de cunhas de transição: o desempenho de transições em solo reforçado com geossintéticos, são bastante sensíveis ao terreno de fundação. No caso de a fundação ser em solo mole, podem vir a ocorrer assentamentos exagerados a longo prazo (Wu et al. 2006).

4. Uso de lajes de transição: esta solução pode ser benéfica no sentido em que se consegue aumentar progressivamente a rigidez da via-férrea mas, em grande parte dos casos, esse aumento é exagerado, criando-se um módulo da via-férrea que é totalmente desnecessário e até

mesmo incompatível com as necessidades (Li e Davis 2005 e Read e Li 2006). De facto, a Figura 1 mostra que o módulo da via na zona da laje de transição é superior em mais do que duas vezes o módulo da via não balastrada.

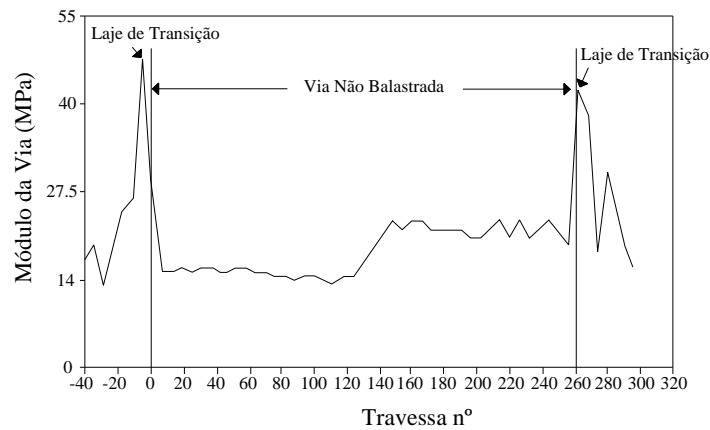


Figura 1 – Variação do módulo da via-férrea desde uma zona balastrada para uma zona não balastrada, com recurso a uma laje de transição (adaptado de Read e Li 2006)

5. Uso de uma camada de mistura betuminosa, ou “geocell” ou mistura solo-cimento: Li e Davis (2005) e Read e Li (2006) compararam o uso de uma camada de mistura betuminosa com o uso de uma laje de transição de igual espessura e observaram que esta última produz, obviamente, uma menor deflexão na via-férrea. Estes autores compararam ainda a solução de camada betuminosa com soluções do encontro estabilizado com “geocell” e estabilizado com solo-cimento. As Figuras 2, 3 e 4, mostram que o módulo da via da solução HMA é intermédia em relação às duas outras soluções.

Observações do comportamento a longo prazo destas três últimas soluções (HMA, “geocell e solo-cimento) revelaram, segundo os mesmos autores, que a solução em camada betuminosa parece ser aquela que exhibe melhor desempenho. Da Figura 5 constata-se que nas transições com HMA, os renivelamentos da via-férrea nas operações de manutenção (elevações) efectuados ao longo da sua “vida” devido à acumulação de assentamentos, são cumulativamente de menor magnitude do que os das restantes soluções.

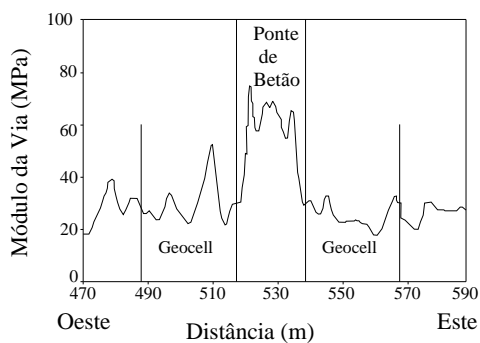


Figura 2 – Resultados do módulo da via-férrea: transição para a ponte estabilizada com geocell (adaptado de Li e Davis 2005)

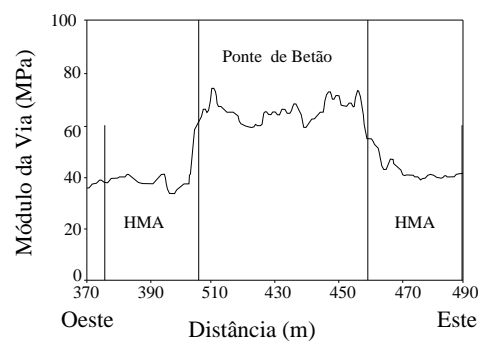


Figura 3 – Resultados do módulo da via-férrea: transição para a ponte estabilizada com HMA (adaptado de Li e Davis 2005)

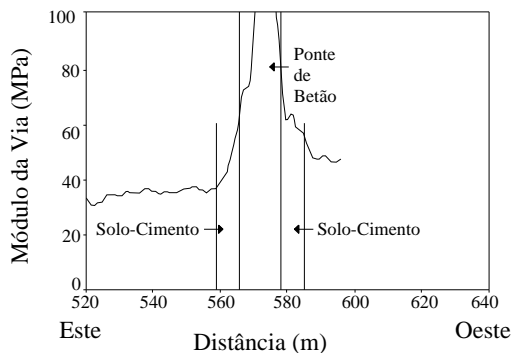


Figura 4 – Resultados do módulo da via-férrea: transição para a ponte efectuada com mistura solo-cimento (adaptado de Li e Davis 2005)

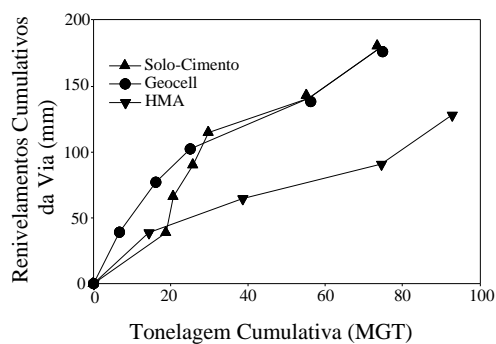


Figura 5 – Renivelamentos cumulativos associados às diferentes soluções (adaptado de Li e Davis 2005)

Continuando a citar os mesmos autores, os estudos por estes realizados revelaram que os módulos da via sobre as pontes observadas eram demasiadamente elevados para um bom desempenho de interacção dinâmica veículo/via, tendo mesmo sido observado, ao fim de dois anos de serviço, fendilhamento nas travessas devido ao fenómeno de fadiga.

6. Uso de palmilhas na zona rígida da via-férrea: estudos e dados observados, demonstraram que o uso de palmilhas sob os carris ou sob as travessas à entrada do tabuleiro da ponte providenciam uma boa resiliência na transição (Dahlberg 2006 e Read e Li 2006).

7. Uso de travessas de material compósito: o uso de travessas de material compósito, tal como o uso de travessas de betão com palmilhas, são eficazes e apresentam bons resultados na redução do módulo da via-férrea sobre a ponte, contrariamente ao desempenho das travessas de betão (fig. 6) (Read e Li 2006). Com as travessas de material compósito consegue-se um mesmo módulo sobre a ponte e a zona de transição. Read e Li (2006) comparam estas soluções e referem, com base nos estudos realizados, que as soluções com palmilhas conduzem a uma redução de um factor de 2.8 do módulo da via sobre a ponte sem a utilização das palmilhas.

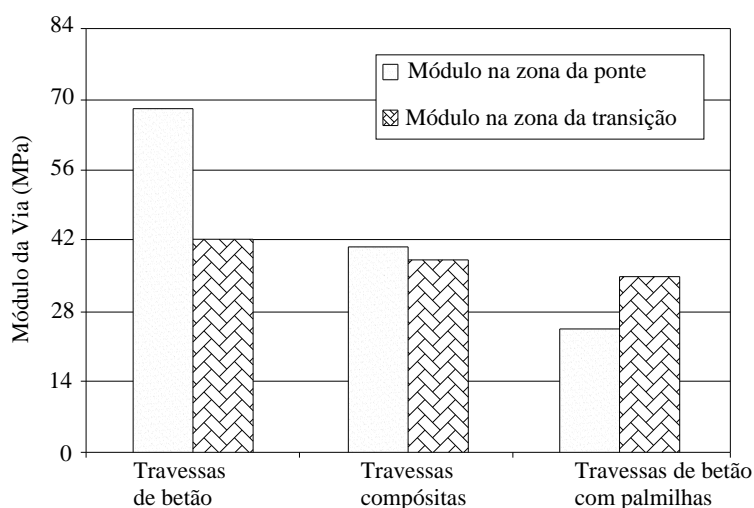


Figura 6 – Comparação dos módulos da via-férrea para diferentes soluções sobre a ponte (adaptado de Read e Li 2006)

#### 4. CONCLUSÕES

No presente trabalho apresentaram-se soluções para se realizarem as transições, nomeadamente no que se refere à variação de rigidez da via-férrea, quando a mesma passa de uma base de apoio com um módulo de deformabilidade baixo, como são os casos dos aterros, para uma base com um elevado módulo de deformabilidade, como são o caso dos tabuleiros das pontes.

De entre as análises efectuadas e resultados de monitorizações disponíveis na literatura, foi possível identificar concepções muito diferentes de zonas de transição. Identificaram-se soluções convencionais, actuando ou ao nível da fundação ou ao nível da superestrutura. As concepções mais recentes vão no sentido de se actuar tanto ao nível da fundação como da superestrutura (soluções geoestruturais). Destas soluções, e particularmente sobre o tabuleiro da ponte, têm sido recentemente testadas soluções que passam pelo uso de "palmilhas", em material elástico, e as que passam pelo uso de travessas de material compósito, ambas com intuito de diminuir a rigidez da via-férrea.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores querem agradecer à FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia) pelo suporte financeiro prestado a este projecto.

#### REFERÊNCIAS

- Dahlberg, T. (2003). *Railway track settlements – a literature review*. Report for the EU project SUPERTRACK . Linköping University, Suécia.
- Dahlberg, T., Larsson, R. e Lundqvist, A. (2006). *Influence of Railway Track Stiffness Variations on Wheel/Rail Contact Force*. Workshop Track for High-Speed Railways, (pp. 67-78). Porto: FEUP.
- Di Mino, G. e Di Liberto, C. M. (2007). "A Model of Dynamic Interaction Between a Train Vehicle and Rail Track." *4º International SIIV Congress Advances in Transport Infrastructures and Stakeholders Expectations*. Palermo, Italy: Grafil.
- Di Mino, G. e Di Liberto, C. M. (2007). "Modelling and Experimental Survey on Ground Borne Vibration Induced by Rail Traffic." *4º International SIIV Congress Advances in Transport Infrastructures and Stakeholders Expectations*. Palermo, Italy: Grafil.
- Hoppe, E. J. (1999). *Guidelines for the use, design, and construction of bridge approach slabs*. Virginia Transportation Research Council . Charlottesville, Virginia.
- Ju, S. H. (2002). "Finite element analysis of wave propagations due to a high-speed trains across bridge." *International Journal for Numerical Methods in Engineering* , pp. 1391-1408.
- Lampo, R., Nosker, T., Gillesie, B., & Schriks, R. (2001). "Perforamnce and Safety Issues Regarding the Use of Plastic Composite Crossties". Disponível em: < <http://www.arena.org> >. Acesso em 10 de Nov. 2007.
- Li, D. e Davis, D. (2005). "Transition of Railroad Bridge Approaches." (ASCE, Ed.) *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* , Vol. 131, No. 11, pp. 1392 - 1398.
- Manterola, J. e Cruz, P. J. (2004). *Pontes, Apoios, Pilares, Fundações e encontros*. Guimarães : Javier Manterola, Paulo J.S. Cruz.
- Read, D. e Li, D. (2006). "Research Results Digest 79 - Design of Track Transitions." *Transportation Cooperative Research Program*.
- Sasaoka, D. C. e Davis, D. (2005). Implementing Track Transition Solutions for Heavy Axle Load Service. Disponível em < <http://www.arena.org> >. Acesso em 16 de Jan. 2007.
- Schooleman, R. (1996). *Overgang kunstwerk-aardebaan voor de hoge-snelheidslijn*. MSc Thesis, Technische Universiteit Delft . Delft.

- Sew, G. S. e Chin, T. Y. (2001). "Geotechnical Solutions for High Speed Track Embankment – A Brief Overview." *In Technical Seminar Talk – PWI Annual Convention 2001*.
- Woldringh, R. F. e New, B. M. (1991). "Embankment design for high speed trains on soft soils." "Conception de remblais sur sols meubles pour les chemins de fer à grande vitesse." *Geotechnical Engineering for Transportation Infrastructure*, Barends et al. Rotterdam.
- Wu, J. T., Lee, K. Z., Helwany, S. B. e Kanop, K. (2006). *Design and Construction Guidelines for Geosynthetic-Reinforced Soil Bridge Abutments with a Flexible Facing*. NCHRP Report 556. Washindton, D. C.: Transportation Research Board.
- Wu, J. T., Lee, K. Z., Helwany, S. B. e Ketchart, K. (2004). *Design and construction Guidelines for GRS Bridge Abutments With Flexible Facing: Appendix C - Verification of the Analytical Model*. Transportation Research Board of the National Academies , pp. 1-50.