

Uso de geogrelha para atenuação de tensões em tubulações enterradas: seção experimental de campo

Fernando Henrique Martins Portelinha

Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil, fportelinha@ufscar.br

Victor Augusto Nerillo da Silva

Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil, victornerillo@gmail.com

Rubens André Tabile

Universidade de São Paulo, Pirassununga, Brasil, tabile@usp.br

RESUMO: Em 2003, Viana e Bueno apresentaram o método Geovala, uma proposta inovadora e de baixo custo para o projeto e construção de sistemas de tubulações enterradas. A Geovala consiste na instalação de um geossintético sobre uma vala na qual assenta-se um duto, visando assim reduzir as tensões que atingem a estrutura enterrada, por meio de um mecanismo de acionamento do arqueamento do solo. Embora a técnica tenha se mostrado inovadora e eficiente, os relatos de literatura apresentam somente resultados de análises em modelos físicos laboratoriais. Dessa forma, o presente trabalho visa analisar o comportamento de um sistema Geovala por meio de uma aplicação experimental no campo, buscando reconhecer os mecanismos de funcionamento da técnica, bem como verificar o comportamento mecânico do geossintético nesta aplicação. Para isso, executou-se uma seção de geovala no campus da UFSCar, em que foram monitorados os deslocamentos e deformações ao longo da geogrelha, bem como a distribuição de tensões do solo ao longo da altura de ação da Geovala. Os resultados permitiram identificar os dois mecanismos que regem o comportamento da Geovala: o efeito membrana e o arqueamento induzido. As tensões registradas abaixo do comprimento ancorado da geogrelha foram insignificantes, o que permitiu verificar o efeito de arqueamento induzido. Ao mesmo tempo, as tensões acima do comprimento ancorado foram maiores que o esperado, o que corrobora a observação de arqueamento induzido. As deformações foram máximas nas proximidades da subvala (vazio) e praticamente nulas ao longo do comprimento ancorado. No entanto, os deslocamentos do comprimento ancorado mostram que a geogrelha movimentou-se no sentido da subvala. Isso indica que houve deslocamento por arrancamento, o que é imprescindível para funcionamento da técnica.

PALAVRAS-CHAVE: Geovala, Geossintéticos, Efeito membrana, Arqueamento do solo, Atenuação de tensões, Tubulações enterradas.

1 INTRODUÇÃO

A técnica “Geovala”, proposta por Viana e Bueno em 2003, foi um método até então inédito para construção de sistemas de tubulações enterradas utilizando geossintéticos. A Geovala consiste na instalação de um reforço geossintético sobre a vala na qual será acomodada uma tubulação qualquer, e esse

geossintético, devidamente ancorado e pré-tracionado, tem a função de absorver as tensões resultantes do peso de solo de cobertura e de eventuais sobrecargas atuantes na superfície do terreno sobre a tubulação e redistribuí-las no maciço de solo adjacente evitando que elas atinjam a tubulação em sua totalidade. Uma das diversas configurações possíveis para a Geovala consiste em posicionar a tubulação dentro de

uma vala estreita não aterrada, inserindo-se o geossintético acima do tubo, promovendo o recobrimento do reforço com solo compactado até o nível da superfície do terreno adjacente. Neste caso, graças ao não preenchimento da vala estreita, tem-se a condição de um vazio perfeito e o material de reforço deforma-se sob a ação das cargas externas e do peso de solo de cobertura, mas não toca o topo do duto.

Na técnica Geoval, as tensões de tração nos geossintéticos são mobilizadas devido ao efeito membrana que ocorre no conjunto geotêxtil-geogrelha, o que possibilita que os geossintéticos resistam aos esforços gerados pelo peso próprio do prisma de solo situado sobre o vazio (o prisma interno de solo) e eventuais sobrecargas geradas durante e após a construção. A mobilização da resistência à tração dos geossintéticos fica condicionada a uma ancoragem adequada para mobilizar os esforços e garantir que o geossintético não seja arrancado do interior dos prismas externos de solo. O arqueamento do solo também possui significativa influência no comportamento das tensões no solo e, conseqüentemente, do geossintético. O arqueamento no Geoval será positivo (ativo), ou seja, as tensões sobre a estrutura do geossintético (estrutura deformável) serão transferidas, em parte, para os prismas laterais (externos) de solo, que possuem comportamento rígido em relação ao prisma central (interno) suportado pelo geossintético. Essa transferência promoverá um alívio de tensões sobre o geossintético, impactando de maneira sensível em seu comportamento mecânico.

Embora os mecanismos de funcionamento da técnica Geoval sejam bastante conhecidos, os ensaios que comprovaram sua eficiência foram realizados por Viana e Bueno (2003) somente por meio de modelos físicos laboratoriais de pequena e grande dimensão. O objetivo geral deste trabalho consiste na avaliação do comportamento de geogrelha aplicado no sistema Geoval em uma seção experimental construída no campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). O comportamento do solo e da geogrelha da seção experimental foi monitorado. O estudo consiste na verificação da eficiência da técnica na redução de tensões ao

longo do maciço de solo de cobertura por meio do arqueamento induzido.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Solo

O solo utilizado no trabalho, na etapa de reaterro do sistema, é um solo coluvionar argilo-arenoso laterizado não saturado proveniente do diabásio, presente em grande parte do campus São Carlos da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), especialmente encontrado nos arredores do Laboratório de Geotecnia da UFSCar (LabGEO/UFSCar). A distribuição granulométrica do solo de reaterro é apresentada na Figura 1. Na Tabela 1 são resumidas as propriedades características e de compactação do solo.

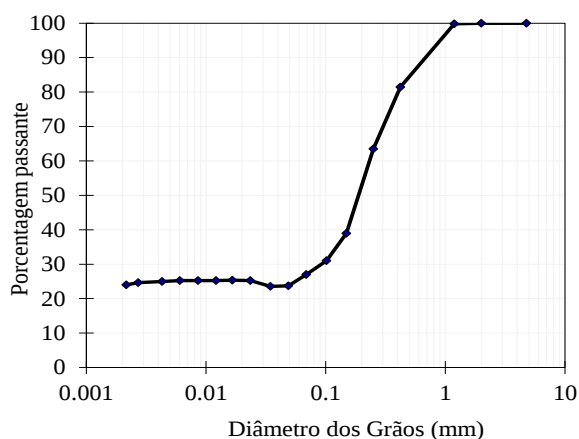


Figura 1. Curva granulométrica do solo utilizado no experimento.

Tabela 1. Propriedades do solo.

Propriedades	Normas	Valores
γ_s (kN/m ³)	NBR 6508	26,18
LL (%)	NBR 6459	32
LP (%)	NBR 7180	21
IP (%)		11
$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (kN/m ³)	NBR 7182	19,2
w_{ot} (%)		12,7

2.2 Geossintéticos

Foi utilizado como reforço uma geogrelha de poliéster tecida, com resistência à tração longitudinal da ordem de 55 kN/m e transversal da ordem de 30 kN/m. A abertura de sua malha possui 20 mm e sua deformação nominal na

ruptura possui o valor máximo de aproximadamente 6%. O geotêxtil, por sua vez, consiste em um não-tecido agulhado de filamentos curtos de poliéster com gramatura de 300 g/m². O geotêxtil não tecido foi aplicado sobre a geogrelha no intuito de promover a separação. Na Figura 2 é apresentada a curva força-deformação média obtida em ensaios de tração realizados em elementos únicos de geogrelha de acordo com a ASTM D6637 (2015).

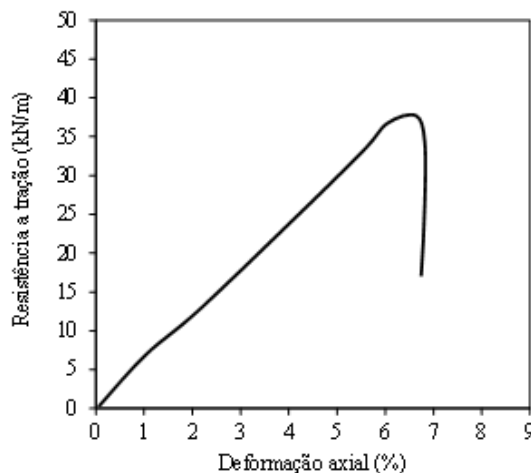


Figura 2. Curva força-deformação média da geogrelha utilizada.

O módulo de rigidez à tração da geogrelha a 5% de deformação é da ordem de 520 kN/m.

2.3 Seção Experimental

A seção instrumentada foi executada no campo experimental do Laboratório de Geotecnia da Universidade Federal de São Carlos (LabGEO/UFSCar). O experimento como um todo foi dividido em cinco etapas principais, a saber: (1) escavação da vala; (2) instalação de parte das células de tensão total abaixo da linha de reforço; (3) instalação do conjunto geotêxtil-geogrelha e dos transdutores de deslocamento; preenchimento e compactação do solo de cobertura; (4) e instalação do restante das células de tensão total; (5) aplicação da sobrecarga e leitura da instrumentação.

A configuração escolhida para a Geovala neste caso foi a do tipo vala escalonada. O escalonamento neste caso é essencial para que haja a ancoragem do conjunto geotêxtil-geogrelha junto aos prismas laterais de solo,

forçando-o assim a trabalhar como uma membrana tensionada quando sujeito aos esforços verticais atuantes. A vala escavada foi composta por uma sub-vala, mais larga, contendo uma vala estreita em seu centro. A seção transversal adotada é ilustrada na Figura 3.

O solo foi compactado manualmente com uso de soquete manual, como solo na umidade ótima de compactação de proctor normal (12,7%) e com grau de compactação de 95%. A geogrelha foi instalada sobre a vala com um pré-tensionamento realizado manualmente (Figura 4). Durante o processo executivo a geogrelha foi ancorada com o uso de barras de aço cravadas entre as aberturas da geogrelha. O solo era lançado sobre a ancoragem e os as barras de ancoragem eram retiradas. É muito importante que as barras sejam retiradas, pois a técnica demanda do deslocamento da geogrelha para indução do arqueamento.

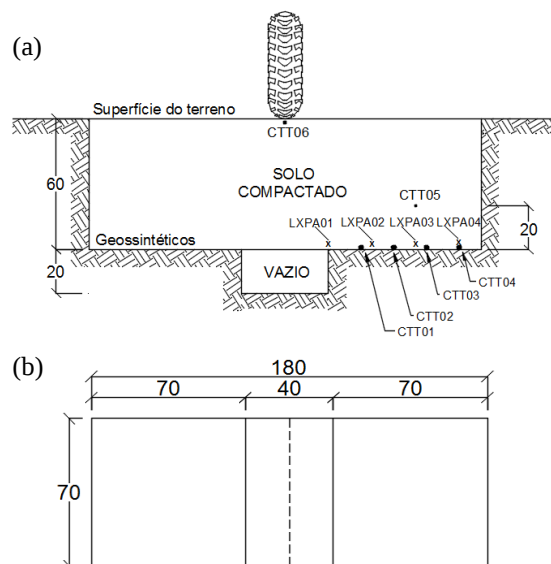


Figura 3. Geometria da vala escavada: (a) em corte; (b) em planta. Medidas em centímetros.

A etapa final do experimento consistiu na aplicação de uma sobrecarga sobre o eixo de simetria da vala na superfície do terreno. O carregamento adotado foi do tipo estático, aplicado a partir de uma roda de um caminhão de médio porte carregado, com intensidade estimada de 2 toneladas-força. A Tabela 2 traz de forma resumida todos os parâmetros de ensaio descritos até aqui.



Figura 4. Vala escavada com a geogrelha.

Tabela 2. Resumo da seção instrumentada construída.

Parâmetro	Valor Adotado
Comprimento da vala	180 cm
Geogrelha	55/30 kN/m
Altura de Recobrimento	60 cm
Tipo de Carregamento	Constante
Carregamento Máximo	2 tf
Leituras de Tensão	6 pts.
Leituras de Deslocamento	4 pts.

2.4 Instrumentação

O programa de instrumentação consistiu no monitoramento das tensões no solo de reaterro e dos deslocamentos ao longo da geogrelha. O monitoramento das tensões foi realizado com o uso de células de tensão total, com capacidade de 200 kPa e 500 kPa, posicionadas ao longo do comprimento transversal da vala, sob o reforço de geossintéticos e espaçadas a cada 15 centímetros, e ao longo da altura do reaterro da vala acima do reforço, na região central e lateral da vala. Os deslocamentos foram monitorados por meio de transdutores de deslocamento fixados em fios inextensíveis, cujas extremidades foram conectadas à geogrelha em quatro pontos também ao longo do comprimento transversal da vala e espaçados a cada 20 centímetros. Os transdutores de deslocamentos são do tipo potenciométricos. As leituras das células de tensão total foram obtidas por meio do sistema de aquisição de dados D4 da Vishay, enquanto as leituras dos transdutores foram obtidas pela aquisição de dados do tipo NI USB-6008, da National Instruments. A localização da instrumentação é ilustrada na Figura 3a.

2.5 Procedimento de Ensaio

O ensaio consistiu na leitura da instrumentação instalada durante a aplicação da sobrecarga. A coleta dos dados foi realizada por meio do sistema de aquisição de dados. Buscou-se o monitoramento sincronizado de todas as leituras para que se conseguisse a compatibilização das tensões e deformações obtidas. Na Figura 5 é mostrado o ensaio em andamento.



Figura 5. Ensaio em andamento.

4 RESULTADOS

As leituras de tensões em todos os pontos ao longo do corpo da geovala são ilustradas na Figura 6. Na figura apresenta-se também uma distribuição do tipo 2:1 de tensões ao longo da profundidade. Nota-se que houve significativa redução das tensões verticais quando compara-se a tensão vertical aplicada à superfície do terreno (88 kPa) com as tensões ao longo da linha da geogrelha. A mobilização do arqueamento sobre a cavidade transfere as tensões do prisma interno de solo para a borda do prisma externo (fenômeno captado principalmente pela célula mais próxima ao eixo da vala). Durante o ensaio, não houve ruptura (representada neste caso por recalques significativos) da região do reforço sobre a cavidade, indicando que o reforço de geossintéticos suportou, através do efeito membrana em conjunto com o efeito do arqueamento, o carregamento aplicado. Nota-se que a célula de tensão total CTT05, que indica uma leitura de 24 kPa. Considerando somente a tensão geostática neste ponto (0,4 m de profundidade), esta tensão deveria ter um valor de aproximadamente 8 kPa, se não houvesse a geogrelha. No entanto, a tensão registrada é de

24 kPa, ou seja 3 vezes maior. Atribui-se esse acréscimo de tensão ao arqueamento induzido pelo deslocamento da geogrelha. Esse fenômeno é também corroborado pelas tensões quase nulas abaixo da linha da geogrelha. Essas tensões deveriam ter, no mínimo, valores referentes às tensões geostáticas. Aparentemente, o arqueamento induzido está resultando no alívio das tensões nestes pontos.

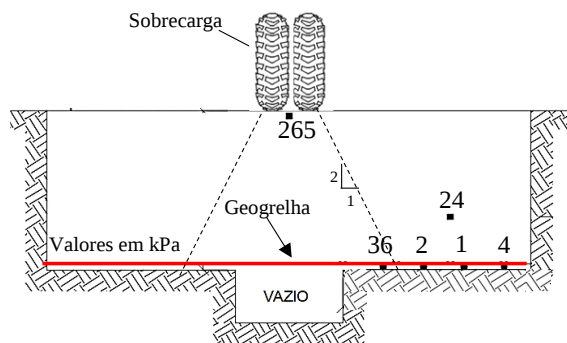


Figura 6. Distribuição de tensões ao longo do comprimento transversal da vala.

Na Figura 7 são apresentados os valores de tensões totais verticais medidas nos diferentes pontos ao longo do comprimento da geogrelha, assim como mostrados na Figura 3a. Basicamente, a distribuição de tensões verticais foi captada ao longo do comprimento da Geovala, no nível do patamar da sub-vala. Monitorou-se somente um dos lados de ancoragem. Os dados obtidos foram espelhados, uma vez que o problema é axissimétrico, para melhor análise da distribuição de tensões.

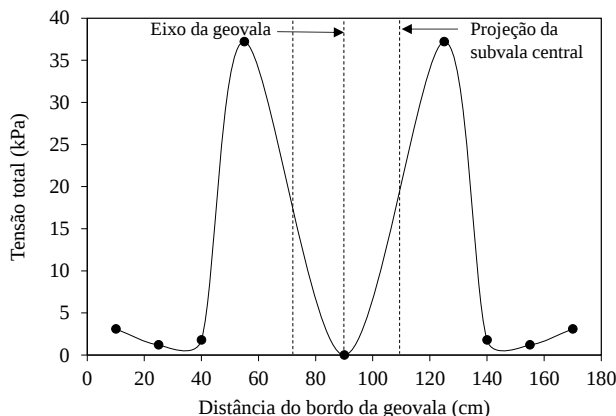


Figura 7. Distribuição de tensões ao longo do comprimento transversal da vala.

A distribuição das tensões verticais mostra

que elas são máximas nas proximidades dos bordos da subvala, pontos nos quais o efeito membrana é acionado. De forma a captar o efeito membrana, os deslocamentos distribuídos (*Tell-Tales*) e a distribuição de deformações ao longo da geogrelha foram obtidos e são mostrados na Figura 8. A distribuição de deslocamentos (Figura 8a) mostra que valores máximos (10 mm) ocorreram nas proximidades dos bordos do vazio (subvala), indicando o acionamento do efeito membrana. Ao longo da ancoragem, os deslocamentos são relativamente baixos na ordem de 0,5mm. No entanto, esse nível de deslocamentos mostrou-se suficiente para acionar o arqueamento induzido.

Na Figura 8b são mostradas as deformações ao longo da geogrelha. Novamente, as deformações são praticamente nulas na zona de ancoragem e máximas nas proximidades dos bordos mostrando o acionamento do efeito membrana.

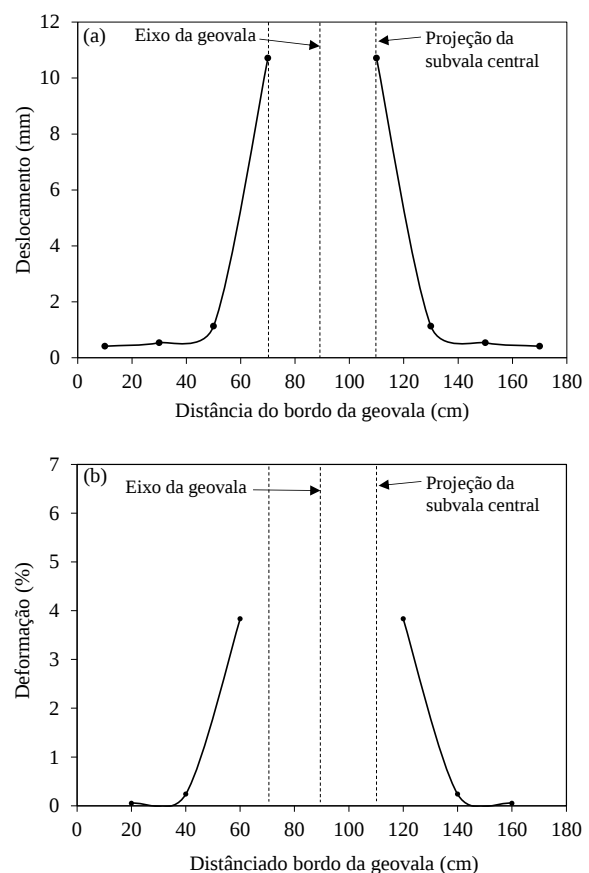


Figura 8. Distribuição de tensões ao longo do comprimento transversal da vala.

É importante destacar que a captura destes dois fenômenos (efeito membrana e arqueamento induzido) mostram que a geovala avaliada no campo mostrou-se eficiente para o nível de carregamento aplicado. No entanto, cabe destacar que a resistência de ancoragem é um dos parâmetros imprescindíveis para projetos de geovalas, já que a ruptura de interface pode afetar todos os efeitos benéficos. O presente trabalho consiste em resultados parciais de um projeto de pesquisa sendo desenvolvido no LabGEO/UFSCar. Numa segunda etapa, os dados obtidos deste modelo de campo serão modelados numericamente para avaliações paramétricas da melhor concepção para projeto de sistemas de atenuação de tensões em tubulações enterradas.

5 CONCLUSÕES

O programa experimental contemplou a execução de uma seção do sistema Geovala de atenuação de tensões de tubulação enterrada. A seção foi executada com o uso de um solo local tipo SC compactado e geogrelha. Tensões totais verticais ao longo da altura e ao longo do comprimento ancorado da geogrelha foram monitoradas. Deslocamentos internos horizontais foram também registrados. A tensão vertical no eixo da geovala foi aplicada com o uso da carga estática da roda de um caminhão. Com base no estudo experimental, as seguintes conclusões foram obtidas:

- O sistema de atenuação de tensões com o uso de geogrelha funcionou adequadamente sem qualquer sinal de ruptura mediante a carga de 2 tf aplicada no eixo da subvala;
- Foram capturados dois mecanismos que regem o comportamento da geovala: o efeito membrana e o arqueamento induzido pelo deslocamento da geogrelha sob tensão;
- O arqueamento induzido resultou em tensões verticais nulas nas células instaladas abaixo do comprimento ancorado da geogrelha, o que comprova o fenômeno de arqueamento induzido. Ainda, tensões logo acima do

comprimento ancorado foram maiores que o esperado, o que foi também ocasionado pelo efeito do arqueamento induzido;

- Maiores deformações e deslocamentos da geogrelha foram verificados nas proximidades da subvala (vazio), o que permitiu identificar o efeito membrana. Ao longo do comprimento ancorado da geogrelha, as deformações foram nulas, porém os deslocamentos não. Isso indica uma movimentação de arrancamento que é imprescindível para funcionamento da técnica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de iniciação científica e pelo constante apoio às pesquisas na UFSCar.

REFERÊNCIAS

- ASTM D6637 (2015) Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Geogrids by the Single or Multi-Rib Tensile Method. American Standard Test Method, 6.
- Bueno, B. S.; Costa, Y. D. J. (2009). *Dutos enterrados: aspectos geotécnicos*. São Carlos: EESC-USP. p. 73-93, 245-252.
- Bulson, P. S. (1985). *Buried structures: static and dynamic strength*. London: Chapman and Hall, 1985. 230p.
- Das, B. M.; Khing, K. H. (1994). *Foundation on Layered Soil with Geogrid Reinforcement-Effect of a Void. Geotextiles and Geomembranes*, Ireland: Elsevier, v.13, p.545-553.
- Horvath, J. S. (1987). *The compressible inclusion function of EPS geofam. Geotextiles and Geomembranes*, Great Britain: Elsevier, n. 15, p. 77-120.
- Howard, A. K. (1977). *Soil Interaction for buried pipe. Journal of Geotechnical Engineering*, Denver: U.S. Bureau of Reclamation, p. 33-43.
- Kennedy, J. B.; Laba, J. T. (1989). *Suggested Improvements in Designing Soil-Steel Structures*. Transportation Research Record, [S.I.:s.n], p. 96-104.
- Krizek, R. J.; Kay, J. N. (1972). *Material properties affecting soil – structure interaction of underground conduits*. Highway Research Record, [S.I.:s.n], n. 413, p. 13-29.
- Krizek, R. J.; Parmelee, R. A.; KAY, J. N.; ELNAGAAR, H. H. (1971). *Structural analysis and design of pipe*

- culverts. Highway Research Board, Washington: [s.n], n. 116, 115p.
- Liedberg, N. S. D. (1994). *Reduction of Vertical Stresses on Rigid Pipes by the Use of Soft Inclusions Under the Invert*. In: XIII ICSMFE, 1994, New Delhi. Anais... New Delhi, p. 579-582.
- Long, N. T. (1996). *Utilization of used tyres in civil engineering – The Pneusol “Tyresoil”*. Environmental Geotechnics. Rotterdam: Balkema, p. 809-814.
- Marston, A (1930). *The theory of external loads on closed conduits in the light of the latest experiments*. Ames: Iowa Engineering Experimental Station, n. 96, p. 36-.
- Melotti, O. K. (2002). *Tubulações enterradas. “O uso da trincheira induzida”*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Slanden, J. A; OSWELL, J. M. (1988). *The induced trench Method – A critical review and case history*. Journal of Canadian Geotechnical, [S.I.:s.n], v. 25, p. 541 – 549.
- Spangler, M. G. (1951). *Soil Engineering*, Iowa: International Text Book Company.
- Vaslestad, J; Johansen, T. H; Holm, W. (1993). *Load reduction on rigid culverts beneath high fills: Long-Term behavior*. Transportation Research Record, [S.I.:s.n], n. 1415, p.58-68.
- Vertematti, J. C. *Manual Brasileiro de Geossintéticos*. São Paulo: Edgard Blücher, 2004. p. 143-152.
- Viana, P. M. (1998). *Condutos enterrados: redução de esforços sobre a estrutura*, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 157p.
- Young, O. C.; Trott, J. J. (1984). *Buried Rigid Pipes – Structural Design of Pipelines*. London: Elsevier Applied Science Publishers.