

TRINCHEIRA INDUZIDA COM GEOSSINTÉTICOS – TIG: REVISÃO DO MÉTODO E ESTUDO PARAMÉTRICO *GEOSYNTHETIC INDUCED TRENCH - TIG: REVIEW OF THE METHOD AND PARAMETRIC STUDY*

Eder Chaveiro Alves¹ Alexandre Garcês de Araújo² 

Resumo: Os serviços logísticos no Brasil contam com cinco modais, sendo eles: rodoviário, ferroviário, aquaviário, aéreo e dutoviário. O modal dutoviário é, dentre os modais, o que tem a capacidade mais alta, sendo ideal para transportar produtos para longas distâncias e em grandes quantidades com baixo custo. Durante os anos vem se estudando alternativas para diminuir o custo de implantação dos dutos e facilitar a manutenção durante a operação. Este trabalho apresenta um estudo paramétrico de uma técnica de instalação de dutos enterrados com Trincheira Induzida com Geossintéticos – TIG, baseada na instalação Geovala. A técnica permite a criação de uma Região de Inspeção Direta – RID sobre o topo do duto enterrado, possibilitando a inspeção direta e a instalação de sensores de monitoramento no duto, sem provocar danos nos mesmos. Através de um programa computacional, desenvolveu-se ábacos de dimensionamento para estimar a tração máxima - T_{MAX} no geossintético e a rigidez axial à tração - RAT necessária para uma deformação central admissível do geossintético de 10% da largura do RID, considerando um carregamento rodoviário de trem tipo 45 tf. As principais vantagens da técnica apresentada são a redução do impacto ambiental, do custo e tempo de execução e possibilidade de uma melhor inspeção direta dos dutos.

Palavras-chave: Modal Dutoviário. Região de Inspeção Direta. Geossintético. Tração Máxima. Sobrecarga Rodoviária.

Abstract: The logistics services in Brazil are formed by five modes, in which: road, railroad, waterway, air and pipeline. The pipeline modal is, among the modals, the one with the highest capacity, being ideal for transporting products over long distances and in large quantities at low cost. Over the years, alternatives have been studied to reduce the cost of implementing pipelines and facilitate maintenance during operation. This work presents a parametric study of a technique for installing buried pipes with Geosynthetics-Induced Trench - TIG, based on the Geovala installation. The technique allows the creation of a Direct Inspection Region - RID on the top of the buried pipeline, allowing direct inspection and installation of monitoring sensors in the pipeline, without causing damage to them. Through a computer program, dimensioning abacuses were developed to estimate the maximum traction in the geosynthetic and the axial stiffness required for an allowable central deformation of the geosynthetic of 10% of the width of the RID, considering a 45 tf-type train road loading. The main advantages of the presented

¹ Engenheiro Civil com doutorado em Agronomia, Ministério Público do Estado de Goiás, ederchaveiro@yahoo.com.br.

² Engenheiro Civil com doutorado em Agronomia, Universidade Estadual de Goiás, alexandregarcês@gmail.com.

technique are: the reduction of the environmental impact, of the cost and time of execution and possibility of a better direct inspection of the pipelines.

Keywords: Pipeline Modal. Direct Inspection Region. Geosynthetic. Maximum Traction. Direct inspection. Road Overload.

1 INTRODUÇÃO

Os dutos são considerados o melhor meio de transportar gás, petróleo e derivados, devido à sua segurança, baixo custo de manutenção, e pela sua capacidade de transporte. O primeiro oleoduto construído no Brasil foi construído na Bahia em 1942, sendo o seu diâmetro de 12 polegadas e extensão de 1 quilômetro e interligava a refinaria experimental de Aratu ao Porto de Santa Luzia, conforme Badanhan (2001).

Segundo Oliveira (2016), o emprego do transporte dutoviário é muito limitado, sendo destinado, principalmente, ao transporte de líquidos e gases em grandes volumes como o petróleo e os seus derivados, além dos materiais que podem ficar suspensos como os minérios. Em 2018, o Brasil contava com 718 dutos destinados ao transporte de petróleo, derivados, gás natural e etanol, totalizando 21,3 km, conforme ANP (2019).

À medida que cresce a malha de dutos no Brasil, aumenta a possibilidade de ocorrência de acidentes em tubulações que transportam gases ou outro fluido inflamável, além da ocorrência de vazamentos (PIMENTEL, 2003). Entre as ocorrências graves de acidentes de duto pode-se citar o incêndio da Vila Socó em Cubatão/SP em 1984, o vazamento de GLP em Barueri/SP em 2001 e os vazamentos ocorridos na Baía de Guanabara no Rio de Janeiro/RJ em 2000.

Considerando os aspectos relativos à importância da distribuição e implantação de dutovias no País, qualquer contribuição que venha facilitar o processo executivo e de monitoração, de modo a garantir a segurança da estrutura em relação aos estados limites, facilitando a reabilitação do duto e reduzindo os custos executivos, é bem-vinda.

A Trincheira Induzida com Geossintéticos – TIG parece solucionar, de modo, inequívoco, o problema da instalação de dutos enterrados e das tensões sobre o topo do duto, inclusive permitindo a criação de uma Região de Inspeção Direta - RID sobre o duto, que admite a instalação de equipamentos de monitoração “on-line” (e até mesmo ensaios com aparelhos de ultra-som

automatizado), a monitoração visual do duto e a reabilitação parcial sobre o topo e ombro do duto.

Este trabalho procura estudar uma nova instalação de gasodutos, baseada na Geovala desenvolvida por Viana (2003), chamada Trincheira Induzida com Geossintéticos - TIG, considerando diferentes larguras da RID (Região de Inspeção Direta), tipos de solo (Argila saturada, Areia e Pedregulho, Solo saturado e Material granular) e diferentes alturas de cobertura de solo sobre o geotêxtil. Propõe-se também, a avaliação destas hipóteses sobre a atuação de sobrecarga rodoviária, com um trem-tipo de 45 tf, como é especificado pela NBR 7188/2013

Finalmente, foi elaborado um programa computacional baseado no modelo apresentado por Viana (2003) de modo dimensionar a instalação TIG para diferentes situações e confeccionar um gráfico que apresentasse a relação entre a largura do vazio, a tração máxima (T_{MAX}) e a rigidez axial à tração (RAT) necessária no Geotêxtil para uma deformação vertical de 10% da largura do RID.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste item serão apresentados os principais tipos de instalações de dutos enterrados utilizados no Brasil, e os métodos de redução de esforços sobre os dutos enterrados, mais conhecidos pela literatura técnica.

2.1 Tipos de instalações de dutos enterrados

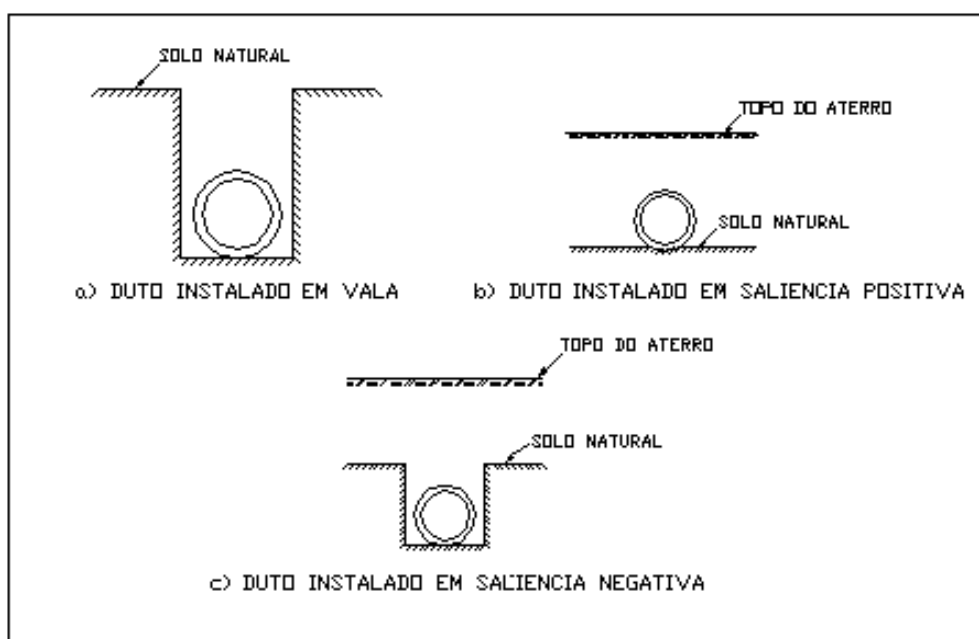
Dentre as técnicas de instalações de dutos enterrados, as mais utilizadas são: a Vala, a Saliência Positiva e a Saliência Negativa (MARSTON, 1930; ZAILLER, 1983; VIANA, 1998; VIANA, 2003; DEBS, 2003).

Os dutos instalados em vala são aqueles dispostos em uma trincheira relativamente estreita que é posteriormente aterrado e compactado (Figura 1a). Esta é a instalação de duto mais utilizada durante a construção de oleodutos e gasodutos.

A Saliência Positiva é a instalação em que o duto é instalado sobre uma fundação superficial, estando a geratriz superior do duto acima da superfície natural do solo (Figura 1b).

Já a Saliência Negativa, é a instalação em que o duto é assentado em uma vala rasa, ficando a geratriz superior do mesmo abaixo da superfície natural do solo (Figura 1c).

Figura 1: Tipos de instalações mais utilizadas.



Fonte: Autor (2020)

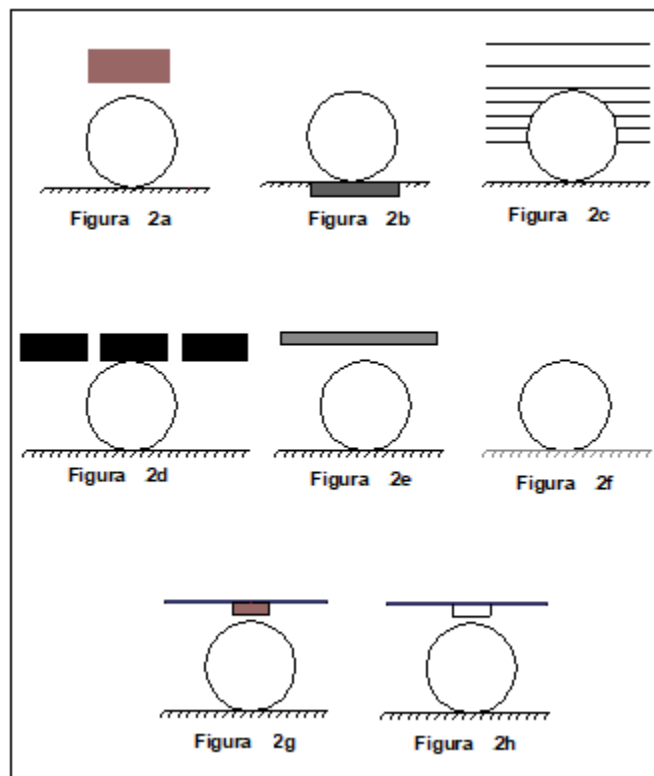
2.2 Métodos de redução de esforços nos dutos enterrados

Devido à grande relevância dos setores que necessitam de gás na (Indústrias, termoelétricas, etc) para a economia e o meio ambiente, convém-se reavaliar os procedimentos atuais de técnicas de instalações, de modo a proporcionar mais segurança, rapidez, economia e manutenção do duto, pesquisando novas técnicas de diminuição de esforços em dutos enterrados.

Dentre as técnicas que induzem uma redução de esforços sobre o duto enterrado, temos: Trincheira Induzida, Berço Compressível, Tiras Metálicas,

Pneusolo, Placa de Concreto, Berço de Solo-Cimento, Geossintético e a Geovala, conforme a Figura 2.

Figura 2: Técnicas de redução de esforços sobre o duto enterrado.



Fonte: Autor (2020)

A Trincheira Induzida foi uma das primeiras técnicas de minimização de esforços em estruturas enterradas apresentada por Marston, 1930. Neste método, instala-se um “bloco” compressível usualmente de uma vez o diâmetro de largura por uma a duas vezes o diâmetro de altura localizado acima da geratriz superior do duto, de modo a “induzir” deslocamentos relativos entre a região central (prisma interno) e a região lateral (prismas externos) (Figura 2a).

O Berço Compressível é uma técnica adotada para algumas situações específicas, tais como, dutos assentados em rocha ou enchimento com material rochoso. Este método consiste em se instalar o duto sobre um berço compressível, escavando uma sub-vala de largura maior que a largura externa do duto e reaterrando esta vala com material bastante compressível.

Conduzindo assim, a condições menos críticas de carregamento, pois garante que os recalques do topo do duto sejam maiores que os do plano crítico no aterro, reduzindo o valor de razão de recalque e conseqüentemente o carregamento na estrutura (Figura 2b) (SPANGLER, 1951 e LIEDBERG, 1994).

Kennedy & Laba (1989) apresentaram uma técnica em que utilizavam tiras metálicas distribuídas nos solos acima da geratriz superior do duto e no solo envolvente (Figura 2c). Esta técnica apresenta melhorias no sistema solo-duto, entre elas, o aumento da rigidez do solo envolvente fornecendo suporte necessário ao sistema solo-duto, principalmente em estruturas flexíveis. A desvantagem é em relação ao custo.

A técnica do Pneu solo apresentada por Long (1996), consiste em instalar pneus ligados entre si, sobre o duto. A maioria das solicitações é suportada pelos pneus, diminuindo assim as tensões verticais atuante sobre o duto enterrado (Figura 2d).

A técnica da placa de concreto consiste em instalar uma placa de concreto logo acima do aterro superior ao duto enterrado (Figura 2e). Havendo assim uma diminuição das tensões verticais, devido ao aumento da área de aplicação das tensões e da rigidez da placa. (FRE-COMPOSITES, 1999).

O Berço Solo-Cimento é uma técnica utilizada para melhorar a resistência e rigidez do berço, diminuindo a probabilidade de ocorrer a ruptura do duto por recalque diferencial e distribuindo melhor as tensões verticais para o solo envolvente, em caso de dutos flexíveis. Este método consiste, em misturar ao solo do berço um aglutinante, (cimento Portland, cimento betuminoso, etc.) de modo a aumentar a rigidez do mesmo (Figura 2f). (HOWARD, 1994).

Viana (1998) apresentaram uma técnica de redução de esforços sobre o duto enterrado, em que, aliou-se o benefício da trincheira somado ao efeito da inclusão do geossintético no solo (Figura 2g). Segundo Viana (1998), a principal vantagem desta técnica é a inserção do efeito membrana na composição dos esforços que agem no sentido de reduzir em cerca de 60% as

tensões sobre a tubulação enterrada e em 50% as deflexões, e aumentando em 45% a carga de ruptura em relação ao sistema solo-conduto não reforçado.

Apresentada por Viana (2003), a Geovala consiste na instalação de um geossintético sobre uma vala, preenchida ou não com material fofo, localizado acima do duto visando reduzir as tensões que atingem o duto enterrado (Figura 2h). O sistema Geovala reduz as tensões nas paredes do duto, eliminando as tensões no topo e reduzindo significativamente as tensões no ombro e nas laterais. Este efeito contribui para a redução de esforços gerados como consequências de tensões, tais como; deformações, momentos, tensões compressivas nas paredes, etc.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste item serão apresentados os métodos e os materiais que foram utilizados neste trabalho.

3.1 Geovala

Apresentada por Viana (2003), a Geovala é uma Trincheira Induzida que utiliza geotêxtil para a sua estabilização. Este sistema foi intensamente analisado pelos autores, por meio de um amplo programa de ensaios experimentais de pequena e grande dimensão, devidamente controlados, contribuindo significativamente para a formulação de modelos representativos do funcionamento do sistema composto por solo-geotêxtil-vazio.

Para o desenvolvimento do modelo analítico aplicado ao caso Geovala, o autor realizou estudos experimentais que envolveram análises e verificações de desempenho do sistema durante o processo construtivo e sobrecargas. Viana (2003) constatou que a grande parte dos deslocamentos verticais do geotêxtil, ocorreu durante o processo construtivo nos instantes da execução das primeiras camadas.

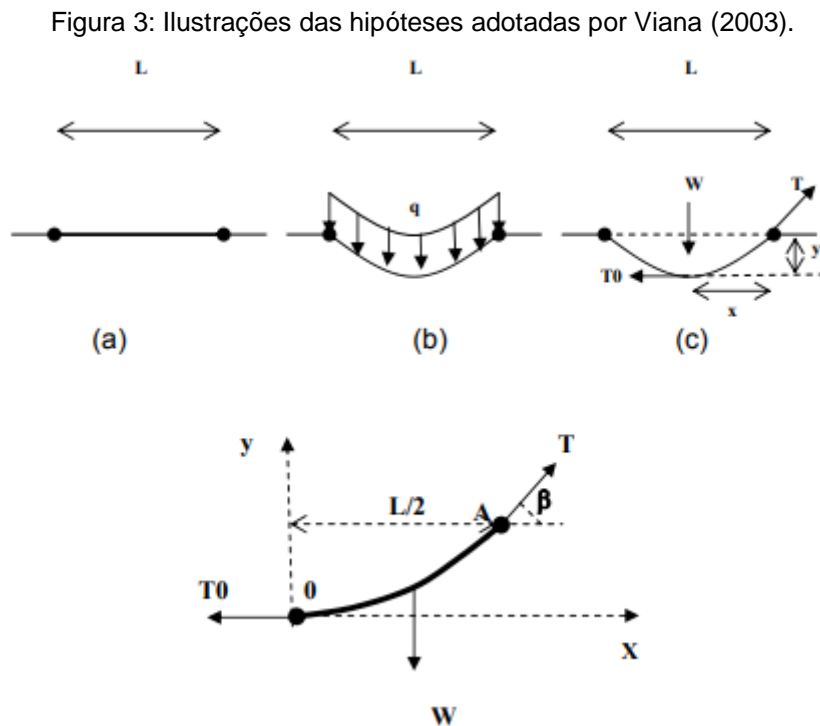
Para o desenvolvimento do modelo reológico, admitiu-se que o geotêxtil fosse uma manta de largura unitária, de rigidez constante, engastada nas

extremidades do vazio e sem rigidez à flexão. A forma geométrica típica do geotêxtil nas considerações apresentadas, durante a deformação, pode ser aproximada a uma parábola quando a relação entre y/L for menor que 0,25 (y – deslocamento vertical central do geotêxtil, L – largura dos vazios) segundo observações do autor, durante a execução dos ensaios experimentais.

As principais hipóteses adotadas foram (VIANA, 2003):

- As deformações de borda são nulas;
- A manta de largura unitária é carregada uniformemente;
- A manta de largura unitária deforma-se em forma de parábola;
- As tensões cisalhantes na interface solo-reforço são desprezadas;

Com essas hipóteses, o modelo foi desenvolvido a partir da formulação dos princípios estáticos de equilíbrio de esforços, considerando uma manta de comprimento unitário (Figura 3).



Fonte: Viana (2003).

Onde: T – força interna de tração ao ponto A; T_0 – força interna de tração tangente ao ponto de maior deformação; W – força resultante da sobrecarga (q.x).

Resolvendo o sistema representado pela Figura 3, Viana (2003) chegou às equações abaixo.

$$T_{\max} = \alpha \sqrt{1 + \frac{\mu^2}{16}}; \quad (1)$$

$$1024 \mu^6 J^2 - 144 \mu^2 \alpha^2 - 9 \alpha^2 = 0 \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{q L}{2}; \quad (3)$$

$$\mu = \frac{y}{L}; \quad (4)$$

Onde: L – largura do vazio (m); y – deslocamento vertical no centro da manta (m); J – módulo de rigidez axial à tração do geotêxtil (kN/m³); e q – carga distribuída sobre a superfície do geotêxtil (Peso do solo + Sobrecarga)(kN/m).

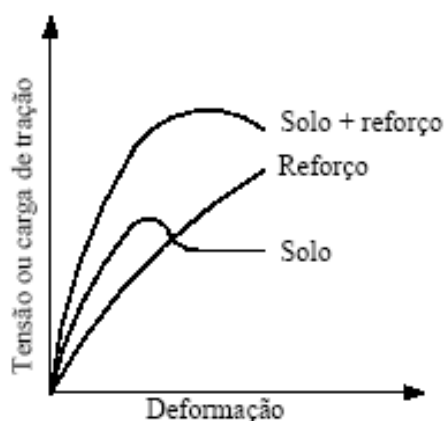
Além da equação desenvolvida por Viana (2003), devemos destacar também outros métodos analíticos que avaliam o funcionamento do sistema composto por solo-geotêxtil-vazio.: Giroud et al. (1990), Low (1994), BS8006 (1995), Rogbeck (1998) e Blivet et al. (2002).

3.2 Propriedades do geotêxtil para reforço de solos

A técnica de solo reforçado com geossintéticos consiste na inclusão destes materiais visando a obtenção de um material composto mais resistente e menos deformável que o solo isolado (PALMEIRA, 1999).

É verdade que os dois materiais (solo e geossintético) só possuem desempenho satisfatório na engenharia quando combinados, sendo que separados suas propriedades são, as vezes, insuficientes para o emprego em obras, conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4: Comportamento tensão (ou carga)-deformação dos materiais.



Fonte: Palmeira (1999).

Para o geossintético desempenhar bem o papel de reforço em uma obra geotécnica, devem ser observadas as seguintes propriedades (PALMEIRA, 1999):

- Resistência à tração;
- Rigidez axial à tração (deformabilidade compatível com a do solo);
- Comportamento em fluência;
- Resistência a esforços de instalação;
- Durabilidade quanto á degradação ambiental (química e biológica);
- Elevado grau de interação com o solo envolvente.

A determinação da tração admissível do reforço T (ϵ , t , θ), a ser utilizada em projetos de solo reforçado, é aquela correspondente a deformação (ϵ)

especificada para o reforço ao final da vida útil da obra (tempo t) sob temperatura (θ) (PALMEIRA, 1999).

Conforme é apresentado por Vertematti (2001), a resistência à tração disponível do geotêxtil T_a é aquela que efetivamente o geotêxtil pode oferecer na obra. Para determiná-la, temos que aplicar o fator tora de redução FR_T ao valor de resistência T_{MAX} apresentada no catálogo do fabricante:

$$T_a = \frac{T_{MAX}}{FR_T}; \quad (5)$$

O fator total é composto por vários fatores parciais:

- FR_{FL} – fator de redução para deformações por fluência em tração, que varia 2,0 a 4,0 em função da matéria-prima do Geotêxtil;
- FR_{DI} – fator de redução devido a danos de instalação na obra, que varia de 1,0 a 2,0 em função dos materiais fisicamente contundentes em contato com o Geotêxtil;
- FR_{MA} – fator de redução devido à degradação pelo meio ambiente (química e biológica), que varia de 1,0 a 1,6 para de esforços em geral.

Assim, o fator total de redução é calculado pela equação (6).

$$FR_T = FR_{FL} FR_{DI} FR_{MA}; (6)$$

Uma vez calculada a T_a , esta deve ser maior igual à T_{req} – resistência requerida pelo projeto.

Os valores a serem considerados devem ser fornecidos e certificados pelos fabricantes e devem ser aplicados na análise de um projeto e especificação de geossintéticos para reforço (PALMEIRA, 1999).

Para calcular o comprimento de ancoragem (L_a) do geotêxtil no solo, pode-se utilizar a equação:

$$L_a = \frac{T_{req}}{2(c + \gamma H \operatorname{tg} \delta)}; \quad (7)$$

Onde: δ – ângulo de atrito solo-reforço (em geral, $0,7\varphi \leq \delta \leq \varphi$; Palmeira, 1992); φ – ângulo de atrito interno do solo; c – coesão do solo; γ – peso específico do solo de cobertura; e H – altura de cobertura de solo sobre o geotêxtil.

3.3 Propriedades do geotêxtil para reforço de solos

Existem duas parcelas de carregamento vertical que atuam sobre o geotêxtil enterrado: carregamento devido ao peso da cobertura do solo sobre o duto e o carregamento devido à sobrecarga.

Foi adotado para o cálculo do carregamento vertical atuante no duto enterrado devido ao peso próprio da cobertura sobre o geotêxtil, o cálculo do prisma de solo (peso específico do solo multiplicado pela altura de cobertura) em uma extensão de um metro. Para o cálculo do carregamento devido à sobrecarga na superfície foi utilizada a Teoria de Boussinesq, a qual foi modificada para que atendesse o carregamento móvel.

Neste trabalho será considerada apenas a sobrecarga rodoviária, e as dimensões da área de contato da roda no solo, a distância entre eixos e a distância de centro das rodas de cada eixo, será baseado no caminhão Tipo 45, conforme é caracterizado pela NBR 7188/2013.

Tabela 1 – Característica de veículo-tipo rodoviário.

Item	Unidades	Tipo 45
Quantidade de eixo	Eixo	3
Peso total do veículo	kN	75
Peso de cada roda	kN	450
		0,20 x
Área de contato da roda	m ²	0,50

Distância entre eixos	m	1,50
Distância entre centros das rodas de cada eixo	m	2,00

Fonte: NBR 7188/2013.

As equações que serão mostradas a seguir são utilizadas para a estimativa do carregamento no duto enterrado devido à sobrecarga rodoviária na superfície do solo e são baseadas no método apresentado pela ATHA (2006).

Para $h_s < h_{cl}$:

$$Q_m = \frac{\phi Q_r}{t} \frac{L}{l_e}; \quad (8)$$

para $h_{cl} < h_s < h_{ct}$:

$$Q_m = \frac{3\phi Q_r}{t} \frac{L}{l'_e}; \quad (9)$$

para $h_s > h_{ct}$:

$$Q_m = \frac{6\phi Q_r}{t'} \frac{L}{l'_e}; \quad (10)$$

$$h_{cl} = (e - a)/1,4 \quad (11)$$

$$h_{ct} = c/1,4; \quad (12)$$

$$l_e = b + 1,4 H; \quad (13)$$

$$l'_e = N c + 1,4 H; \quad (14)$$

$$t = a + 1,4 H ; \quad (15)$$

$$t' = 2 b + c + 1,4 H ; \quad (16)$$

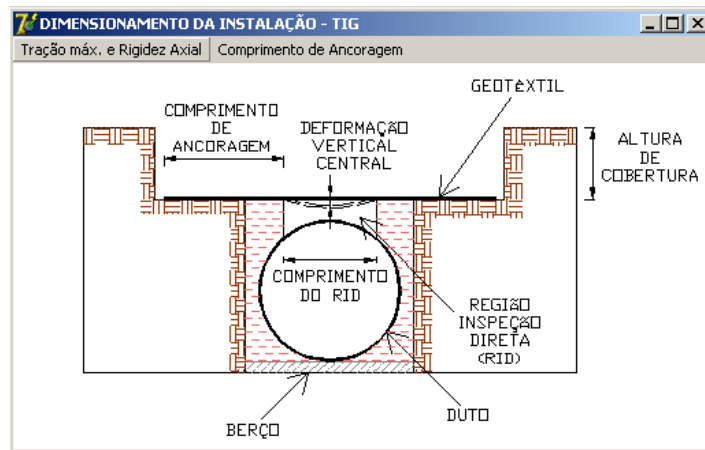
Sendo: Q_m – carregamento que chega ao geotêxtil pela influência da sobrecarga (kN/m); Q_r – carga da roda do caminhão (kN); φ – coeficiente de impacto (foi utilizado o valor de 1,5, valor sugerido por (ZAILLER, 1983) para cargas rodoviárias); N – número de vãos entre os eixos do veículo analisado; e – espaçamento entre os eixos do veículo; H – altura de cobertura de aterro sobre o geotêxtil; a – dimensão da área de contato do pneu do veículo e o solo, que é paralela a direção do tráfego; b – dimensão da área de contato do pneu do veículo e o solo, que é perpendicular a direção do tráfego; c – espaçamento entre as rodas; h_{cl} – profundidade da sobreposição das tensões na direção longitudinal do trem tipo; h_{ct} – profundidade da sobreposição das tensões na direção transversal do trem tipo; t – projeção da tensão da roda no duto enterrado na direção transversal do trem tipo; t' – projeção da tensão da roda no duto enterrado na direção longitudinal do trem tipo.

3.4 Programa Computacional

O programa computacional adotado para as aplicações do método de Viana (2003), de modo a calcular na instalação da Trincheira Induzida com Geotêxtil - TIG, o esforço de Tração Máxima - T_{MAX} agindo no geotêxtil, a RAT necessária para o geotêxtil e o comprimento de ancoragem do geotêxtil com o solo, foi o Delphi 7, da empresa Borland, onde se empregou a linguagem de programação Object Pascal. As Figuras 5 e 6 mostram as janelas do programa elaborado.

Os resultados foram obtidos por meio das análises realizadas no programa elaborado.

Figura 5: Janela inicial do programa computacional desenvolvido.



Fonte: Autor (2020)

Figura 6: Janela do programa em que se calcula a T_{MAX} e a RAT do geotêxtil.

TRAÇÃO MÁXIMA E RIGIDEZ AXIAL DO GEOTÊXTIL			
		TRAÇÃO MÁXIMA (kN/m):	RIGIDEZ DO GEOTÊXTIL (kN/m):
Largura do RID (m):	0,2		L: 238,581079
Altura de Cobertura (m):	0,8	6,36216213	L+0,01: 256,377557
Peso Específico do solo (kN/m ³):	15,7	6,83673486	L+0,02: 274,732837
Carga da Roda (kN):	75	7,32620899	L+0,03: 293,646919
Dim. de Contato do Pneu Normal ao Tráfego (m):	0,2	7,83058451	L+0,04: 313,119803
Dim. de Contato do Pneu na Direção do Tráfego (m):	0,5	8,34986143	L+0,05: 333,151490
Espaçamento Entre Eixos (m):	1,5	8,88403973	L+0,06: 353,741979
Espaçamento Entre Rodas (m):	2,0	9,43311944	L+0,07: 374,891270
Número de Espaços Entre Eixos (und.):	2	9,99710053	L+0,08: 396,599363
CALCULAR		10,5759830	L+0,09: 418,866258
		11,1697669	

Fonte: Autor (2020)

3.5 Considerações

Os valores encontrados de T_{MAX} atuando no geotêxtil e RAT necessária para o geotêxtil, utilizando o método de Viana (2003), foram baseados em uma deformação limite no centro da manta da TIG de valor igual a 10% da largura da RID (Região de Inspeção Direta).

Os valores de peso específico dos solos empregados para o estudo do método TIG, foram extraídos do USArmy (1997). Estes valores são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores do peso específico do solo.

Tipos de solo	Materiais Granulares sem coesão	Areia e pedregulho	Solo saturado	Argila saturada
Peso Específico (kN/m ³)	15,7	18,85	17,28	20,42

Fonte: USArmy (1997).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir será apresentado o estudo sobre a técnica de Trincheira Induzida com Geossintéticos – TIG, os passos para o dimensionamento, exemplo com o cálculo e as considerações na execução.

4.1 Estudo sobre o TIG

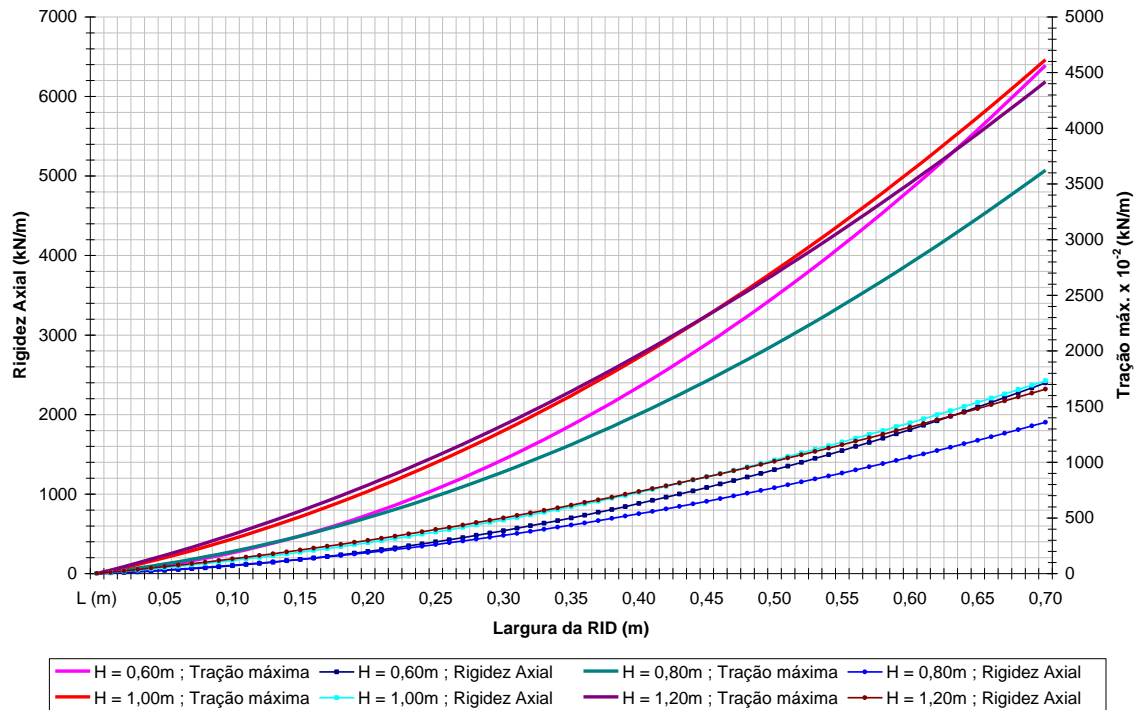
Desenvolveu-se um programa, no qual dimensiona-se o esforço de tração máxima (T_{MAX}) e a rigidez axial à tração (RAT) necessária para que o geotêxtil tenha uma deformação central de 10% L (por meio das equações (1) e (2)), tendo como solicitação sobre o geotêxtil, o peso do solo de cobertura e a sobrecarga rodoviária para um Trem-tipo 45 tf.

Foram processados 4 ábacos com 4 tipos de solo diferentes (Material Granular, Areia e Pedregulho, Solo Saturado e Argila Saturada), utilizando-se 4 medidas de altura de cobertura (0,6 m, 0,8 m, 1,0 m e 1,2 m) e variando a largura do RDI de 0,01 m até 0,70 m. A Figuras 7, 8, 9, 10 e 11 mostram os ábacos obtidos por meio do programa computacional.

Observou-se que a T_{MAX} e a RAT do geotêxtil são proporcionais ao aumento da largura do RID. Percebeu-se também que há uma diminuição da tração e da rigidez com o aumento da altura de cobertura do solo, chegando ao

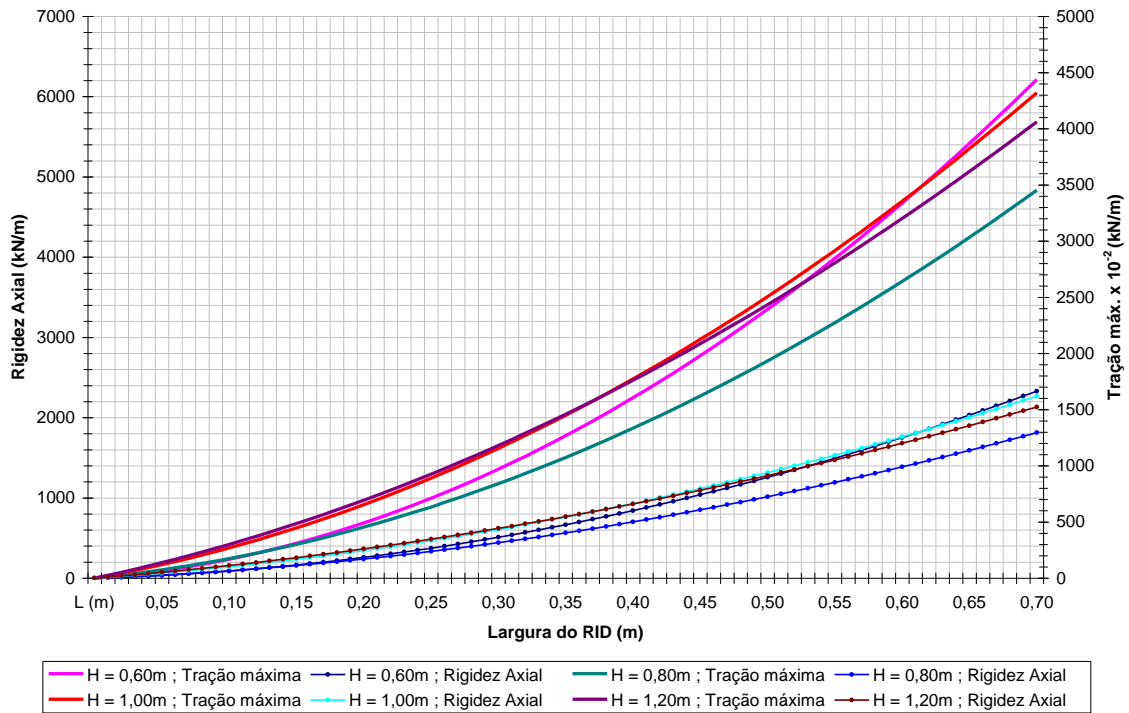
valor limite, onde o aumento da cobertura proporciona o aumento da tração e da rigidez.

Figura 7: Ábaco de determinação da T_{MAX} e da RAT para a areia.



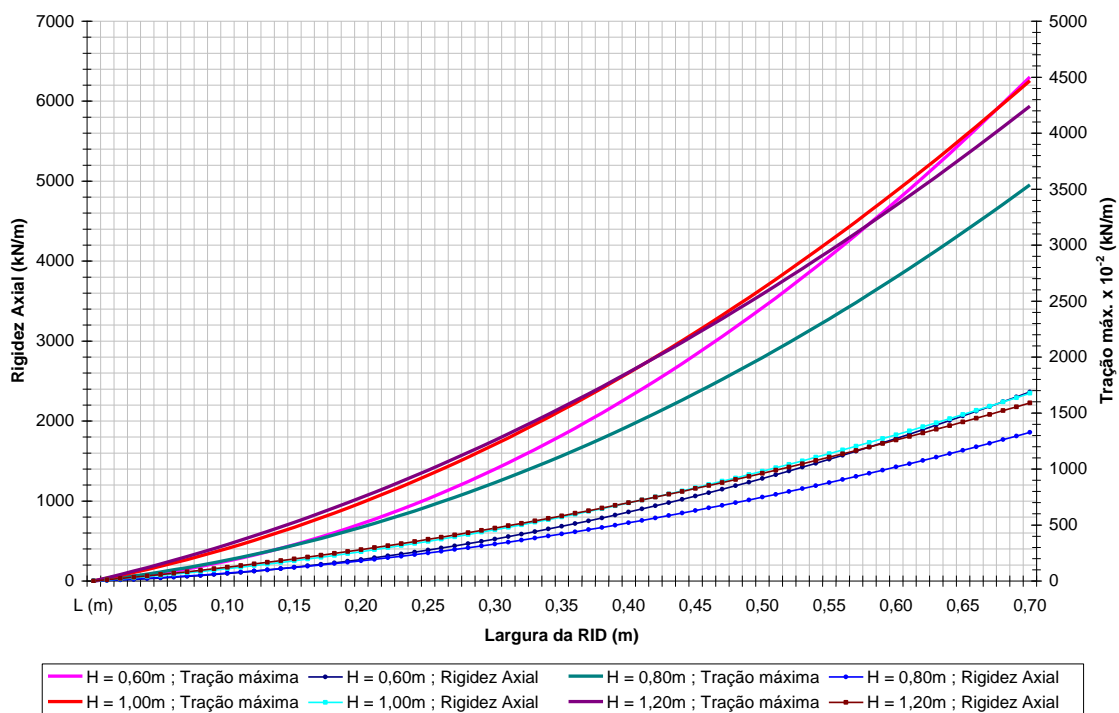
Fonte: Autor (2020)

Figura 8: Ábaco de determinação da T_{MAX} e da RAT para materiais granulares.



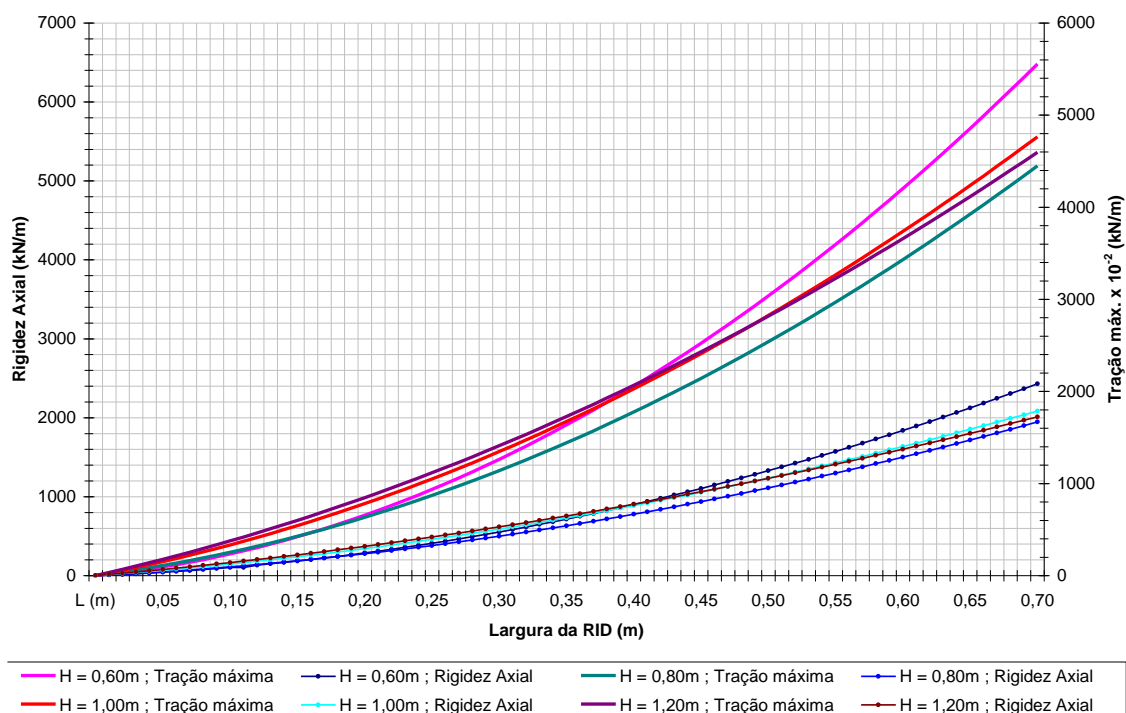
Fonte: Autor (2020)

Figura 9: Ábaco de determinação da T_{MAX} e da RAT para solo saturado.



Fonte: Autor (2020)

Figura 10: Ábaco de determinação da T_{MAX} e da RAT para argila saturada.



Fonte: Autor (2020)

O valor limite de altura de cobertura, considerando os menores valores de tração e rigidez a tração calculados, foi de 0,80 m.

Considerando o tráfego inferior ao do trem-tipo de 45tf, pode-se utilizar fatores de proporção para o cálculo da tração e da rigidez a tração:

$FP_{30tf} = 0,8$ – para a aquisição dos valores do trem-tipo 30 tf por meio dos valores do trem-tipo 45 tf.

$FP_{12tf} = 0,7$ – para a aquisição dos valores do trem-tipo 12 tf por meio dos valores do trem-tipo 45 tf.

4.2 Considerações executivas

Para manter a estabilidade das paredes do RID em solos pouco e/ou não coesivos, pode-se utilizar a geocalha apresentada por Viana (2003), a

técnica do solo-cimento, além do preenchimento da região com prismas flexíveis com materiais inertes.

A largura da RID é adotada pelo projetista de acordo com o grau de inspeção necessário para a avaliação da integridade do duto e/ou o tamanho do equipamento instalado no duto para a sua manutenção. No geral a largura pode variar entre $\frac{1}{4}$ e 1 do diâmetro do duto.

A altura da RID dependerá da altura do equipamento instalado no duto enterrado, adotando uma altura mínima de 30% da largura da RID.

No dimensionamento do geotêxtil, cabe considerar a temperatura em serviço do oleoduto ou gasoduto, pois o geotêxtil diminui a sua capacidade de T_{MAX} e RAT proporcionalmente com o aumento da temperatura do ambiente da instalação.

Em caso do solo de cobertura sobre o geotêxtil ser um material granular, além da resistência a tração e da rigidez a tração, deverá ser verificado a resistência a punção do geotêxtil.

4.3 Exemplo de projeto do TIG

Dimensionar a Trincheira Induzida com Geossintéticos para um trecho de gasoduto, utilizando o duto de 20" de diâmetro e cobertura de 0,8 m. Sabendo que, para a instalação de um equipamento de monitoração de vazamento e inspeção, a largura da Região de Inspeção Direta deverá ser de 30cm, e que o solo que será utilizado no aterro do duto será um solo arenoso (valores da Tabela 2). A sobrecarga que agirá sobre a instalação será uma sobrecarga rodoviária de tráfego leve (trem-tipo de 12 tf). Dados:

Fator de Redução devido a danos durante a execução = 1,2;

Fator de Redução devido à Fluência = 2;

Fator de Redução devido à degradação por elementos Químicos e Biológicos = 1,3;

Ângulo de atrito solo-reforço – $\delta = 27^\circ$;

Do ábaco da Figura 7, para $L = 0,30m$, $H = 0,8m$ e Trem-Tipo 45 tf, temos:

$$T_{req} = 13 \text{ kN/m e } R_{req} = 480 \text{ kN/m}$$

Utilizando o fator de redução para o Trem-tipo 12 tf ($FP_{12tf} = 0,7$), teremos:

$$T_{req} = 9,1 \text{ kN/m e } R_{req} = 336 \text{ kN/m}$$

Cálculo da resistência de ruptura (catálogo):

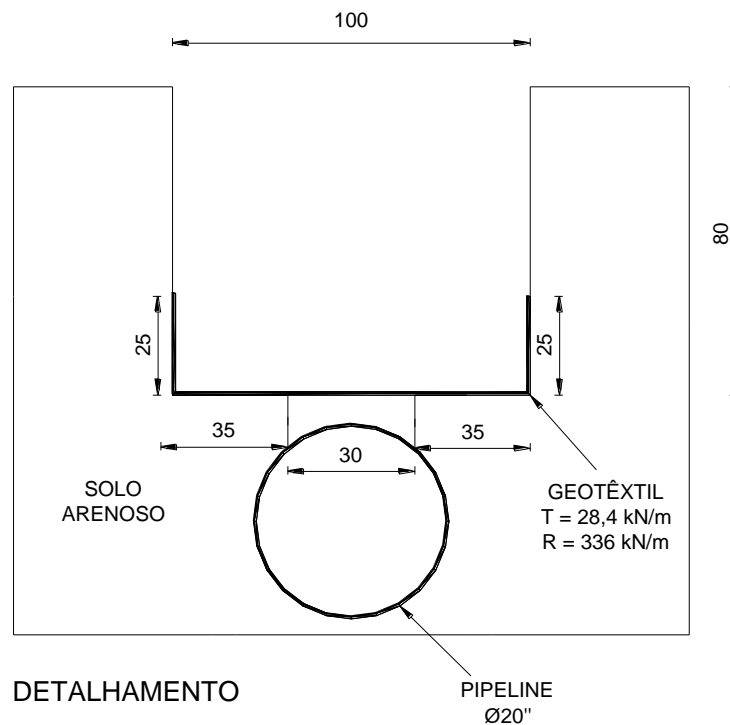
$$T_{MAX} \geq T_{req} FR_T \xrightarrow{\text{Então}} T_{MAX} \geq 9,1 \cdot 1,2 \cdot 2 \cdot 1,3 = 28,4 \text{ kN/m}$$

Calculando o comprimento de ancoragem, temos:

$$L_a = \frac{T_{req}}{2(c + \gamma H \text{tg} \delta)} \xrightarrow{\text{Então}} L_a = \frac{9,1}{2(0 + 18,85 \cdot 0,8 \text{tg} 27^\circ)} = 0,60m$$

A Figura 11 mostra o detalhe do corte utilizado no projeto de uma instalação TIG.

Figura 11: Corte do TIG dimensionado.



Fonte: Autor (2020)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo a metodologia apresentada podemos concluir que:

- O método TIG pode apresentar menor impacto ambiental, pois a sua utilização em geral reduz a necessidade de remoção de solo natural e minimiza o consumo de material de aterro, geralmente aproveitando os próprios materiais disponíveis no local, além de menor custo e tempo de execução, em função das economias de materiais e espaço;
- A Região de Inspeção Direta - RID possibilita uma melhor inspeção direta dos dutos. Além disso, permitir que sejam instalados nos dutos enterrados sensores químicos de espectroscopia ótica ou fibras óticas sem provocarem-lhes danos.
- A metodologia de cálculo do TIG apresentada se mostrou de fácil uso, pois utiliza ábacos que simplificam os cálculos.
- O geotêxtil da TIG possibilita de que dutos possam ser instalados em qualquer tipo de solo sem que haja tensões excessivas no topo do duto.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 7188**: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro, 1984, 14 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2019**. Rio de Janeiro: ANP, 2019.
- ATHA - **Asociación Española de Fabricantes de Tubos de Hormigón**. Disponível em: < <http://www.atha.es/> >. Acesso em: 01 maio. 2020.
- BADANHAN, L. F. **Indicadores e padrões de qualidade ambiental na construção de dutovias para o transporte de gás natural**. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas, 2001, p. 222.
- BLIVET, J.C; GOURC, J.P; VILLARD, P; GIRAUD, H; CER, M.K; MORBOIS, A. Design Method for Geosynthetic as Reinforcement for Embankment Subject to Localized Subsidence. **Geosynthetic**, 2002, Nice. Anais...Nice: 7th ICG, 4p.

BS8006 (1995). **Code of Practice for Strengthened/Reinforced Soils and other Fills**, British Standards Institution, 2002, 162p.

FRE-COMPOSITES Below Ground Conduit System: MANUAL, 1999.

EL DEBS, M. **Projeto estrutural de tubos circulares de concreto armado**. 1.ed. São Paulo: IBTS, 2003, p. 69.

GIROUD, J.P; BONAPARTE, R; BEECH, J.F; GROSS, B.A. Design of Soil Layer – Geosynthetic System Overlying Voids. **Geotextiles and Geomenbranes**. Ireland: Elsevier, n. 9, 1990, p. 11-50.

HOWARD, A.K. Installation of Plastic Pipe Using Soil – Cement Slurry. **Proceedings of the Symposium Buried Plastic Pipe Technology**, New Orleans, 2002, p. 52.

KENNEDY, J.B.; LABA, J.T. Suggested Improvements in Designing Soil-Steel Structures. **Transportation Research Record**, 1989, p. 96-104.

LIEDEBERG, N.S.D. Reduction of vertical Stresses on Rigid Pipes by the Use of Soft Inclusions Under the Invert, **XIII ICSMFE**, Anais, New Delhi, 1994, p. 579-582.

LONG, N.T. Utilization of used tyres in civil engineering – The Pneusol “Tiresoil”, **Environmental Geotechnics**. Rotterdam: Balkema, 1996, p. 809-814.

LOW, B.K., TANG, S.K.; CHOA, V. Arching in piled embankments, **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, 120(11), 1994, p. 1917-1938.

MARSTON, A. The theory of external loads on closed conduits in the light of the latest experiments. **Ames: Iowa Engineering Experimental Station**, n. 96, 1930, p.36-.

OLIVEIRA, F.N. (2016) Uma análise empírica do mercado dutoviário norte-americano. *E&G Economia e Gestão*, v. 16, n. 45, p. 32-57.

PALMEIRA, E.M. **Manual técnico geotêxtil Bidim: solo reforçado, taludes e estruturas de contenção**, 1992, 71p.

PALMEIRA, E.M. **Manual técnico geotêxtil HUESKER: Solo reforçado**, 1999 16p.

PIMENTEL, K.C.A. **Tubulações Pressurizadas em Aterros Reforçados com Geossintéticos**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 230p, 2003.

ROGBECK, Y.; GUSTAVSSON, S.; SODERGREN, I.; LINDQUIST, D. Reinforced Piled Embankments In Sweden - Design Aspects, **Proceedings Sixth International Conference on Geosynthetics**. Atlanta – USA, 1998, p. 755 – 762.

SPANGLER, M.G. **Soil Engineering**, Iowa: International Text Book Company, 1951.

US ARMY CORPS OF ENGINEERING – ENGINEERING MANUAL 1110-2-2902: **Engineering and design conduits, culverts, and pipes**. Washington. D.C: US Army, 1997, 42p;

VERTEMATTI, J.C. **Curso Básico de Geotêxteis**. Comitê Técnico Geotêxtil – CTG, 2001, p. 91.

VIANA, P. M. **Conduitos enterrados: redução de esforços sobre a estrutura**. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998. 157p.

VIANA, P.M.F. **Geovala: Um novo processo construtivo para dutos enterrados**. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. 220p.

ZAILLER, W. **Projeto estruturais de tubos enterrados**. São Paulo: Pini, 1983.

Enviado em: 27 mai. 2020.

Aceito em: 27 set. 2020.

Editores responsáveis: Bianca Neves Machado

Mateus das Neves Gomes.