http://journal.unoeste.br/index.php/ce/index
DOI: 10.5747/ce.2020.v12.n4.e335
ISSN on-line 2178-8332

Colloquium Exactarum

Submetido: 14/09/2020 Revisado: 09/12/2020 Aceito: 16/12/2020

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MURO DE CONTENÇÃO DO TIPO SOLO PNEU E GABIÃO

COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN SOIL TIRE AND GABON CONTAINMENT WALL

Beatriz Mello Massimino, Fernanda Domingos, Heytor Henrique Lourenço Silva, Jair Previato Junior, Laura Felício Gonçalo

Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Presidente Prudente, SP.
E-mail: beatrizmassimino@gmail.comn

RESUMO - Com o uso diário de milhares de pneus na indústria automotiva para o transporte tanto de cargas quanto de pessoas, o Brasil descartou cerca de 90 milhões de pneus em 2019, sendo que destes, somente 4 milhões são descartados de forma adequada (SEST SENAT, 2019). O país se dispôs em nível crítico na questão de descarte dos pneus perante a Resolução do CONAMA n°.416/2002. Na engenharia civil, o pneu usado é reutilizado como material para construção de muros de arrimo do tipo solo pneu. O seguinte trabalho consiste em comparar o muro de arrimo do tipo gabião, com o constituído de solo e pneu, através de revisão bibliográfica e dimensionamento de um muro de arrimo solo pneu onde já existe um do tipo gabião, almejando resistência adequada. De acordo com os resultados obtidos, o muro de solo pneu supre as necessidades de conter o aterro, visto que as verificações globais são satisfatórias. Todavia, é vantajoso o emprego do muro de arrimo solo pneu, já que representa significativa economia e características sustentáveis.
Palavras-chave: descarte; pneu; muro de contenção; economia; sustentabilidade.

ABSTRACT - With the daily use of thousands of tires in the automotive industry to transport both cargo and people, Brazil disposed of around 90 million tires in 2019, of which only 4 million are disposed of properly (SEST SENAT, 2019). The country was at a critical level on the issue of discard them, in accordance with CONAMA Resolution n°.416/2002. In civil engineering, the used tire is reused as a material for the construction of ground type tire retaining walls. The following work consists in comparing the gabion-type retaining wall with that of soil and tire, through literature review and sizing of a gabion-type retaining wall where there is already a gabion type, aiming for adequate resistance. According to the results obtained, the ground tire wall meets the need to contain the landfill as the overall checks are satisfactory. However, it is advantageous to use the retaining wall tire as it represents significant economy and sustainable characteristics.
Keywords: discard; tire; retaining wall; economy; sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos podem ser objetos que não mais possuem valor ou utilidade, porções de materiais sem significação econômica, sobras de processamentos industriais ou domésticos a serem descartadas, enfim, qualquer coisa que se deseja jogar fora.

Com respeito a esta definição, deve-se observar que o conceito de utilidade é relativo, objetos e materiais que são descartados por determinadas pessoas podem ser reaproveitados por outras. Do mesmo modo, materiais que em pequena quantidade não tem valor, quando em grandes quantidades, como os existentes nos resíduos sólidos de grandes centros urbanos, podem passar a ter significado econômico considerável.

Em contrapartida, segundo Janissek *et al.* (2008) o pneu não pode ser considerado lixo ao fim de sua vida útil. Além de poder ser reutilizado, este objeto quando incinerado torna-se energia, e ainda, se for coprocessado se transforma em uma nova matéria-prima. O coprocessamento libera gás carbônico para a atmosfera, porém é compensativo em relação à quantidade de petróleo que se deixa de extrair e queimar.

Este material é resultante da manutenção constante dos veículos após o desgaste de aproximadamente 40.000 Km rodados, dependendo da marca do pneu e da forma como foi conduzido o veículo durante esse tempo. No ramo da construção civil, a utilização desse material tem ocorrido na composição de obras de aterro (muro de arrimo), trazendo um revezamento entre eficácia mecânica, prevenindo assim, o descarte dele no meio ambiente.

Segundo Gerscovich *et al*. (2016), os muros de arrimo são estruturas utilizadas com a intenção de prevenir que o solo assuma sua inclinação natural. Sua principal função é conter o possível deslizamento, rastejo ou desabamento de terra em terrenos inclinados, segurando a terra dos cortes e de encostas de morros, garantindo estabilidade à terra movida, e possibilitam a delimitação do terreno, isolando a área e garantindo privacidade à construção. Além de oferecer estabilidade contra a ruptura de maciços rocha e/ou solo.

São conhecidos como muros de arrimo solo pneu, os quais resistem aos empuxos devido ao seu elevado peso-próprio, assim considerados muros de gravidade. Consiste em pneus preenchidos por solo compactado e amarrados por cordas de polipropileno, as vezes encapadas por Policloreto de Vinila (PVC) com a finalidade de proteger as cordas contra intempéries.

O muro de arrimo padrão classificado como estrutura de contenção por gravidade e flexível é o gabião. Composto por gaiolas metálicas fabricadas por fios de aço galvanizado de malhas com formato de hexágono com torção dupla, e que também podem aparecer encapados por PVC, preenchidas de pedras arrumadas por maquinários comuns ou mesmo manualmente (PEREIRA, 2016).

A análise do descarte inadequado do pneu se faz justificada, pela busca de um maior conhecimento a respeito da reutilização de pneus, contendo a utilização dele como principal material da construção de muros de arrimo por gravidade. E, para validar este pensamento, é realizada uma comparação entre o muro de arrimo solo pneu e o muro de gabião, pois são muros de contenção que trabalham da mesma forma – por gravidade.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral comparar duas formas diferentes de muro de arrimo, sendo ambos por gravidade, o gabião e o solo pneu, a fim de constar suas vantagens e desvantagens de cunho mecânico, econômico e ambiental.

2.2. Objetivos Específicos

Dentre os objetivos específicos deste trabalho apresentam-se:

a. Analisar as consequências geradas nas estruturas de contenção pela interferência dos recursos externos, como a interferência da água, o tipo do solo e a vegetação.
b. Apresentar cálculos e estatísticas para melhor caracterizar os muros de solo pneu e gabião, além de suas funções;
c. Analisar as possibilidades de aplicação das estruturas, redimensionando um caso existente em gabião para o tipo solo pneu.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Histórico do Muro de Arrimo

Foi em 1776 que Coulomb, publicou um estudo que debate sobre preceitos de mínimos e

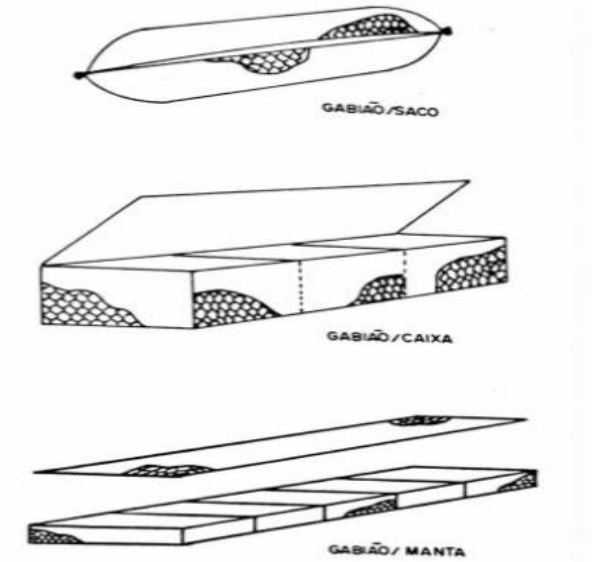
máximos empregados na construção de muros de arrimo, pelo qual se baseou a engenharia, considerada moderna, de contenção de solos. E foi a partir desse século que iniciou a implantação desse tipo de estrutura no Brasil em portos e regiões urbanas. É importante citar que foram obras utilizadas, por bastante tempo, com o objetivo de desviar os cursos dos rios e nas obras de barragens (MOLITERNO, 1980).

3.2. Características dos Muros

3.2.1. Muro de Gabião

O gabião pode ser encontrado em inúmeras medidas padronizadas, consistindo sempre em uma malha de dupla torção, hexagonal, preenchida por pedra de mão ou seixos rolados. Classificado entre gabião do tipo caixa, com a forma de um paralelepípedo; o do tipo saco, com formato de um saco aberto; e o do tipo manta, formado por um pano de rede com menor malha e diâmetros dos arames, conforme Figura 8. Em geral, o mais empregado é o arame de aço AISI 1010/1020 zincado a fogo possui resistência de 38 a 50 kg/mm² (MOLITERNO, 1980).

Figura 1. Classificação do muro de arrimo do tipo gabião.



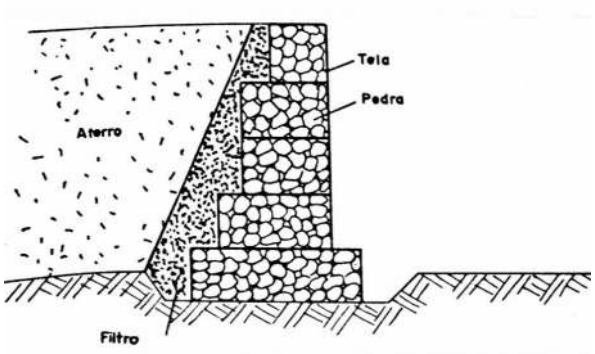
Fonte: Moliterno (1980).

Usualmente é empregado o gabião com 2 metros de comprimento e seção transversal quadrada com arestas de 1 metro. Para muros com maiores alturas, recomenda-se utilizar gabiões com cerca de 0,5 metro de altura nas camadas inferiores para garantir resistência e rigidez, todavia no caso de muros mais longos, são usados gabiões de até 4 metros de altura para sua execução (GERSCOVICH *et al*., 2016).

É relevante citar que este tipo de muro de contenção possui flexibilidade, o que o permite adaptar ao formato do terreno em que se constrói. Além disso, as malhas são extremamente resistentes mecanicamente, sendo assim, se ocorre o rompimento de um arame da rede metálica, a dupla torção não permite que haja desapropriação da forma ou perda da flexibilidade dela.

Para evitar a ação das intempéries de chuva, sol, vento, entre outras, há uma capa protetora de PVC envolvendo os arames dos gabiões. Destaca-se a utilização deles para a construção de estruturas monolíticas flexíveis, armadas e altamente drenantes, ilustrado na Figura 2. Não há adversidades de dilatação ou rachaduras, sequer a necessidade de fundações especiais, mão-de-obra especializada e contraventamento, além de substituir o concreto armado, concreto junto à alvenaria e obras com estacas. (AGOSTINI *et al*., 1981).

Figura 2. Muro de arrimo do tipo gabião.



Fonte: Moliterno (1980).

3.2.2. Muro de Solo Pneu

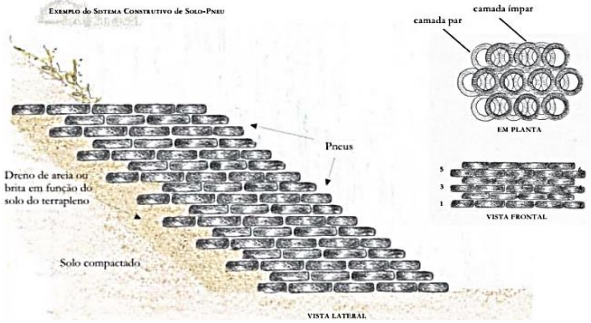
O muro de arrimo de solo pneu classifica-se como muros de gravidade e apresentam flexibilidade, é constituído por pneus preenchidos com solo compactado e amarrados com arames ou cordas, assim como ilustrado nas Figuras 3 e 4.

Figura 3. Muro de arrimo do tipo solo pneu.



Fonte: Gerscovich *et al.* (2016).

Figura 4. Sistema de construção de muro de arrimo do tipo solo pneu.



Fonte: SOUZA (2002), apud SIEIRA (1998).

Quando dois destes são colocados juntos de um terceiro posicionado acima, formam um triângulo, obtendo assim, uma base de apoio. Para as camadas posteriores, os mesmos devem ser descascados, diminuindo os vazios entre eles. E a fim de resguardar o muro, uma camada de solo deve revesti-lo, sem deixar espaços vagos, possibilitando o plantio de gramíneas.

É necessário realizar a amarração com cordas de propileno com 6mm de diâmetro e revestir a face externa do muro com uma camada de vegetação, placas pré-moldadas, blocos de concreto ou concreto projetado sobre malha metálica, sendo materiais dos quais não impedem a flexibilidade e proporcionam resistência e boa aparência. Esta última com o intuito de evitar que ocorra a erosão do solo que preenche os pneus e prevenir eventuais vandalismos ou incêndios.

A altura para dimensionamento deste tipo de muro chega à 5 metros no máximo, pois consiste em um muro de peso, desta forma sua base deve ser de 40% a 60% da altura. É importante acrescentar que os valores de deformações horizontais e verticais são capazes de alcançar maiores valores que os usuais, quando equiparado com muros de alvenaria ou concreto (GERSCOVICH, *et al.* 2016).

Os processos para realização da construção do muro de arrimo a partir do resíduo pneu, baseado no relatório da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD):

- A extensão do percurso de transporte dos insumos para cada tipo de muro deve ser avaliada;
- A disponibilidade no local deve ser satisfatória para o manuseio e processos; e
- Não deve apresentar natureza nociva.

Do mesmo modo que o gabião possui flexibilidade e capacidade drenante, o de solo pneu também (GERSCOVICH, *et al.* 2016).

3.3. Importância do Muro de Contenção Solo Pneu

O setor automobilístico brasileiro vem crescendo anualmente, não obstante, como não há consumo consciente do pneu, o aumento do descarte deste material de forma inadequada é notável, visto que ocasiona uma série de consequências negativas no âmbito ambiental, social, sanitário e financeiro.

Problemas encontrados:

- Tempo de deterioração elevado;
- Contaminação dos ecossistemas e atmosfera;
- Destruição de habitats;
- Diminuição da biodiversidade;
- Acúmulo de água e sujeira;
- Poluição do solo, ar e água; e
- Doenças, como: malária, dengue e febre amarela;

No Brasil, de acordo com ANIP (2017), estima-se que 100 milhões de pneus velhos estão espalhados em aterros, terrenos baldios, rios e lagos, e a cada ano, dezenas de milhões de pneus novos são fabricados no país.

A destinação do pneu deve ser ambientalmente adequada, sendo essencial seguir as normas operacionais e legislações vigentes, evitando prejuízos à saúde e reduzindo os impactos ambientais (CONAMA nº 416/02). Além da norma, a população também deve estar ativa em relação a coleta dos pneus, através de pontos de coletas em lugares de fácil acesso, evitando qualquer tipo de justificativa negativa.

À vista disso, o aumento do ciclo de vida deles é imprescindível e dessa forma, cabe ao conjunto de fornecedores, pesquisadores e a população planejar e executar programas sustentáveis com o intuito de reutilizar tal material considerado inservível à sua função principal, para auxiliar no desempenho e qualidade de processos distintos e reduzir a degradação ambiental (GOMES, 2019).

3.3.1. Comportamento

O muro de arrimo pode ser definido como qualquer estrutura construída com o propósito de conter uma determinada quantidade de solo que, por si só, não apresenta certa estabilidade, podendo romper por

cisalhamento e por isso se movimentar (PEREIRA, 2018).

Segundo Sieira (2001), o dimensionamento de um muro de pneus é semelhante a qualquer tipo de muro de gravidade, exigindo conhecimento do peso específico e do material que constitui o mesmo, além dos coeficientes de empuxo do solo.

Os empuxos de terra são resultantes da somatória de tensões horizontais atuantes, essas vindas de tensões verticais causadas pelo peso próprio do solo e pelo aumento do nível d'água no mesmo, este por sua vez pode ser evitado com a utilização de drenos de extrema importância, visto que com a sua utilização consegue-se diminuir a pressão da água e, consequentemente, ter um menor esforço necessitando de um muro menos resistente e mais econômico.

As tensões verticais também podem sofrer influência de algum tipo de sobrecarga, aumentando assim o empuxo, e como as tensões horizontais são influenciadas por estas, elas aumentam de acordo com a profundidade, tendo uma tensão igual a zero no topo e uma distribuição triangular, aumentando juntamente com a profundidade.

Diante disso, os muros de arrimo têm uma maior dimensão em sua base, pois além de resistir à maiores esforços, a base ajuda a manter o equilibro, já que a resistência apresentada vem mediante ao peso-próprio do muro de contenção por gravidade. Sendo assim, as opções de um muro espesso ou fino em toda a sua altura tornam-se inviáveis e inúteis, por assegurar menor resistência.

A determinação dos empuxos atuantes é o processo mais importante na análise de muros de arrimo. Regularmente são utilizadas as teorias de Coulomb e de Rankine, para o cálculo (LUIZ, 2014).

3.3.2. Execução

Em conformidade com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 11682/2009 – Estabilidade de Encostas, algumas verificações são necessárias antes que a execução do muro seja propriamente efetivada, assegurando controle e garantia.

- Inconstância no local, provocada por perfurações na base;
- Cobertura do terreno por meio de materiais apropriados;
- Procedimento de drenagem oportuno de acordo com o tipo de muro executado;
- Invariabilidade da estrutura e do composto contenção-talude;
- A estruturação de muros de arrimo que atuam como suporte, em consequência ao excesso de carga, é inadequada.

Eventualmente, uma camada dupla de papelão é aplicada na parte inferior do pneu para conter o solo, quando este é compactado, além de evitar qualquer deslizamento e derrubamento da estrutura de suporte.

Tal processo é repetido até que os pneus fiquem preenchidos cerca de 95 % e após a conclusão das etapas expostas anteriormente, é iniciada uma nova fiada de pneus sobre a camada já executada, de forma que esta fique centrada em relação às juntas dos pneus da camada inferior e assim sucessivamente até que a altura especificada em projeto seja alcançada, em conformidade com a Figura 5 (SIEIRA, 2001).

Figura 5. Pneu para construção de muro de contenção.



Fonte: Sieira, (2009).

Todavia, é aconselhável que os muros sejam construídos com o diâmetro exterior dos pneus iguais, para melhorar sua estética e geometria. Em sua construção podem ser utilizadas duas técnicas distintas quanto à forma do pneu, a primeira com pneus inteiros e a outra com pneus modificados, demonstradas na Figura 6, a fim de minimizar os espaços vazios entre eles.

Figura 6. Pneu inteiro e pneu modificado.



Fonte: Medeiros *et al.*, (2000).

Logo, a construção do muro de solo pneu, consiste na seguinte sequência de operações: regularização do solo de fundação e colocação dos pneus organizados linearmente ou em camadas, conforme a Figura 7.

Figura 7. Posicionamento da camada inicial de pneus.



Fonte: Medeiros *et al.*, (2000).

Em seguida, visto que o sistema é flexível, os pneus serão amarrados uns aos outros de forma que apresentem boa resistência, como na Figura 8, devido as tensões de tração que sofrerão provocadas pelo solo de enchimento, bem como da camada de solo a suportar.

Figura 8. Etapa intermediária e amarração com corda de polipropileno.



Fonte: Medeiros *et al.*, (2000).

Depois de amarrados, eles são preenchidos por solo compactado que tem o objetivo de atribuir uma maior massa ao muro, a fim de equilibrar os impulsos exercidos pelos próprios, de acordo com a Figura 9.

Figura 9. Construção do muro solo pneu finalizada.



Fonte: Medeiros *et al.*, (2000).

Os pneus não sofrem degradação e nem perdem suas características, mesmo após quarenta anos enterrados. Porém, deve se atentar à resistência dos ligantes que fixam os mesmos, verificando se estes têm uma vida útil compatível com a da estrutura.

A cobertura total dos pneus deve ser executada com prudência, para que não ocorra o contato com os raios ultravioletas, já que estes são os únicos capazes de danificar a borracha, secando-a e promovendo aparecimento de fissuras.

Diversos tipos de revestimentos podem ser empregados, contanto que sejam flexíveis e resistentes, desde uma simples cobertura vegetativa ou geotêxtil, até a mais complexa como o betão projetado ou painéis de estuque de madeira. Segundo Souza, (2002), a proteção não tem função apenas estética, mas também de

segurança, minimizando a erosão do solo nos pneus e o risco de incêndio.

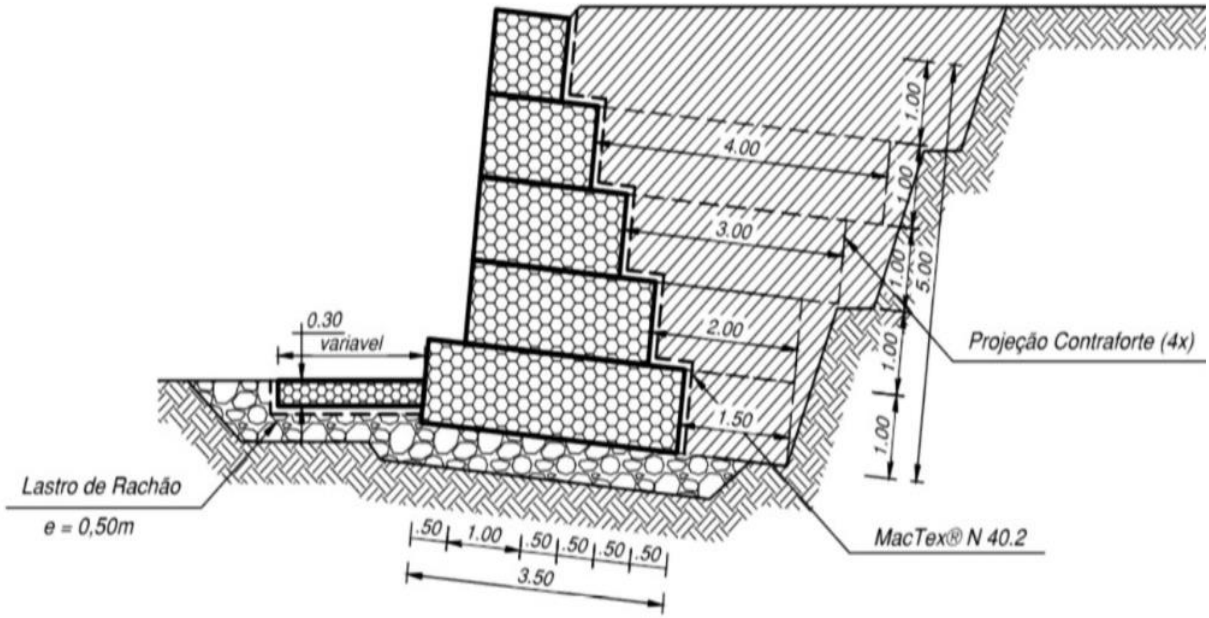
4. METODOLOGIA

A análise proposta no trabalho visa apresentar um comportamento qualitativo para a construção de dados com a finalidade de comparar os muros de arrimo dos tipos solo pneu e gabião observados na pesquisa, buscando melhor eficiência entre ambos.

Após obter um amplo conhecimento sobre definição, função, comportamento dos muros e afins por meio da revisão bibliográfica, realizou-se uma pesquisa in loco sobre o muro de arrimo gabião localizado na Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), campus II, próximo a psicultura com o propósito de verificar sua situação.

Os cálculos dessa metodologia estão baseados no muro de arrimo de gabião situado próximo a ponte, dentro dos requisitos padrões como na Figura 10, haja visto que não será levado em consideração a parte prolongada em 2019.

Figura 10. Esquema do muro de contenção locado no Campus II da Universidade do Oeste Paulista



Fonte: Rodrigues e Cardoso, 2018.

As dimensões pertinentes do local consistem na altura de um metro para cada gabião, totalizando quatro metros, sendo três acima da cota da base do muro e um aterrado. Possibilitando a contenção de solo saturado pelo muro, haja visto a proximidade ao leito do rio, conforme as Figuras 11 e 12.

Figura 11. Local onde será dimensionado o muro de contenção de solo pneu - Campus II da Universidade do Oeste Paulista.



Fonte: Os autores (2019).

Figura 12. Recente prolongação do muro de arrimo tipo gabião - Campus II da Universidade do Oeste Paulista.



Fonte: Os autores (2019).

Dessa forma, foi descrito o local onde será dimensionado um muro de arrimo utilizando solo pneu para constatação de sua eficiência, ademais de ser ecologicamente sustentável, o que evidencia uma vantagem em relação ao tipo gabião.

Para o dimensionamento em questão, utilizou- se a Teoria de Rankine (1857), a qual se baseia nas considerações geométricas do círculo de Mohr – Coulomb. Considerou-se o nível de segurança contra danos ambientais alto e o de segurança contra vidas humanas médio, o fator de segurança determinado para verificação neste trabalho é de 1,5, conforme a norma, NBR 11682/2009.

Diante da Tabela 1, são apresentadas as informações necessárias, obtidas por sondagem, para o cálculo do empuxo do solo no local, considerando uma altura de 3 metros.

Tabela 1. Resultados dos ensaios do solo.

Dados do Solo	Solo
γ - Peso específico (KN/m³)	18,5
Coesão (KPa)	14
ϕ - Ângulo de atrito interno do solo (°)	24,5

Fonte: Rodrigues e Cardoso (2018).

Em busca de um bom desempenho para o muro de contenção, é relevante fazer estudo dos esforços que atuam na estrutura. A ação das forças no muro de contenção subdivide-se em 4 componentes sendo elas o empuxo ativo, que tende a empurrar o muro e até mesmo tombá-lo a partir do ponto de giro. Este consiste no ponto mais extremo da base e oposto ao aterro. Há também o empuxo passivo, o qual provoca um momento contrário ao anterior por se opor ao aterro e tende, colaborando com a estabilidade do muro devido ao braço de alavanca.

Dentre as componentes da ação das forças no muro destaca-se o peso próprio cuja função é combater o empuxo ativo, gerando um momento contrário ao mesmo. E por fim, a força de atrito também se opõe ao empuxo ativo, porém age impulsionando o muro, visto que o prolongamento da força de atrito passa pelo ponto de giro, fazendo com que neste caso não haja momento (GERSCOVICH *et al.*, 2016).

Empuxo de terra consiste na resultante do esforço exercido pela mesma contra o muro de contenção em contato com ela. É classificado entre ativo, cada vez que o solo exerce pressão contra o muro, e passivo, que, ao contrário do anterior, a pressão ocorre do muro contra o solo. Calculá-lo torna-se importante para projetar a estrutura, pois esta deve ser capaz de resistir aos esforços influentes do solo.

É importante ressaltar que, para construções permanentes, o fator de segurança deve ser maior ou igual a 1,5, ou seja, o momento resistente é pelo menos 50% maior que o atuante, e que será dimensionado um metro da estrutura, pois este se repete em toda extensão do muro.

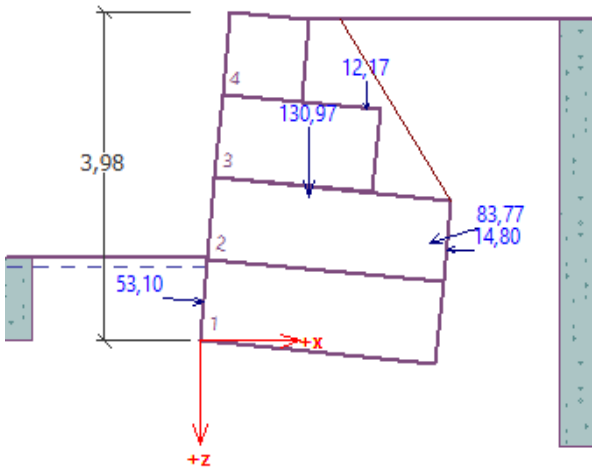
Os dados apresentados na Tabela 1, citada anteriormente, foram aplicados no programa GEO 5 2019 – MURO DE GRAVIDADE, caracterizando o solo utilizado. Com o objetivo de se fazer os cálculos necessários para dimensionamento do muro de arrimo, deve ser escolhida a geometria da parede, neste caso, com o perfil trapezoidal, e por fim escolhe- se o material com o qual construirá o muro, que será o solo pneu.

5. RESULTADOS

5.1. Muro de Gabião

Baseado na pesquisa e nos dados de projeto e executivo do muro de gabião já existente e do solo pneu, segue os cálculos dos empuxos dos solos fundamentados na teoria de Rankine realizados para dimensioná-los. Utilizam-se os resultados do ensaio do perfil do solo como exposto na Tabela 1, adotado o coeficiente de Poisson de 0,30 e a altura total do muro 4 metros acrescido do bloco inferior, o qual se localiza aterrado, equivalente ao nível da água, sendo a altura de cada gabião de 1 metro, além de considerada inclinação de 5,5°.

Figura 13. Imagem dos resultados do programa GEO 5 2019 (Muro de Gabião).



Fonte: GEO 5 (2019).

Figura 14. Imagem dos resultados do programa GEO 5 2019 (Muro de Gabião).

No. de força	Força	F_x [kN/m]	F_z [kN/m]	Ponto de aplicação x [m]	Ponto de aplicação z [m]	Coef. [–]
1	Peso - parede	0,00	130,97	1,38	-1,75	1,000
2	Resistência da FF	52,85	5,09	0,05	-0,47	1,000
3	Peso - cunha de terra	0,00	12,17	2,10	-2,80	1,000
4	Empuxo ativo	-14,80	0,12	3,13	-1,10	1,000
5	Pressão da água	-80,20	24,20	2,90	-1,19	1,000
6	Pressão de elevação	0,00	0,00	1,38	-3,89	1,000

Fonte: GEO 5 (2019)

.

Verificação completa do muro:

- Verificação da estabilidade ao tombamento
  Mres = 277,41 KN.m/m
  Mtomb = 86,91 KN.m/m
  Fator de segurança = 3,19 > 1,50

A resistência do muro ao tombamento é satisfatória.

- Verificação de deslizamento
  Hres = 110,46 KN/m
  Hativa = 25,42 KN/m
  Fator de segurança = 4,35 > 1,50

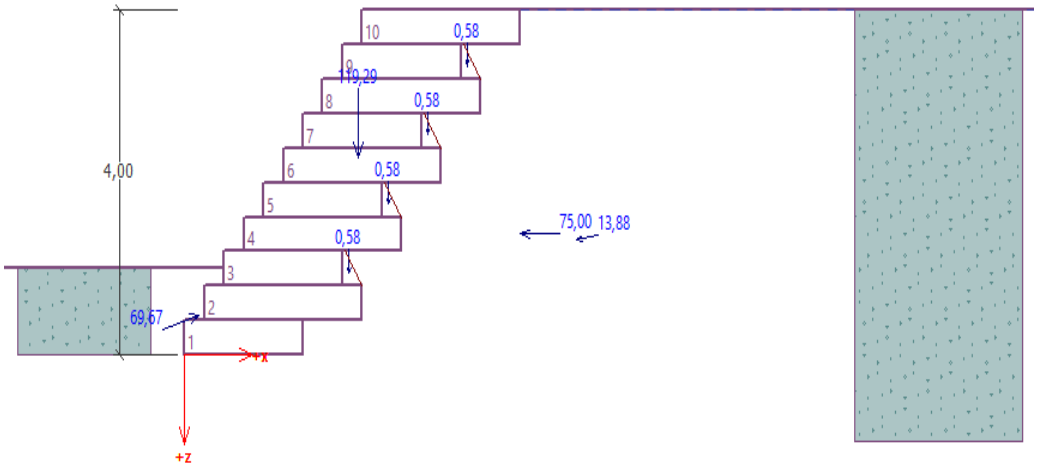
A resistência do muro ao deslizamento é satisfatória. Assim, concluindo que a sua verificação global é satisfatória.

5.2. Muro de Solo Pneu

Baseado na pesquisa realizada anteriormente em dados virtuais sobre muro de solo pneu, segue os cálculos dos empuxos dos solos fundamentados na teoria de Rankine realizados para dimensioná-los.

Utilizam-se os resultados do ensaio do perfil do solo como exposto na Tabela 1 e considera-se a altura de cada pneu para o muro de solo pneu de 0,20 metros e seu peso específico de 16,63 KN/m³, sendo esta comum para um pneumático de veículo de passeio.

Figura 15. Imagem dos resultados do programa GEO 5 2019 (Muro de Solo Pneu).



Fonte: GEO 5 (2019).

Figura 16. Imagem dos resultados do programa GEO 5 2019 (Muro de Solo Pneu).

No. de força	Força	F_x [kN/m]	F_z [kN/m]	Ponto de aplicação x [m]	Ponto de aplicação z [m]	Coef. [–]
1	Peso - parede	0,00	119,29	2,64	-2,29	1,000
2	Resistência da FF	66,89	-19,46	0,21	-0,46	1,000
3	Peso - cunha de terra	0,00	0,58	2,50	-0,95	1,000
4	Peso - cunha de terra	0,00	0,58	3,10	-1,75	1,000
5	Peso - cunha de terra	0,00	0,58	3,70	-2,55	1,000
6	Peso - cunha de terra	0,00	0,58	4,30	-3,35	1,000
7	Empuxo ativo	-13,60	2,75	5,97	-1,33	1,000
8	Pressão da água	-75,00	0,00	5,10	-1,40	1,000
9	Pressão de elevação	0,00	0,00	5,10	-4,00	1,000

Fonte: GEO 5 (2019).

Verificação completa do muro:

- Verificação da estabilidade ao tombamento

  Mres = 335,20 KN.m/m

  Mtomb = 92,23 KN.m/m

  Fator de segurança = 3,63 > 1,50

A resistência do muro ao tombamento é satisfatória.

- Verificação de deslizamento

  Hres = 73,01 KN/m

  Hativa = 21,71 KN/m

  Fator de segurança = 3,36 > 1,50

A resistência do muro ao deslizamento é satisfatória. Assim, concluindo que a sua verificação global é satisfatória.

5.3. Composição dos Preços

A composição de preço para o muro de arrimo de gabião fora constatada por meio da planilha orçamentária do Sistema Nacional de Preços e Índices (SINAPI) no valor de R$ 724,07 - SP, visto que seu processo construtivo é mais empregado, tornando a mão de obra especializada mais acessível.

Tabela 2. Composição de Preços do SINAPI para Muro de Contenção Gabião.

Tipo do Item	Código	Descrição Básica	Unidade	Coeficiente
C	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	3,2310000
C	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,6160000
C	5631	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,8	CHP	0,1790000
C	5632	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,8	CHI	0,6280000
I	40440	GABIAO TIPO CAIXA PARA SOLO REFORCADO, MALHA HEXAG	M3	0,5000000
I	40441	GABIAO TIPO CAIXA PARA SOLO REFORCADO, MALHA HEXAG	M3	0,5000000
I	4730	PEDRA DE MAO OU PEDRA RACHAO PARA ARRIMO/FUNDACAO	M3	1,3000000
I	4460	SARRAFO DE MADEIRA NAO APARELHADA *2,5 X 10 CM, MA	M	1,5000000
I	5063	PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 14 X 18 (1 1/2 X 14	KG	0,0040000
I	4011	GEOTEXTIL NAO TECIDO AGULHADO DE FILAMENTOS CONTIN	M2	1,9000000

Fonte: SINAPI – SP (2019).

O valor do custo alcançado para o muro de solo pneu foi de R$640,91 - SP, utilizando a planilha orçamentária do SINAPI e valores comerciais.

Na Tabela 3, o pedreiro, o ajudante de pedreiro e as escavadeiras hidráulicas tiveram seus custos totais determinados com os mesmos critérios pelos quais desenvolveu-se o orçamento do muro de gabião, logo a corda de propileno e o solo para aterro foram estipulados por meio de cotação comercial.

Tabela 3 - Composição de Preços com base no SINAPI para Muro de Contenção Solo Pneu.

CÓDIGO DA COMPOSIÇÃO	DESCRIÇÃO DA COMPOSIÇÃO	UNIDAD	VALOR UNITÁRIO DA COMPOSIÇÃO COM BDI
COMP. 01	MURO DE GRAVIDADE SOLO PNEU	M³	R$ 640,91

FONTE	CÓDIGO	DESCRIÇÃO DOS INSUMOS	UNID.	COEF.	VALOR UNIT. C/ BDI R$	VALOR TOTAL C/ BDI R$
SINAPI	88.309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES -	H	3,2310	27,80	89,82
SINAPI	88.242	AJUDANTE DE PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES -	H	1,6160	23,90	38,62
COT. MERC.		CORDA DE PROPILENO 6MM	M	272,5400	0,50	136,27
COT. MERC.		SOLO PARA ATERRO	M³	6,6000	45,00	297,00
SINAPI	5.631	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3, PESO OPERACIONAL 17 T, POTENCIA BRUTA 111 HP - CHP DIURNO. AF_06/2014 -	CHP	0,1790	179,59	32,15
SINAPI	5.632	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3, PESO OPERACIONAL 17 T, POTENCIA BRUTA 111 HP - CHI DIURNO. AF_06/2014 -	CHI	0,6280	74,92	47,05

Fonte: Os Autores, (2019).

6. CONCLUSÃO

A análise realizada consistiu no dimensionamento do muro solo pneu nas condições do muro de contenção de gravidade do tipo gabião já existente, com a finalidade de apresentar uma alternativa que esteja a favor do meio ambiente, pois utiliza de material que frequentemente é descartado de forma incorreta, de custosa decomposição e prejudicial tanto ao meio ambiente como a saúde humana.

Geralmente o emprego do muro solo pneu é inicialmente desprezado devido à grande dimensão horizontal necessária para suprir a vertical, todavia, neste caso há disponibilidade de espaço o que torna esta desvantagem desprezível. Contudo, a mão de obra especializada neste tipo de estrutura é escassa, tornando seu custo mais elevado, e proporcionando uma vantagem ao muro de gabião.

Quanto à resistência de cada tipo de muro, concluiu-se que ambos são satisfatórios, sendo os seus valores próximos, assim o muro de gabião possui maior valor em relação estabilidade ao deslizamento e o de solo pneu é mais estável ao tombamento.

A desvantagem do muro de solo pneu consiste no fato de não disponibilizar de mão de obra especializada, em contrapartida, os materiais necessários que são o solo, encontrado no local, e o pneu inservível, o qual é viabilizado pela prefeitura municipal, pois esta recolhe os mesmos através de ecopontos para o descarte consciente realizado pela ANIP, não refletem em gasto significativo.

No entanto, a prefeitura prioriza disponibilizar o pneu, anteriormente entregue a ANIP, para uso em projetos locais, necessitando apenas do transporte para coleta dele.

No caso analisado seria vantajoso para a Universidade o emprego do muro de arrimo de solo pneu, visto que ele representa economia de 11,50% em relação ao valor do muro de gabião e supre o espaço necessário, dentre as demais vantagens expostas previamente.

AGRADECIMENTOS

A Universidade do Oeste Paulista, pelo auxílio e fornecimento de dados para a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ANIP - Associação Nacional de Indústrias de Pneumáticos, 2017. Disponível em: http://anip.com.br. Acesso em: 26 fev. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - NBR 11682/2009. **Estabilidade de Encostas**. Rio do Janeiro, 2009. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=51490. Acesso em: 25 jun. 2019.

AGOSTINI, R.; BIZZARRI, A.; MASETTI, M. **Estruturas Flexíveis para Obras Fluviais.** 1. ed. Bolonha: Maccaferri Gabiões do Brasil, 1981.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº. 416, de 21 de março de 2002.** Resoluções. Disponível em http://www.mma.gov.br. Acesso em: 26 fev. 2019.

GERSCOVICH, D. M. S.; DANZIGER, B. R.; SARAMAGO, R.. **Contenções:** teoria e aplicações em obras**.** São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

GOMES, M. **Entrevista.** "**Informação Sobre Descarte de Pneus Inservíveis**". Os Autores. 26 de Agosto de 2019. Junqueirópolis: Prefeitura Municipal de Junquerópolis, SP, 2019..

JANISSEK, P. R. ; COSTA, B.J.; HEISE, H. M.; PENTEADO, R. A.. Workshop Internacional: COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS - **Nossa fonte renovável de energia para o futuro**. 2008.

LUIZ, B. J.. **Projeto Geotécnico de uma Estrutura de Contenção em Concreto.** 124p. Projeto de Graduação - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2014.

MEDEIROS V. L.; SAYÃO, A. S. F. J.; GERSCOVICH, D. M. S.; SIEIRA, A. C. C. F.. Reuso de Pneus em Geotecnia. *In*: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE REUSO/RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS, 2000. São Paulo. **Anais** [...].São Paulo: Fiesp/Ciesp, 2000.

MOLITERNO, A.. **Caderno de Muros de Arrimo.** 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

PEREIRA, C.. **Muro de Arrimo:** O que é e Principais Tipos. Escola Engenharia, 2016. Disponível em: https://www.escolaengenharia.com.br/muro-de-arrimo/. Acesso em: 25 jun. de 2019.

RODRIGUES, C. P. R.; CARDOSO, G. L. A.; **Estudo e Dimensionamento Sobre Muro de Contenção por Gravidade de Solo Pneu**. 2018. Iniciação científica – Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, SP. 2018.

SEST SENAT. **Cerca de 450 mil Toneladas de Pneus são Descartados por Ano no Brasil**. 2019. Disponível em: https://www.sestsenat.org.br/imprensa/noticia/cerca-de-450-mil-toneladas-de-pneus-sao-descartados-por-ano-no-brasil. Acesso em: 14 set. 2020.

SIEIRA, A. C. C. F.. **Análise do Comportamento de Um Muro de Contenção Utilizando Pneus.** 2001. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2001.

SINAPI. Downloads. Disponível em: http://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx#categoria_754. Acesso em: 28 ago. 2019.

SOUZA, A. N. de. **Estudo e Dimensionamento Sobre Muro de Contenção por Gravidade de Solo Pneu.** 2002. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2002.