

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
COLEGIADO DE ENGENHARIA CIVIL
PROJETO DE GRADUAÇÃO**

**AVALIAÇÃO DO USO DE PNEUS EM CONTENÇÃO
EMERGENCIAL DE TALUDES**

LUIZ POTRATZ NETO

**VITÓRIA – ES
FEVEREIRO/2023**

LUIZ POTRATZ NETO

**AVALIAÇÃO DO USO DE PNEUS EM CONTENÇÃO
EMERGENCIAL DE TALUDES**

Projeto de Graduação de Luiz Potratz Neto, apresentado ao Departamento de Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

**VITÓRIA – ES
FEVEREIRO/2023**

LUIZ POTRATZ NETO

**AVALIAÇÃO DO USO DE PNEUS EM CONTENÇÃO
EMERGENCIAL DE TALUDES**

Projeto de Graduação de Luiz Potratz Neto, apresentado ao Departamento de Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Karla Maria Wingler Rebelo
Universidade Federal do Espírito Santo
DEC/CT/UFES
Orientador

Prof. Dr. Patrício José Moreira Pires
Universidade Federal do Espírito Santo
DEC/CT/UFES

Eng. Maurício Antônio Cavalli Junior.
Ecorodovias Concessões e Serviços S.A.

VITÓRIA – ES
FEVEREIRO/2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, pela benção de estar vivo e viver cada dia da minha jornada até hoje, concluindo mais uma etapa da minha vida.

Agradeço aos meus pais e meus avós, pela minha criação, pelas oportunidades e experiências que me proporcionaram estar hoje onde estou, e me tornando a pessoa que sou. Agradeço à minha irmã, pela companhia a todo momento, pela descontração mesmo em momentos frágeis e pela parceria para toda vida.

Agradeço meu cônjuge pela parceria desde o início de minha formação, até esta etapa final. Me apoiando em diversos altos e baixos nestes anos e pelo grande apoio para conclusão deste trabalho.

Agradeço a minha orientadora, que pelo apoio neste trabalho e nas matérias de ministrou, me permitiram realizar a conclusão do curso com tema de geotecnia. Pela criatividade, paciência e humanidade que exerce seu cargo de professora, lecionando, inspirando, e graduando os futuros profissionais de engenharia.

Agradeço aos meus gestores e colegas de trabalho pelo apoio para realização desta dissertação, e em minha formação, disponibilizando horas da jornada e recursos operacionais da ECO101 para desenvolvimento deste estudo.

RESUMO

NETO, Luiz Potratz. **Avaliação do uso de pneus em contenção emergencial de taludes**. 2023. 49p. Projeto de Graduação em Engenharia Civil – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES, 2023. Orientadora: Prof. Dr. Karla Maria Wingler Rebelo.

Eventos de deslizamentos de solo são frequentes no Brasil, principalmente em períodos chuvosos. Muitos destes deslizamentos trazem prejuízo para a economia, geram risco de vida, problemas sociais e ambientais. Outra problemática no Brasil, principalmente até o ano de 2005, é a quantidade de pneus descartados irregularmente. Entre as várias destinações que os pneus recebem após uso na indústria de transporte, uma das soluções bem estabelecidas é a aplicação em estruturas de contenção, como muros de gravidade, resistindo aos empuxos causados pelo solo do talude, devido ao peso próprio. Diante da realidade acima advém a importância de se construir estruturas de contenção no menor tempo possível em taludes com risco emergencial, evitando assim a ocorrência de deslizamentos até uma contenção definitiva ser adotada. A utilização dos pneus nos permite acelerar a execução da contenção, reduzindo o custo e promovendo destinação adequada para centenas de pneus. Este trabalho visa verificar a estabilidade da contenção emergencial executada com pneus inservíveis preenchidos de material granular, utilizando parâmetros do solo obtidos por correlação com dados de sondagem, tomando premissas de dimensionamento sempre a favor da segurança. Foi desenvolvido para auxiliar nos cálculos uma planilha para dimensionamento e verificação da estabilidade quanto ao tombamento, deslizamento e capacidade de carga de contenção de pneus de até 4 metros de altura. A geometria definida para o talude é de 1 a 3 colunas, com inclinação de face de 90° e distribuição ortorrômbica dos pneus. O resultado obtido pelo dimensionamento de diferentes combinações entre material de preenchimento do pneu e solo do talude contido foi uma tabela de consulta rápida de camadas (alturas) com validação da estabilidade, indicando a validade da solução de contenção.

Palavras-chave: Muros de gravidade; pneus usados; muros de pneu; dimensionamento de contenções.

ABSTRACT

NETO, Luiz Potratz. **Evaluation of the use of tires in emergency slope containment**. 2023. 49p. Graduation Project in Civil Engineering - Department of Civil Engineering, Federal University of Espírito Santo, Vitória - ES, 2023. Advisor: Prof. Dr. Karla Maria Wingler Rebelo.

Landslide events are frequent in Brazil, especially during rainy periods. Many of these landslides bring damage to the economy, create life-threatening, social and environmental problems. Another problem in Brazil, especially until 2005, is the amount of irregularly discarded tires. Among the various destinations that tires receive after use in the transportation industry, one of the well-established solutions is the application in containment structures, such as gravity walls, resisting the thrusts caused by the slope's soil, due to its own weight. In view of the above reality, it is important to build containment structures in the shortest time possible on slopes with emergency risk, thus avoiding the occurrence of landslides until definition of a permanent solution. The use of tires allows us to accelerate the execution of the containment, reducing the cost and promoting an adequate destination for hundreds of tires. This work aims to verify the stability of the emergency containment executed with unserviceable tires filled with granular material, using soil parameters obtained by correlation with drilling data, taking design premises always in favor of safety. A spreadsheet was developed to assist in the calculations for sizing and stability verification with regard to tipping, sliding and load capacity of tire containment up to 4 meters high. The geometry defined for the slope is 1 to 3 columns, with a 90° face inclination and orthorhombic distribution of the tires. The result obtained by sizing different combinations between the tire fill material and the contained slope soil was a quick look table on the layers (heights) with stability validation, indicating the validity of the containment solution.

Key words: Gravity walls; Used tires; Tire walls; Sizing of retaining walls.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Deslizamento na BR-376.....	8
Figura 2: Partes do pneu.	10
Figura 3: Pneus Descartados Irregularmente.	11
Figura 4: Exemplo da utilização pneus na contenção de taludes.....	12
Figura 5: Estruturas Atirantadas.....	14
Figura 6: Estruturas de Arrimo.	15
Figura 7: Pneu inteiro e Pneu com uma parede cortada.....	17
Figura 8: Amarração dos Pneus e Muro Finalizado.	17
Figura 9: Pré-dimensionamento do muro de gravidade.	19
Figura 10: Fotografia do equipamento para teste PDM.	20
Figura 11: Condições de Estabilidade de Muros de Gravidade.	23
Figura 12: Força em seção tipo mura de gravidade.....	24
Figura 13: Tensões na fundação do Muro de Gravidade.....	26
Figura 14: Dimensões do Pneu.....	30
Figura 15: Pesagem do Pneu.	31
Figura 16: Obtenção do volume interno do Pneu.....	31
Figura 17: Pesagem do Conjunto Material-Pneu.....	34
Figura 18: Corte Tipo da Seção do Muro.....	35
Figura 19: Vista Superior da Camada de Base.	36
Figura 20: Vista Frontal do Muro de Contenção.....	36
Figura 21: Legenda da Área de Interface.	37
Figura 22: Planilha - Aba Interface.....	38
Figura 23: Planilha - Aba Dados.....	38
Figura 24: Planilha - Aba Fórmulas.	39
Figura 25: Planilha de Verificações de Estabilidade para 3 Colunas de Pneu.	40
Figura 26: Estabilidade Contenção Média Compacta x Solo Local.	41
Figura 27: Estabilidade Contenção Muito Compacta x Brita.	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. Objetivos.....	9
1.1.1. Objetivos Gerais	9
1.1.2. Objetivos Específicos.....	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1. Pneus	10
2.2. Estruturas de Contenção.....	13
2.3. Muros de Contenção com Pneus.....	16
2.4. Etapas de Dimensionamento de Muros com Pneus	17
2.4.1. Definições Iniciais	19
2.4.2. Ensaios de Campo.....	20
2.4.3. Ensaios de Laboratório	21
2.4.4. Fatores de Segurança	23
2.4.5. Determinação do empuxo solicitante	27
2.4.6. Verificações de Estabilidade	28
3. MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1. Materiais	29
3.1.1. Pneus.....	29
3.1.2. Material de Preenchimento	32
3.1.3. Talude ou Retroaterro	33
3.2. Métodos	33
3.2.1. Preenchimento dos Pneus.....	33
3.2.2. Geometria.....	35
3.2.3. Fatores de Segurança	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5. CONCLUSÃO	44
5.1. Sugestão de trabalhos futuros	45
6. REFERENCIAS.....	47

1. INTRODUÇÃO

Os deslizamentos de solo são tema recorrente da realidade brasileira. Conforme Macedo e Sandre (2022), os registros do banco de dados do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) contabilizaram 959 eventos de deslizamento, somando mais de 4100 vítimas entre 1988 e junho de 2022. Além dos deslizamentos causarem vítimas diretas, o impacto econômico também é bastante significativo. Conforme reportagem de Fantin (2022), a Federação das Empresas de Transporte de Cargas do Estado do Paraná (FETRANSPAR) estima que o prejuízo no setor de transporte é de 60 milhões por dia de interdição nas rodovias, causado por deslizamentos cobrindo a faixa de rolamento (Figura 1). Diante desta realidade, é necessária a execução de contenções preventivas e emergenciais dos maciços de solo, para que os deslizamentos sejam evitados.

Figura 1: Deslizamento na BR-376.



Fonte: Fantin (2022).

Em 1999 a resolução Nº 258 do Conselho Nacional do Meio Ambiente proibiu o descarte irregular de pneus no Brasil, desde então as empresas fabricantes tiveram que garantir a destinação das mais de 450 mil toneladas por ano de pneus descartados (MORENO, 2022).

Portanto, reaproveitar os pneus inservíveis do setor de transporte, em obras de geotecnia torna-se não apenas uma solução sustentável pela introdução do pneu em outro ciclo de vida, como também oferece uma solução viável para as contenções

emergenciais que precisam de uma rápida execução visando minimizar o risco e/ou impacto, evitando deslizamentos.

Diante das motivações acima, este projeto de graduação avalia a estabilidade de contenções emergenciais utilizando pneus inservíveis, por meio de um dimensionamento altamente conservador, realizado por correlações entre parâmetros do solo, visando o início da execução das contenções no menor tempo possível e forma a prevenir deslizamentos até definição de uma solução permanente. Após apresentação de referencial teórico com a conceituação sobre os pneus, estruturas de contenção e etapas de dimensionamento do muro com pneus, segue a descrição dos materiais e metodologia aplicada neste trabalho e expondo-se os resultados tabelados obtidos dos dimensionamentos teóricos.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivos Gerais

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a estabilidade de contenções emergenciais com uso de muro de pneus preenchidos com material granular.

1.1.2. Objetivos Específicos

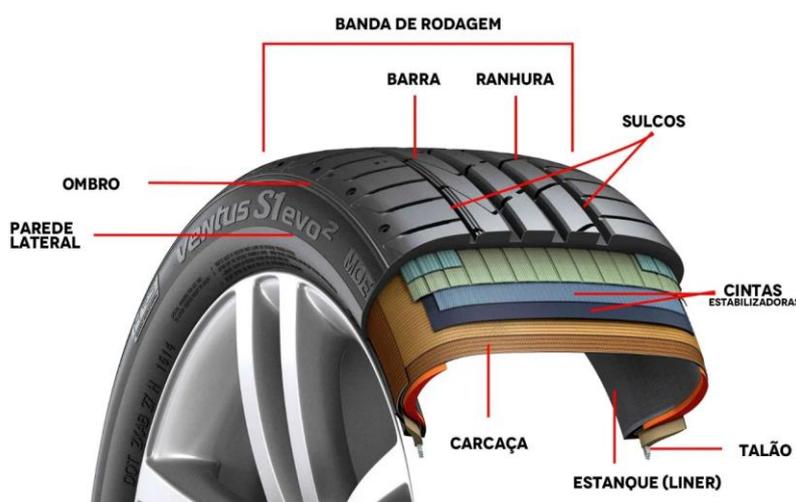
- Apresentar planilha de dimensionamento rápido para muros de gravidade com pneus e com possibilidade de entrada de dados continuada.
- Determinar alturas para utilização da contenção de solo-pneu como solução estável.
- Obter tabela de consulta rápida sobre alturas de segurança, quanto à estabilidade.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Pneus

Para a construção do pneu, cada detalhe é analisado para alcançar o melhor desempenho com o máximo de segurança, devido a este fator, torna-se um processo produtivo bem complexo sendo controlado de acordo com especificações técnicas e procedimentos pré-determinados, que vão desde a preparação da borracha até a produção de itens para compor o produto final, já que as partes de um pneu contam com propriedades diferentes. Cada um dos itens têm a sua devida importância, com o destaque para a banda de rodagem (parte do pneu que faz o contato direto com o solo), o corpo, ou também chamada de carcaça, e o talão (parte do pneu que faz conexão com a roda) conforme Figura 2 (ANIP, 2023). De tal forma, na produção o intuito é garantir aspectos como a simetria, controle de compostos de borracha, grau de vulcanização, segurança, a uniformidade do peso e geometria, a repetibilidade do processo e rastreabilidade, dentre outros fatores a serem considerados. O talão é construído conforme especificações do diâmetro para garantir que o pneu não se solte do aro (destalonamento) quando for submetido a esforços laterais. Além do mais, sua composição contém o ombro, a parede lateral, lonas de corpo, estabilizadoras e lâminas de estanque (ANIP, 2023).

Figura 2: Partes do pneu.



Fonte: Achei Pneus (2021).

Mediante pesquisas da *Vrije Universiteit*, localizada em Amsterdam, todos os dias são fabricados cerca de 2 milhões de novos pneus no mundo, totalizando uma produção anual de 730 milhões de pneus (janeiro/1999), e ao mesmo tempo, são transformados em sucata 800 milhões de unidades por ano, logo, como há uma grande demanda na produção de pneus, há também um severo rejeito. Os pneus já inservíveis, são rejeitos que vêm se tornando cada vez mais complicados de serem descartados atualmente, crescendo mais a cada dia nos centros urbanos. No Brasil, somente no estado de São Paulo, os pneus e apetrechos de borracha em geral correspondem a uma parcela de cerca de 3% do lixo urbano, e no Rio de Janeiro, a 0,5% (SILVA, 2006).

O pneu é um elemento de difícil decomposição, estima-se que o pneu pode levar aproximadamente 600 anos para se degradar no meio ambiente (PARRA; NASCIMENTO; FERREIRA, 2010). Ainda assim, os pneus tinham como destino mais comum os aterros sanitários, terrenos baldios e os lixões, sem nenhum tipo de tratamento apropriado, conforme exemplificado na Figura 3, contribuindo diretamente para a proliferação dos mosquitos *Aedes Aegypti*, que transmite a dengue e a febre amarela. Outro fator de risco do descarte incorreto, são os incêndios acidentais, pois devido a sua alta combustibilidade, liberam muitas vezes, poluentes em forma de gases e óleo, que contaminam ar, os solos e os lençóis freáticos, se transformando em um enorme problema para a saúde coletiva, ainda de acordo com Silva (2006).

Figura 3: Pneus Descartados Irregularmente.



Fonte: Folha Vitória (2022).

Mediante tais impactos, no ano de 1999, entrou em vigor a Resolução de nº 258 do CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, na qual, vem a proibir terminantemente o descarte inapropriado dos pneus inservíveis e ainda obrigou as empresas fabricantes responsáveis dos pneus, a dar destinação final adequada ao rejeito existente em território brasileiro, em proporção crescente até o ano de 2005, conforme a produção de cada indústria. Desta maneira, essas empresas se viram obrigadas a implementar, seja com o amparo de órgãos não-governamentais ou por iniciativa própria, alternativas ambientalmente e ecologicamente corretas para destinação aos pneus inservíveis, como citado por Silva no ano de 2006.

Com isso, atualmente, vem crescendo a necessidade de se desenvolver novos métodos para aproveitamento do material. A primeira técnica proposta e utilizada foi a reforma de pneus, alternativa bastante viável financeiramente pois proporciona economia de matéria-prima e energia da ordem de 80%, aumentando a vida útil do pneu em uma base de 40%. De tal maneira o avanço da tecnologia, alternativas e recursos mais recentes vêm surgindo para aproveitamento dos pneus, como a geração de energia como combustível, a vulcanização para a produção de novos artefatos e a mistura com asfalto. Uma técnica bastante promissora que tem sido utilizada é na contenção de taludes, a temática principal deste projeto (Figura 4).

Figura 4: Exemplo da utilização pneus na contenção de taludes.



Fonte: Baroni (2007).

De acordo com Medeiros *et al.* (2000), as primeiras aplicações de pneus usados em geotecnia datam da década de 70, com a reconstrução de um aterro reforçado com

pneus em uma rodovia nos Estados Unidos, na região norte da Califórnia. Posteriormente, foram desenvolvidos estudos da técnica denominada solo-pneus (ou "pneusol"), a partir da construção de um muro experimental na Comuna Francesa de Langres. Por consequência, estes estudos confirmaram a viabilidade da execução de estruturas com o lançamento de camadas de pneus preenchidos com solo e em consideração a isso, várias estruturas de contenção foram construídas utilizando-se essa tecnologia com o passar do tempo.

Medeiros et al. (2000) também citam que a grande vantagem do método consiste na eficiência mecânica do material, associado ao seu baixo custo. Na grande maioria das vezes, o insumo pode ser obtido gratuitamente, trazendo à alternativa um custo/benefício bastante atrativo.

Além do mais, a técnica favorece a preservação da natureza, em razão de que, de acordo com Cappi (2004), a mesma possui um alto consumo de pneus, podendo contribuir para a redução do rejeito no meio ambiente. Por ser uma opção economicamente vantajosa, a técnica poderia ser uma alternativa para a utilização em obras emergenciais e em comunidades desfavorecidas, regiões de favela ou zonas rurais, por exemplo. De tal modo, a técnica pode tornar-se altamente atrativa para utilização em obras públicas, utilizada em mutirões, pela própria população local, ou ainda para recuperação rápida de deslizamentos em rodovias.

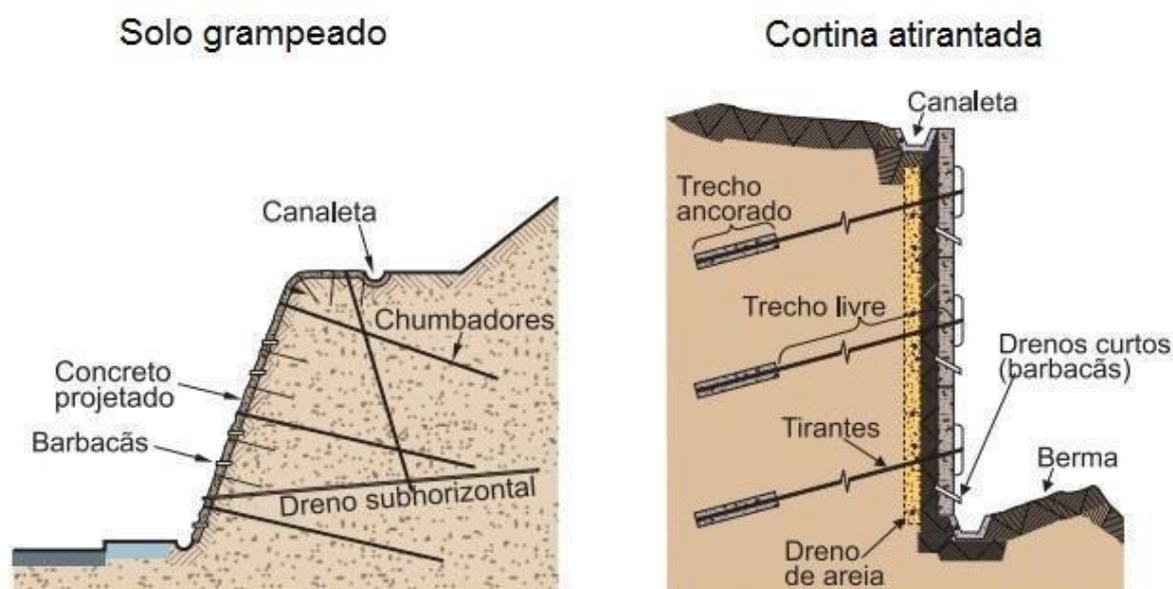
2.2. Estruturas de Contenção

As estruturas de contenção são obras geotécnicas com finalidade de promover estabilidade para maciços de solo, evitando a erosão ou ruptura destas. Os muros de contenção são exemplo destas estruturas, que apesar de poderem ser constituídos de diferentes geometrias, materiais, e processos construtivos, todas visam o mesmo objetivo de conter possíveis rupturas, resistindo às pressões laterais do solo contido.

Entre os diferentes tipos de estruturas de contenção existentes, pode-se separá-las por estruturas atirantadas e estruturas de arrimo. O princípio de funcionamento das estruturas atirantadas se dá por meio da escavação do talude a ser contido, executando-se tirantes à medida que a cota deste baixa, inserindo cabos de aço no

interior do furo feito no solo e realizando a injeção de concreto, aço este que pode ser protendido ou não (CARDOSO, 2002). Na superfície do talude é executada parede de concreto, chamada Cortina Atirantada ou feita a projeção de concreto, chamada de Solo Grampeado (Figura 5). Também fazem parte desta e de outras soluções a execução adequada de drenagem horizontal, na crista e no pé da contenção.

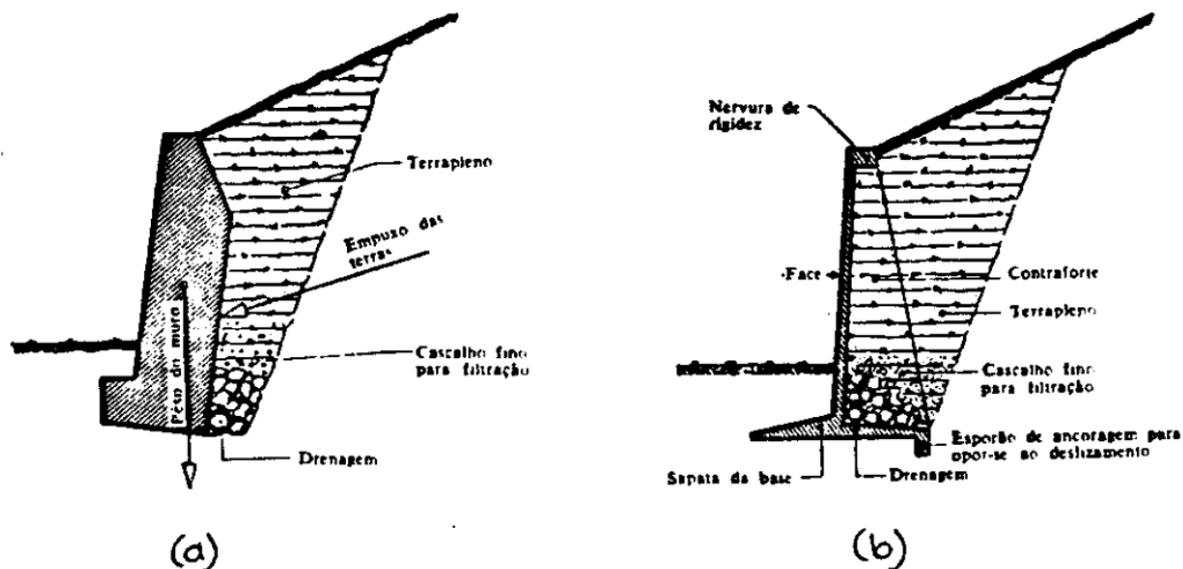
Figura 5: Estruturas Atirantadas.



Fonte: Talus Engenharia (2021).

As estruturas de arrimo são consideradas de fácil execução, não necessitando de equipamentos complexos para sua construção, outra característica atribuída são suas grandes dimensões. Os muros de arrimo podem trabalhar de duas formas distintas, por gravidade (Figura 6-a) ou por flexão (Figura 6-b). Os muros de gravidade resistem às pressões laterais, por meio do seu próprio peso, fazendo com que surja força de atrito na sua base com o solo, impedindo também o seu tombamento. Os muros de flexão tendem a ser mais leves, com geometria característica de "T" invertido ou "L", aproveitam o peso do próprio terreno sendo contidos para gerar as forças resistentes necessárias, por consequência, os esforços de flexão em sua base são grandes, exigindo armaduras de aço robustas e contrafortes (CARDOSO, 2002).

Figura 6: Estruturas de Arrimo.



Fonte: Cardoso (2002).

Para realizar verificações de estabilidade de estruturas de gravidade, é necessário obtenção das solicitações sobre o muro. As solicitações de maior relevância são as tensões horizontais promovidas pelo solo, mas podem também ser consideradas em projeto: solicitações de sobrecarga, fluxos de água ou ações excepcionais (MOLITERNO, 1994). As tensões horizontais são função do material a ser contido, suas características físicas, mas também de cargas adicionais que podem estar sendo aplicadas no solo.

Este trabalho abordará sobre os muros de contenção construídos com pneus e preenchidos de material particulado. Este tipo de obra geotécnica caracteriza-se como uma estrutura de gravidade. Conforme descrito pela Secretaria Nacional de Defesa Civil (CASTRO, 2003), o funcionamento das estruturas de gravidade está relacionado com a utilização do próprio peso do muro para suportar os esforços e empuxos produzidos pelo maciço, definindo-se geometrias para o muro que estabilizam as forças e reduzem as movimentações.

A caracterização do solo por meio de ensaios laboratoriais e investigação em campo são necessários para maiores informações sobre o maciço a ser contido, otimizando as análises de estabilidade, resultando em dimensionamentos mais arrojados.

Porém, nem sempre existe tempo hábil para executar todas as verificações do solo antes de realizar as intervenções necessárias nos terraplenos, principalmente quando estes oferecem risco de ruptura. Os dimensionamentos deste trabalho consideram estes tipos de terrapleno que necessitam de recuperação emergencial.

2.3. Muros de Contenção com Pneus

O muro de contenção construído com pneus, conforme detalhado no trabalho de Sieira (2009) é executado com pneus preenchidos de solo posicionados de forma contígua e em camadas sobrepostas, podendo ser amarrados entre si por fitas metálicas ou por cordões de plástico do tipo polipropileno.

O preenchimento dos pneus deve ser feito por materiais de propriedades conhecidas, principalmente a de massa específica, visto que essa propriedade influencia diretamente no peso do conjunto de contenção, esta a principal força de resistência aos empuxos do talude a ser contido. A compactação do material de preenchimento é recomendada para obter-se contenções mais eficientes, assim, O'Shaughnessy (1997) indica que uma das paredes de cada um dos pneus deve ser cortada, conforme figura 7. Com isso, espera-se redução do índice de vazios de cada unidade, aumentando a massa específica de cada unidade pneu-solo e incrementando o atrito entre camadas sobrepostas, resultando em maior estabilidade destas estruturas por gravidade. A desvantagem do processo de remoção de uma das paredes do pneu, como indicado por O'Shaughnessy (1997) é que necessita de uma máquina que faça esse procedimento, havendo custo deste serviço, mas também maior tempo gasto na execução da contenção. Sieira (2009) em seu trabalho confirma o aumento de custo e tempo para execução do muro com pneus cortados, precisando em sua pesquisa adquirir equipamento de corte de cerca de 20mil dólares, que realizava o corte de 50 pneus por hora.

Figura 7: Pneu inteiro e Pneu com uma parede cortada.



Fonte: Medeiros et al. (2000).

Realizado o preenchimento dos pneus e amarrações uns com os outros, como apresentado na Figura 8, segue-se a construção das camadas acima, repetindo o procedimento, até conclusão da contenção na altura necessária.

Figura 8: Amarração dos Pneus e Muro Finalizado.



Fonte: Ecopontes (2021).

Caso seja previsto retroaterro para a contenção do talude, prossegue-se para execução desta etapa, assim que finalizado a todas as camadas de pneus preenchidos de material. Destaca-se que a compactação do retroaterro deve ser feita com cautela, utilizando equipamentos leves de compactação, de forma que não ocasione sobrecarga sobre a contenção executada.

2.4. Etapas de Dimensionamento de Muros com Pneus

O muro de contenção com pneus terá como principal fator resistente o seu peso próprio para combater as sobrecargas e empuxos conforme mencionados

anteriormente. Demais esforços e forças externas não estão sendo considerados neste trabalho, como fluxos de água, eventos sísmicos, impactos horizontais, estruturas construídas sobre os pneus.

Foi definido por O'Shaughnessy (1997) em seu trabalho uma metodologia para dimensionamento das contenções com pneus. Determinados as solicitações que agem sobre a contenção, realiza-se um pré dimensionamento e prossegue-se com as verificações de estabilidade deste dimensionamento. Os 10 passos sugeridos, que orientam para um dimensionamento para contenções de até 10 metros de altura, com largura uniforme e inclinação de face entre 70° e 90°, conforme adaptado na dissertação de Pimenta (2019) são estes:

[...]

Passo 1: estabelecer a geometria do muro, escopo do projeto e cargas externas, definindo as dimensões do muro e sua inclinação, características do retroaterro, tipo de pneus a serem usados e método de amarração entre eles, localização de cargas externas e condições ambientais.

Passo 2: determinar as propriedades do solo de fundação por intermédio de ensaios de campo e de laboratório para definir os parâmetros de resistência do solo (ângulo de atrito interno e coesão), massa específica, parâmetros de deformabilidade e localização do lençol freático.

Passo 3: determinar as propriedades do solo de preenchimento dos pneus com ensaios que definam a caracterização do solo, as características de compactação (umidade ótima e massa específica seca), os parâmetros de resistência (ângulo de atrito interno e coesão), características químicas e biológicas que possam afetar a durabilidade dos pneus.

Passo 4: estabelecer fatores de segurança e critérios de construção. O autor lista alguns valores mínimos que, segundo ele, podem ser modificados em função de regulações locais.

Verificação de estabilidade quanto ao deslocamento: 1,5;

Verificação de estabilidade quanto ao tombamento: 2,0;

Verificação de estabilidade quanto à capacidade de carga do solo de fundação: 2,0;

Verificação quanto à estabilidade global: 1,5;

Verificação quanto a deformação lateral excessiva: a) solo granular: 10 mm por metro da altura do muro; b) solo coesivo: 40 mm por metro da altura do muro.

Passo 5: definir a configuração das camadas de pneus quanto a forma de distribuição (layout) e largura total.

Passo 6: estabelecer os parâmetros de interface entre solo e pneu com a realização de ensaio de cisalhamento direto para calcular o ângulo de atrito de interface.

Passo 7: determinar o empuxo lateral a montante do muro e a distribuição de tensão vertical na base.

Passo 8: checar a estabilidade do muro com os parâmetros definidos no Passo 4.

Passo 9: estimar os recalques do muro e compará-los com o recalque admissível.

Passo 10: avaliar deformações laterais no muro. Sieira et al. (2001) propõe simulação numérica, com programa de elementos finitos, para avaliar a magnitude dos parâmetros de deformabilidade do conjunto solo-pneus.

[...] (Pimenta, 2019, p.29-31)

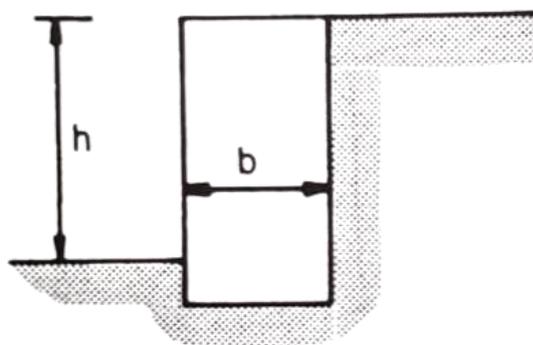
Em referência às bibliografias citadas e a metodologia sugerida por O'Shaughnessy (1997), serão apresentados a seguir os procedimentos da metodologia para dimensionamento de contenções com uso de pneus, e suas devidas verificações de estabilidade.

2.4.1. Definições Iniciais

As tres primeiras etapas do dimensionamento sugerido por O'Shaughnessy (1997) relacionam-se às necessidades de investigação do terrapleno a ser contido, definindo parâmetros da geometria da contenção a ser executada, determinando as propriedades do solo do local e do solo ou material de preenchimento dos pneus.

As dimensões iniciais do muro podem ser estimadas conforme bibliografia sobre contenção rígida de Moliterno (1994), onde sugere-se que os muros de gravidade de perfil retangular sejam pré dimensionados conforme Figura 9, onde b (base) deve ser 0,3 vezes " h " (altura) para estruturas de concreto ciclópico, ou 0,4 vezes " h " (altura) para estruturas de alvenaria.

Figura 9: Pré-dimensionamento do muro de gravidade.



Fonte: Adaptado de Moliterno (1994).

A investigação geotécnica a ser realizada nestas primeiras etapas, engloba o solo a montante do muro de contenção, o solo de base do talude, e o solo ou material a ser utilizado no preenchimento dos pneus. Alguns parâmetros a serem determinados são: resistência do solo, massa específica, nível d'água, características de compactação. Para obtenção destes parâmetros é necessário realização de ensaios tanto em campo quanto em laboratório.

Também complementa a investigação o levantamento planialtimétrico do local sendo de grande auxílio para definição das dimensões iniciais da contenção, com base na geometria original do talude (GERSCOVICH; SARAMAGO; DANZIGER, 2019).

2.4.2. Ensaio de Campo

A principal forma de caracterização do solo em campo, é por meio sondagens com ensaio SPT (GERSCOVICH; SARAMAGO; DANZIGER, 2019). Sendo este um método direto de obtenção do parâmetro de resistência do solo N_{SPT} , para dimensionamento das contenções, sendo possível realizar correlações com propriedades geotécnicas do solo por meio da experiência de trabalhos e bibliografias anteriores.

Outra forma de caracterização do solo em campo são os testes de penetrômetro dinâmico (PDM), uma alternativa de custo ainda menor que as sondagens SPT. O ensaio é realizado pela cravação de uma haste metálica de ponta cônica padronizada (Figura 10), por meio de golpes em queda livre de um martelo de 10kg a uma altura de 23,20cm, fornecendo o parâmetro de resistência do solo N_{PDM} (POLIDO; CASTELLO, 1997). O teste PDM é um ensaio rápido e de baixo custo, podendo ser executado com apenas um operador, sendo de difícil execução apenas em solos coesivos (CUSTÓDIO, 2003).

Figura 10: Fotografia do equipamento para teste PDM.



Fonte: Custódio (2003).

Conforme citado no trabalho de Custódio (2003), Polido e Castello (1999) sugerem que o Teste com PDM, com ponteira de 29 mm, até a profundidade de 5 m, tenha correlação à sondagem SPT, por meio da equação 1 abaixo:

$$N_{SPT} = 0,26(\pm 15\%)N_{PDM} \quad (1)$$

2.4.3. Ensaio de Laboratório

Definida a geometria do talude a ser contido, por meio dos levantamentos topográficos, em paralelo aos ensaios de campo, seguem as análises de laboratório para caracterização precisa das propriedades geotécnicas dos solos e demais materiais a serem utilizados na contenção.

Para o dimensionamento adequado das contenções de talude é precisa conhecer alguns parâmetros de resistência dos materiais, como o ângulo de atrito interno do solo ou do material de preenchimento, ângulo de atrito entre interfaces (solo-pneu, material-solo, pneu-pneu) e coesão dos materiais naturais envolvidos (PIMENTA, 2019). Estes citados podem ser obtidos por meio do ensaio de cisalhamento direto, melhor detalhado na norma americana ASTM D3080/D3080M.

Também deve ser tomada na etapa de caracterização por meio de ensaios de laboratório a massa específica dos solos e materiais, conforme ensaio previsto na norma ABNT NBR 6508 - Determinação da massa específica dos grãos.

Conforme Meyerhof (1956) é possível obter relações entre diferentes parâmetros de resistência dos solos granulares. Adaptado por meio da Tabela 1, a relação de Meyerhof (1956) entre os Ângulos de Atrito e N_{SPT} de solos granulares de diferentes compacidades. Esta mesma correlação aparece posteriormente na publicação de Caputo (1977), indicando fidelidade na aproximação.

Tabela 1: Correlação Compacidade e Ângulo de Atrito Interno de Solos Granulares.

Compacidade	Nspt	Atrito
Muito Solto (Muito Fofa)	<4	<30
Solto (Fofa)	4-10	30-35
Médio (Média)	10-30	35-40
Denso (Compacta)	30-50	40-45
Muito Denso (Muito Compacta)	>50	>45

Fonte: Adaptado de Meyerhof (1956).

O'Shaughnessy (1997) em seu trabalho obteve um ângulo de atrito interno de 32° e ângulo de atrito na interface solo-pneu de 26°, relacionando ângulo de atrito de interface e o ângulo de atrito interno do solo de 0,81. Pimenta (2019), por sua vez, obteve uma relação entre o ângulo de interface do solo-pneu e o ângulo de atrito interno do solo de 0,83. O'Shaughnessy (1997) recomenda o emprego da faixa de 0,75 a 0,90 da relação entre os ângulos de atrito.

Segundo Godoy (1972, apud Hachich et al, 1998) , foi relacionado também os pesos específicos com o N_{SPT} de solos granulares de diferentes compacidades, conforme expresso de forma adaptada pela Tabela 2.

Tabela 2: Correlação Compacidade e Peso Específico Seco de Solos Granulares.

Compacidade	Nspt	Peso Específico
Fofa (Muito Fofa)	<5	16
Pouco Compacta (Fofa)	5-8	16
Medianamente Compacta (Média)	9-18	17
Compacta (Compacta)	19-40	18
Muito Compacta (Muito Compacta)	>40	18

Fonte: Adaptado de Godoy (1972, apud Hachich et al, 1998).

Assim como os ângulos de atrito interno e pesos específicos, as tensões admissíveis do solo podem ser obtidas por correlações com o N_{SPT} , conforme equação 2 abaixo, obtidas de forma semi empírica por De Mello (1975), registradas no trabalho de Albuquerque e Garcia (2020).

$$\sigma_{adm} = 20 \times N_{SPT} \quad (2)$$

Em que:

σ_{adm} : Representa a tensão admissível adotada, em unidades de kPa;

N_{SPT} : O número de golpes do ensaio SPT, ou correlação do número de golpes N_{PDM} .

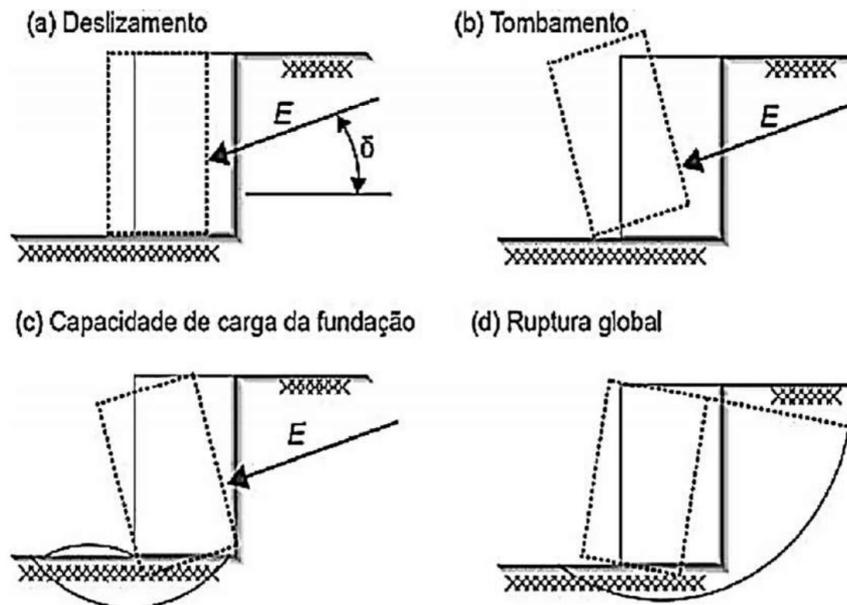
2.4.4. Fatores de Segurança

As condições de estabilidade de muros de contenção são, como definido por Caputo (1977):

- I. Segurança contra o tombamento (Figura 11-b)
- II. Segurança contra o escorregamento (Figura 11-a),
- III. Segurança contra ruptura e deformação excessiva do terreno de fundação (Figura 11-c)
- IV. Segurança contra ruptura do conjunto muro-solo (Figura 11-d).

Outros trabalhos também se referem às verificações de segurança II, III, e IV como, Segurança contra Deslizamento, Capacidade de Carga da Fundação ou de Base e Ruptura ou Estabilidade Global, respectivamente.

Figura 11: Condições de Estabilidade de Muros de Gravidade.



Fonte: Vertematti (2004).

I. SEGURANÇA CONTRA TOMBAMENTO

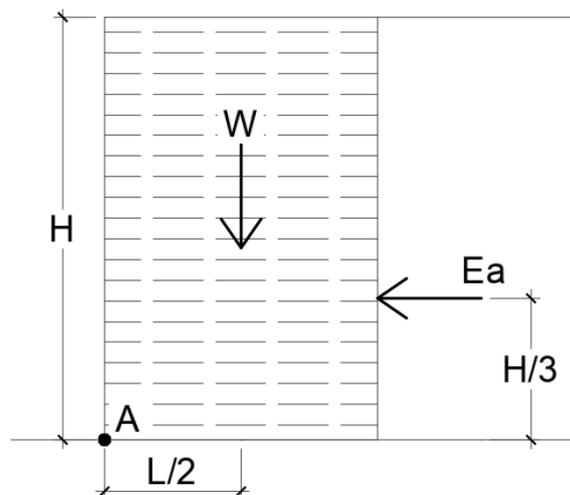
A condição de estabilidade contra o tombamento do muro de gravidade é dado pela relação entre o somatório de momentos resistentes da contenção sobre o somatório de momentos solicitantes que agem na contenção. Os momentos são calculados em

relação ao ponto na extremidade jusante da base do muro, Ponto A na Figura 12. O resultado desta razão é o fator de segurança contra tombamento (FS_T), que conforme NBR 11682:2009 deve ser maior que 1,5 para um alto nível de segurança contra danos a vidas humanas, materiais e ambientais. A equação 3, indica esta relação.

$$FS_T = \frac{\sum M_{resistentes}}{\sum M_{solicitantes}} \quad (3)$$

O principal momento solicitante é dado pela ação do empuxo da terra, o principal momento resistente pela ação do peso próprio do muro. A resistência nesta verificação é a calculada pelas ações das forças de peso de solo e de muro, além das contribuições do empuxo passivo (quando considerado) e da parcela horizontal do empuxo ativo. A Figura 12, a seguir, ilustra as forças e distâncias em relação ao "Ponto A" de giro do muro de gravidade.

Figura 12: Força em seção tipo muro de gravidade.



Fonte: Próprio Autor.

II. Segurança contra Deslizamento

A condição de estabilidade contra o deslizamento da base do muro de gravidade é dado pela relação entre o somatório de forças horizontais resistentes ao deslizamento sobre o somatório de forças horizontais solicitantes que agem na contenção. O resultado desta razão é o fator de segurança contra deslizamento (FS_D), que conforme NBR 11682:2009 deve ser maior que 1,5 para um alto nível de

segurança contra danos a vidas humanas, materiais e ambientais. A equação 4, define esta relação.

$$FS_D = \frac{\sum F_{resistentes}}{\sum F_{solicitantes}} \quad (4)$$

A principal força solicitante é dada pelo empuxo da terra e a principal força resistente dada pelo atrito da base do muro no solo de fundação e do empuxo passivo, quando existente. A expressão que determina o somatório das forças resistentes é dada pela equação 5.

$$\sum F_{resistentes} = (\gamma HL) \tan \delta' \quad (5)$$

Sendo:

(γHL): O produto representa a força Normal do peso do muro;

δ' : O ângulo de atrito de interface solo de fundação-base do muro.

Quando a base do muro é constituída de materiais diferentes, como é o caso dos muros de gravidade com pneus (pneu, solo e material de preenchimento), devem se considerar as áreas de contato de cada um dos materiais constituintes, e seus respectivos atritos de interface, adaptando a fórmula das forças resistentes conforme equação 6.

$$\sum F_{resistentes} = (\gamma HL) (A_1 \cdot \tan \delta'_1 + A_2 \cdot \tan \delta'_2 + A_n \cdot \tan \delta'_n) \quad (6)$$

III. Capacidade de Carga

A condição de estabilidade quanto a capacidade de carga da fundação do muro de gravidade é dada pela razão entre tensão admissível do solo de fundação sobre as tensões máximas geradas pela contenção, também devendo ser verificada a existência de tensões mínimas negativas que indicam tensões de tração no solo. O resultado desta análise é o fator de segurança da capacidade de carga (FS_C), que conforme recomendação da NBR 11682:2009 não deve ser inferior a 3,0. A relação é expressa pela equação 7:

$$FS_C = \frac{\sigma_{admissível}}{\sigma_{máx}} \quad (7)$$

É necessário realizar a verificação das tensões que atuam na base do muro. As equações 8 e 9 definem a obtenção das tensões verticais máximas e mínimas (Figura 13).

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{\Sigma Fv}{L} \left(1 + \frac{6.e}{L} \right) \quad (8)$$

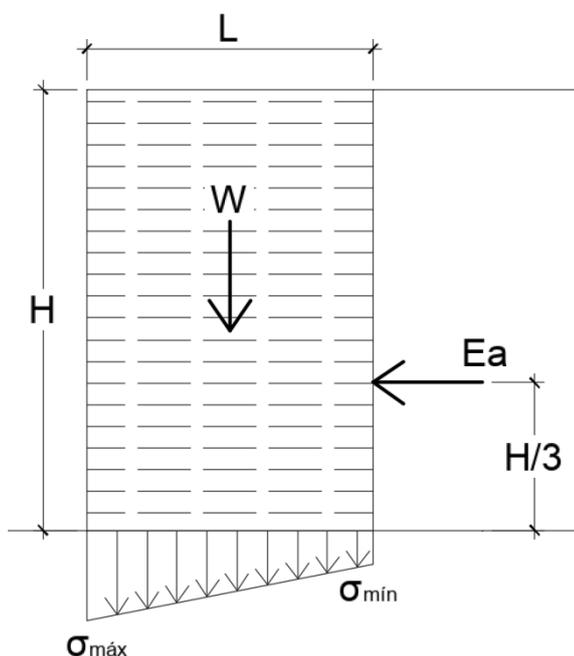
$$\sigma_{m\acute{i}n} = \frac{\Sigma Fv}{L} \left(1 - \frac{6.e}{L} \right) \quad (9)$$

Sendo " ΣFv " o somatório de forças verticais, podendo ser substituído por " W " neste trabalho, e " e " é a excentricidade da resultante das forças na base representado pela equação 10.

$$e = \frac{L}{2} - \frac{\Sigma M}{\Sigma Fv} \quad (10)$$

Sendo " ΣM " o somatório de momentos.

Figura 13: Tensões na fundação do Muro de Gravidade.



Fonte: Próprio Autor.

Também é importante conferir além do fator de segurança, que $\sigma_{m\acute{i}n} > 0$ e $e < L/6$ para evitar tensões de tração na base do muro. Conforme Barros (2013), caso a excentricidade seja maior que $L/6$, ocorre um descolamento de uma porção da base

a montante, resultando numa distribuição triangular das tensões. A pressão máxima passará a ser dada pela equação 11:

$$\sigma'_{m\acute{a}x} = \frac{2.(\Sigma Fv)^2}{3.\Sigma M} \quad (11)$$

Barros (2013) ainda ressalta que se deve evitar esta condição devido à concentração de tensões que gera.

IV. Estabilidade Global

Esta verificação de estabilidade (IV) não será avaliada neste trabalho. Softwares de análise computacional são utilizados para determinação mais ágil e precisa desta condição de estabilidade.

2.4.5. Determinação do empuxo solicitante

O dimensionamento de uma estrutura de contenção estável só é possível a partir do conhecimento das forças e momentos solicitantes, calculados a partir dos dados obtidos dos parâmetros do solo explicitados no tópico 2.4.3. A principal solicitação que age sobre a contenção é o empuxo ativo, definido como a pressão lateral exercida pelo solo a ser contido. O empuxo passivo é definido quando a estrutura de contenção solicita o terreno, e na maioria das obras é tratado como resistência ao esforço causado pelo empuxo ativo, assim podem ser desprezados no dimensionamento, para obtenção de resultados mais conservadores (BOWLES, 1982).

Há duas principais formas de obtenção dos empuxos, uma das teorias formulada por Coulomb e a outra por Rankine, cada uma delas admitindo-se hipóteses simplificadoras (CAPUTO, 1977). Para este trabalho é admitido o uso da teoria de Rankine, visto que a geometria superior é considerada horizontal, e o terrapleno não apresenta sobrecarga. Assim, o empuxo ativo, segundo Rankine, é obtido por meio da equação 12.

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot H \cdot \sqrt{K_a} \quad (12)$$

Sendo, " γ " o peso específico do solo, "H" a altura de contenção, " K_a " o coeficiente de empuxo ativo obtido por meio da equação 13, e "c" o coeficiente de coesão.

$$K_a = tg^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (13)$$

Sendo " φ " o ângulo de atrito interno do solo contido.

2.4.6. Verificações de Estabilidade

Todas as equações e tabelas de correlação devem ser utilizadas com cautela, considerando as peculiaridades de cada local ou terrapleno a ser contido. O presente trabalho visa apresentar dimensionamentos rápidos mais conservadores com base na utilização de dados por experiência de trabalhos anteriores. Situações de alto risco, com elevado desnível ou avançado grau de erosão devem ser avaliados por um engenheiro para dimensionamento preciso.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme NBR 8044:2018, os taludes com menos de 5m, são classificados na categoria 1 de Projetos Geotécnicos. Esta categoria engloba obras pequenas em que se pode assegurar os requisitos de segurança e desempenho serão satisfeitos apenas com base na experiência e em estudos de caracterização geotécnica, bastando realização apenas de estudo preliminar.

Este trabalho propõe a utilização dos parâmetros mais conservadores para definição dos materiais e execução, em detrimento de uma otimização do dimensionamento, porém sempre a favor da segurança, considerando a recuperação do terrapleno nas condições mais desfavoráveis.

3.1. Materiais

3.1.1. Pneus

Para este trabalho foi definido a utilização de pneus de veículos leves para dimensionamento das contenções. As especificações técnicas gravadas no flanco do pneu indicam as dimensões do pneu (Figura 14), além de outros dados sobre a fabricação. Conforme exposto no item 2.3 deste trabalho, devido a elevação de custo, mas principalmente pelo tempo a mais despendido no corte da lateral dos pneus, optou-se pelo dimensionamento para pneus inteiros.

Assim, conforme equação 14 abaixo define-se o diâmetro externo do pneu:

$$D_e = 2 \cdot (L \cdot x) + D_i \quad (14)$$

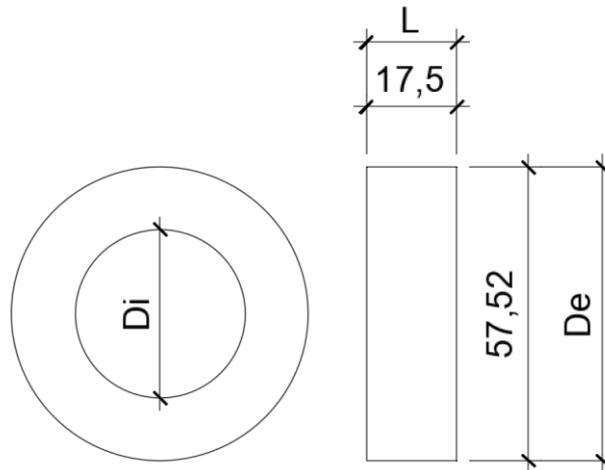
Sendo:

L: Largura da banda de rolagem;

x: Proporção da banda de rolagem para flanco, em porcentagem

Di: Diâmetro interno do pneu

Figura 14: Dimensões do Pneu.



Fonte: Próprio Autor.

Foi selecionado o pneu tipo 175/70 R13 para realização dos dimensionamentos deste trabalho, sendo os números:

- 175 = Largura da banda de rodagem (L) em milímetros, equivalente a 17,50cm.
- 70 = Altura do Flanco (x) em porcentagem, relacionada a Largura da Banda, equivalente a 12,25 cm.
- 13 = Diâmetro interno do Pneu (Di) em polegadas, equivalente a 33,02cm.

O Diâmetro Externo obtido conforme equação 13 é equivalente a 57,52 cm.

Foram tomados os pesos (Figura 15) de três pneus de mesmas dimensões (175/70 R13), a média das massas obtidas foi de 5,59kg. Alguns pneus apresentaram massa maior devido a terem estrutura mais rígida, pelo reforço de aço por exemplo, ocasionando o peso maior. Será considerado neste trabalho o pneu de menor peso, 5,44 kg, visando dimensionamento mais conservador.

Figura 15: Pesagem do Pneu.



Fonte: Próprio Autor.

Foi tomado o volume interno (Figura 16) de três pneus de mesmas dimensões (175/70 R13), vedando a parte inferior dos pneus com silicone sobre uma placa com lona, preenchendo o pneu com água até a borda superior com uso de provetas. Os volumes obtidos resultaram na média de 41360cm^3 , foi adotado o valor de 41000cm^3 o dimensionamento neste trabalho.

Figura 16: Obtenção do volume interno do Pneu.



Fonte: Próprio Autor.

3.1.2. Material de Preenchimento

A premissa adotada para seleção dos materiais de preenchimento considerados neste trabalho foi a de apresentarem fácil obtenção no ramo das obras civis, sendo estes materiais a areia, a brita ou o próprio solo do talude a ser contido.

Das areias, consideradas como solos granulares sem coesão, foram tomados os menores ângulos de atrito dos intervalos apresentados no item 2.4.3, estabelecendo premissas mais conservadoras para o dimensionamento.

Tabela 3: Ângulos de Atrito Interno Adotados.

Compacidade	Nspt	Atrito
Muito Solto (Muito Fofa)	<4	25
Solto (Fofa)	4-10	30
Médio (Média)	10-30	35
Denso (Compacta)	30-50	40
Muito Denso (Muito Compacta)	>50	45

Fonte: Adaptado da Tabela 1.

Também foram tomados os pesos específicos conforme apresentados no item 2.4.3.

Tabela 4: Pesos Específicos Adotados.

Compacidade	Peso Específico
Fofa (Muito Fofa)	16
Pouco Compacta (Fofa)	16
Medianamente Compacta (Média)	17
Compacta (Compacta)	18
Muito Compacta (Muito Compacta)	18

Fonte: Adaptado da Tabela 2.

Referente a brita, Domingues (2006) definiu em seu trabalho que é conservativo adotar 38° como ângulo de atrito interno das britas, sendo este ângulo o menor dos valores entre as britas consideradas (Brita 0). Assim mesmo utilizando britas de

maior dimensão, adotar 38° será a favor da segurança. O peso específico adotado das britas é de 26 kN/m^3 , valor comercial das britas graníticas.

Está sendo adotado o limite inferior da faixa recomendada por O'Shaughnessy (1997) para relação entre o ângulo de atrito interno e o ângulo de atrito de interface. Assim, para obter os ângulos de atrito de interface entre os materiais, foi feita a multiplicação do ângulo de atrito interno por 0,75.

3.1.3. Talude ou Retroaterro

Para o solo do talude ou retroaterro a ser contido pelo muro de gravidade a premissa do trabalho está em dimensionar a contenção apenas para solos granulares, desconsiderando ação da coesão presente em solos argilosos. Também não foi considerado sobrecarga sobre o talude, assim o empuxo ativo é dado pela equação 11, no tópico 2.4.5.

Assim, desconsiderando a parcela de coesão da fórmula, o empuxo ativo do terrapleno contido passa a ser maior, logo o dimensionamento da contenção será mais a favor da segurança.

Adota-se neste trabalho os mesmos valores de ângulo de atrito e de peso específico apresentados para o material de preenchimento no tópico 3.1.2.

3.2. Métodos

3.2.1. Preenchimento dos Pneus

Um parâmetro que precisava ser determinado ao considerar o uso de pneus inteiros, é o peso específico do conjunto material-pneu, influenciado diretamente pela porcentagem de preenchimento do pneu com o material granular. Este fator é muito influenciado pela execução de campo, visto que varia em função de como o solo é lançado, se houve espalhamento controlado do material, vibração, compactação.

Desta forma, foi realizado ensaio simplificado para obter a porcentagem de preenchimento do pneu em 3 condições de execução: 1) Simples lançamento do

material de preenchimento; 2) Lançamento do material com controle do espalhamento lateral; 3) Lançamento com espalhamento e compactação.

O solo utilizado como material de preenchimento é de local previsto para execução de uma intervenção de contenção, em Serra-ES, e apresenta densidade aparente seca de $17,74 \text{ kN/m}^3$.

O procedimento é feito pelo preenchimento do pneu seguindo as condições de execução propostas e pesando o conjunto material-pneu (Figura 17). Descontando-se o peso do pneu, obtém-se o peso da quantidade de material utilizado. Conhecendo-se o volume interno disponível, e o peso específico do material de preenchimento, obtém-se a porcentagem de preenchimento.

Figura 17: Pesagem do Conjunto Material-Pneu.



Fonte: Próprio Autor.

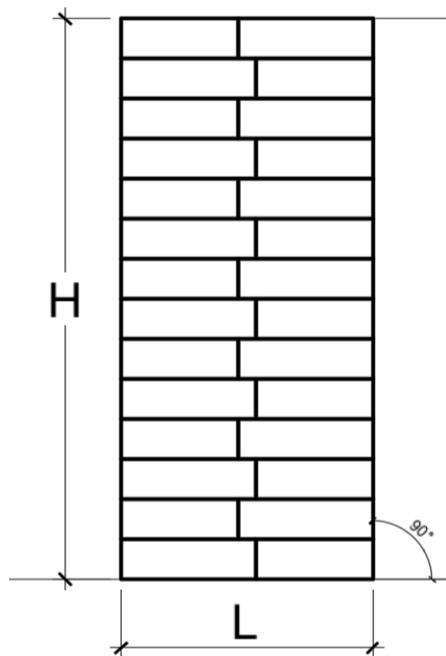
Exemplificando a condição 1 de preenchimento, o peso do conjunto material-pneu totalizou $38,90 \text{ kg}$, conforme Figura 18. Descontando se o peso do pneu que foi considerado neste trabalho ($5,44 \text{ kg}$), obtém-se $33,46 \text{ kg}$ de material de preenchimento, com a densidade aparente seca de $1,744 \text{ g/cm}^3$, o volume preenchido pelo material foi de 18.861 cm^3 . Como o volume disponível definido neste trabalho para o pneu de $175/70 \text{ R13}$ é de 41.000 cm^3 , o resultado é um preenchimento de 46% .

A porcentagem de preenchimento para as condições 2 e 3 definidas foi de 56% e 62%. Considerando no dimensionamento à execução de campo mais desfavorável, não havendo controle sobre o espalhamento, compactação ou vibração do material de preenchimento, foi adotado a porcentagem de preenchimento de 46% para determinação do peso específico do conjunto.

3.2.2. Geometria

A geometria definida para a contenção de pneus é de altura uniforme conforme quantidades de camadas de pneus calculada, com largura uniforme conforme quantidades de colunas de pneu, dimensionadas neste trabalho entre 1 a 3 colunas, e inclinação de face jusante e montante de 90° (Figura 18). Conforme item 2.2 deste trabalho, recomenda-se a execução de drenagem na crista e pé a contenção, assim como a execução e dreno vertical na face montante da contenção, não representada na figura.

Figura 18: Corte Tipo da Seção do Muro.

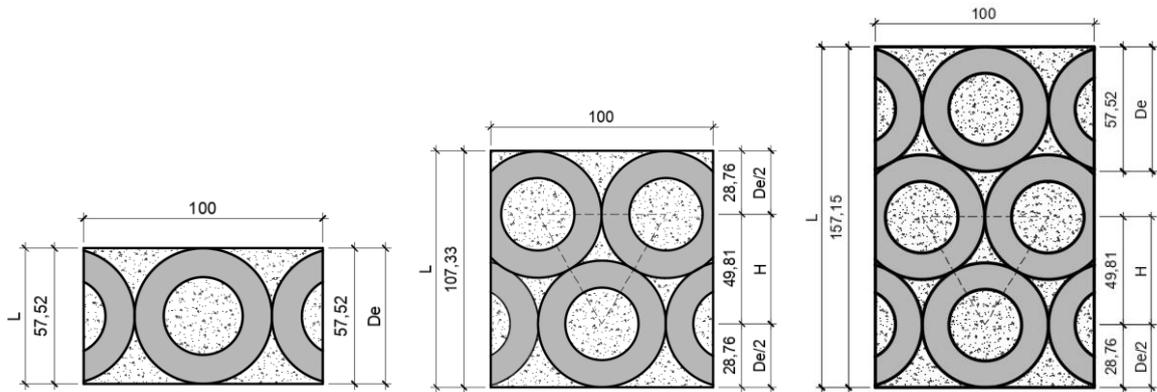


Fonte: Próprio Autor.

A disposição dos pneus na mesma camada é feita de forma contígua, com distribuição ortorrômbica, visando diminuir os espaços entre os pneus, conforme

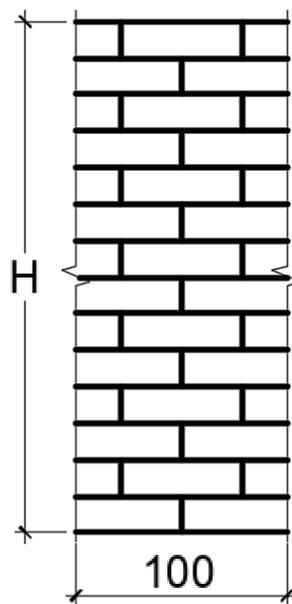
Figura 19. Entre camadas sobrepostas, a camada acima alinha o meio do pneu, na linha de encontro entre pneus da camada de baixo (Figura 20), assim como é feito com blocos em paredes de alvenaria, visando maior estabilidade da contenção.

Figura 19: Vista Superior da Camada de Base.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 20: Vista Frontal do Muro de Contenção.



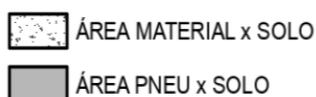
Fonte: Próprio Autor.

A Figura 19 destaca a formação de um triângulo equilátero entre colunas de pneus devido a disposição que eles se encontram, este triângulo nos permite calcular a largura da contenção, resultando na equação 15, sendo "n" o número de colunas.

$$L = D_e + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot D_e(n - 1) \quad (15)$$

Também relacionado a geometria da solução é importante definir a área da base, conforme tópico 2.4.4 - II, para calcular a segurança quanto a deslizamento, é necessário obter as áreas de interface de contato na base entre os diferentes materiais. Para os cálculos de dimensionamento convencionou-se uma seção de 1 metro de comprimento, e contenção de até 3 colunas de pneus. Na figura 19, estão hachuradas, conforme legenda da figura 21, as áreas por meio do software AutoCAD, de onde foram obtidos as áreas de contato material-solo e pneu-solo.

Figura 21: Legenda da Área de Interface.



Fonte: Próprio Autor.

Destaca-se que não foi escopo deste trabalho a realização de análise de estabilidade interna contra deslizamento da contenção. A estabilidade contra deslizamento entre camadas adjacentes deve ser verificada com posse de dados do ângulo de atrito da interface de contato entre os flancos de pneus. Com este dado e as áreas de contato entre camadas, é calculado a fraca resistente contra o deslizamento. Não foi possível obter o dado do ângulo de atrito citado com precisão no tempo disponível para este projeto.

3.2.3. Fatores de Segurança

Os fatores de segurança adotados para este trabalho são mais conservadores do que os sugeridos por O'Shaughnessy (1997). Com base no tópico 2.4.4., onde explicitado os fatores de segurança convencionais adotados para cada uma das verificações, expõe-se abaixo os utilizados neste trabalho:

- Segurança contra o tombamento: 2,0.
- Segurança contra o deslizamento: 1,5.
- Segurança da Capacidade de Carga: 2,0.

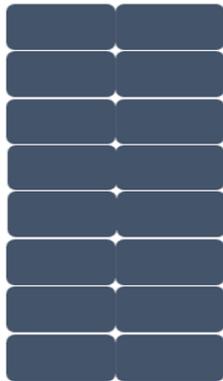
O fator de segurança da capacidade de carga foi adotado menor que da norma, pois o dimensionamento deste muro e pneus apresenta peso específico do conjunto menor comparado a outros muros de gravidade. O fator de segurança 3,0 invalidou muitas soluções quando aplicado a distribuição de carga proposta por Barros (2013).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para desenvolvimento do dimensionamento da contenção foi desenvolvida uma planilha de cálculo com 3 abas. A primeira aba chamada de "interface", onde é possível fazer a entrada de dados básicos, selecionando o Solo Tipo do talude a ser contido, o Material de Preenchimento que será utilizado, e a Altura da Contenção necessária (Figura 22).

Figura 22: Planilha - Aba Interface.

Pneu Tipo	
175/70 R13	
Solo Local	
Muito Compacta	
Altura Contenção (cm)	
150	
Material Preenchimento	
Solo Local	
Altura	Largura
8	2
<input type="button" value="Dimensionar"/>	
Comprimento Erosão (cm)	
400	
Pneus Necessários	
112	



Interface Fórmulas Dados +

Fonte: Próprio Autor.

A segunda aba, chamado de "Dados" (Figura 23), funciona como consulta para a aba de cálculos, mas pode ter suas tabelas de materiais de preenchimento e de solo local implementadas com novos dados para enriquecer os parâmetros de dimensionamento.

Figura 23: Planilha - Aba Dados.

	A	B	C	D
1	Solo Local	Massa Específica [g/cm³]	Ang Atrito [°]	Tensão Adm. [kN/m²]
2	Fofa	1,6	25	50
3	Pouco Compacta	1,6	30	100
4	Media Compacta	1,7	35	200
5	Compacta	1,8	40	300
6	Muito Compacta	1,8	45	500
7				
8				
9				
10	Material Preenchimento	Massa Específica [g/cm³]	Ang Atrito [°]	
11	Solo Local	1,6	30	
12	Brita	2,6	38	
13	Areias	1,7	30	
14				

Interface Fórmulas Dados +

Fonte: Próprio Autor.

A terceira aba, chamada de "Fórmulas" é onde é feito todo o processamento de dados. Obtendo informações da primeira e da segunda aba, é preenchida a coluna C com entrada de dados (Figura 24).

Figura 24: Planilha - Aba Fórmulas.

	A	B	C	D	E
1		Dados Pneu			
2		Pneu Tipo:	175/70 R13		
3		Altura Banda:	17,5 cm		
4		Parede Lateral:	12,25 cm		
5		Diâmetro Interno:	33,02 cm		
6		Diâmetro Externo:	57,52 cm		
7		Peso Pneu:	5440 g		
8		Volume Interno:	41000 cm ³		
9		Volume Útil:	46%		
10		Dados Solo Local			
11		Solo Tipo:	Pouco Compacta		
12		Altura Contenção:	70 cm		
13		Peso Esp. Solo Contido:	1,6 g/cm ³		
14		Ang. Atrito:	30 °		
15		Tensão Admissível:	100 kN/m ²		
16		Dados Material Preenchimento			
17		Material Preenchimento:	Solo Local		
18		Peso Específico:	1,6 g/cm ³		
19		Peso Material:	30176 g		
20		Ang. Atrito Material:	30 °		
21					
22		Cálculos Iniciais			
23		Peso Material-Pneu:	35616 g		
24		Peso Esp. Conjunto:	0,78 g/cm ³		
25		Ka=	0,3333		
26		Atrito de Interface			
27		Atrito Material-Solo:	22,5 °		
28		Atrito Pneu-Solo:	22,5 °		
29					
30			Calculado		
31			Dado Importado		
32			Dado Fixo		
33					

Fonte: Próprio Autor.

Nas demais colunas da aba "Fórmulas" (Figura 25) é feito a verificação conforme apresentado anteriormente neste trabalho da segurança para tombamento, deslizamento e capacidade de carga para solução de 1, 2 ou 3 colunas de pneus, retornando se cada uma delas se atende ou não o fator de segurança definido.

Figura 25: Planilha de Verificações de Estabilidade para 3 Colunas de Pneu.

	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1													
2		1 Coluna				2 Colunas				3 Colunas			
3													
4		$\sigma_{ativ} =$	4,632	kN/m		$\sigma_{ativ} =$	4,632	kN/m ²		$\sigma_{ativ} =$	4,632	kN/m ²	
5		Ea =	3,47	kN		Ea =	3,47	kN/m		Ea =	3,47	kN/m	
6		W =	7,473			W =	13,945			W =	20,417		
7		FS Tombamento:	1,24			FS Tombamento:	4,31			FS Tombamento:	9,23		
8		Tombamento:	ERRO			Tombamento:	OK!			Tombamento:	OK!		
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21		Largura	57,52	cm		Largura	107,33	cm		Largura	157,15	cm	
22		Área:	5752	cm ²		Área:	10733	cm ²		Área:	15715	cm ²	
23		Área Material-Solo:	2644	cm ²		Área Material-Solo:	4541	cm ²		Área Material-Solo:	6415	cm ²	
24		Área Pneu Solo:	3108	cm ²		Área Pneu Solo:	6192	cm ²		Área Pneu Solo:	9300	cm ²	
25													
26		% Solo	46%			% Solo	42%			% Solo	41%		
27		%Pneu	54%			%Pneu	58%			%Pneu	59%		
28		Coef. Atr. Solo	0,23			Coef. Atr. Solo	0,21			Coef. Atr. Solo	0,20		
29		Coef. Atr. Pneu	0,27			Coef. Atr. Pneu	0,28			Coef. Atr. Pneu	0,29		
30		Coef. Atr. Conj.	0,49			Coef. Atr. Conj.	0,49			Coef. Atr. Conj.	0,49		
31		F Atrito:	3,69	kN		F Atrito:	6,88	kN		F Atrito:	10,07	kN	
32													
33		FS Desliz.:	1,06			FS Desliz.:	1,98			FS Desliz.:	2,90		
34		Deslizamento:	ERRO			Deslizamento:	OK!			Deslizamento:	OK!		
35													
36		Largura	0,575	m		Largura	1,073	m		Largura	1,571	m	
37		Somatório Peso	7,473	kN		Somatório Peso	13,945	kN		Somatório Peso	20,417	kN	
38		Somatório Momento	1,737	kN.m		Somatório Momento	1,737	kN.m		Somatório Momento	1,737	kN.m	
39													
40		e	0,055			e	0,412			e	0,701		
41		Tensão Máx.	20,47	kN/m		Tensão Máx.	42,92	kN/m		Tensão Máx.	47,75	kN/m	
42		Tensão Mín.	5,52	kN/m		Tensão Mín.	-16,94	kN/m		Tensão Mín.	-21,76	kN/m	
43		Tensão Máx. Nova		kN/m		Tensão Máx. Nova	74,63	kN/m		Tensão Máx. Nova	159,98	kN/m	
44		FS Carga	24,430			FS Carga	6,700			FS Carga	3,125		
45		Capacidade Carga:	OK!			Capacidade Carga:	OK!			Capacidade Carga:	OK!		
46													
47													
48													
49													

Fonte: Próprio Autor.

A informação que retorna da aba "Fórmulas" para aba "Interface" é a quantidade de camadas e colunas de pneus, da solução com menor quantidade de colunas necessárias para atender às 3 verificações de estabilidade. Clicando no botão "Dimensionar" da aba "Interface" é apresentada uma ilustração da solução estável (Figura 22), com as camadas e colunas de pneus, ao lado da entrada de dados. E caso seja fornecido o comprimento do talude a ser contido, também é retornada a quantidade de pneus necessários para executar a solução.

Quando a altura do dado de entrada do talude não é atendida por nenhuma das quantidades de camadas e colunas de pneu propostas neste trabalho, a aba "Interface" retorna no campo de Camadas e Colunas a palavra "BERMA". Este retorno indica a sugestão de ser dividida a altura a ser contida em 2 ou 3 alturas

menores, executando-se bermas (plataformas) entre as contenções. A largura de berma sugerida é de pelo menos 1,5m, conforme especificado na NBR 9061:1985.

Para obtenção das alturas estáveis, foi feita na aba “Análise”, o dimensionamento para cada combinação de Solos Locais e Materiais de Preenchimento, considerando diferentes alturas em unidades de 17,5 cm (altura do pneu), o que representa também a altura de cada camada de pneus. Na Figura 26 é exemplificado o dimensionamento realizado para a combinação do solo de areia média compacta e material de preenchimento do solo do próprio local.

Figura 26: Estabilidade Contenção Média Compacta x Solo Local.

		17,5	35	52,5	70	87,5	105	122,5	140	157,5	175	192,5	210	227,5	245	262,5	280	297,5	315	332,5	350	367,5	385
FS TOMBAMENTO	1 COL.	58,0	14,5	6,4	3,6	2,3	1,6	1,2	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
	2 COL.	202	50,5	22,4	12,6	8,1	5,6	4,1	3,2	2,5	2,0	1,7	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4
	3 COL.	433	108	48,1	27,1	17,3	12,0	8,8	6,8	5,3	4,3	3,6	3,0	2,6	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9
FS DESGLIZAMENTO	1 COL.	5,8	2,9	1,9	1,5	1,2	1,0	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	2 COL.	10,8	5,4	3,6	2,7	2,2	1,8	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
	3 COL.	15,9	7,9	5,3	4,0	3,2	2,6	2,3	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7
FS CARGA	1 COL.	1,8	3,6	5,4	7,2	9,0	10,7	13,5	13,2	7,0	4,4	3,0	2,1	1,6	1,2	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
	2 COL.	0,5	1,0	1,5	2,1	2,6	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1	5,7	6,2	7,2	9,1	6,9	4,8	3,6	2,7	2,2	1,8	1,5	1,2
	3 COL.	0,2	0,5	0,7	1,0	1,2	1,4	1,7	1,9	2,2	2,4	2,6	2,9	3,1	3,4	3,6	3,8	4,1	4,4	4,9	5,6	6,3	4,7
			OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!		OK!	OK!												

Fonte: Próprio Autor.

Como é possível observar pelo “OK!” na última linha na Figura 26, apenas 8 alturas de contenção passaram nas três verificações de estabilidade desta combinação, apresentando fatores de segurança maiores que os pré estabelecidos neste trabalho. Percebe-se também, que a altura de 140 cm (8 camadas de pneus), com 3 colunas de pneus não atendeu ao fator de segurança de capacidade de carga, logo, não foi validado o dimensionamento com esta altura.

Com isso foi possível verificar que a estabilidade não é garantida apenas pelo aumento do peso conjunto-solo, mas sim pela relação de equilíbrio entre os esforços solicitantes e os esforços resistentes. A medida que o peso aumenta, sem aumento da quantidade de colunas de pneus, responsável pela dimensão da área da base, tem-se que a tensão aplicado no solo de fundação ultrapassa o fator de segurança de capacidade de carga estabelecido para a tensão admissível do solo. Sendo assim, é importante verificar não apenas as alturas máximas das contenções, mas também as alturas mínimas, em função da largura e área da base.

Abaixo, na Figura 27, é ilustrado o dimensionamento realizado para a combinação do solo de areia muito compacta e material de preenchimento de brita. Esta combinação mostrou-se nos dimensionamentos realizados neste trabalho como a adequada para estabilidade das maiores alturas.

Figura 27: Estabilidade Contenção Muito Compacta x Brita.

		17,5	35	52,5	70	87,5	105	122,5	140	157,5	175	192,5	210	227,5	245	262,5	280	297,5	315	332,5	350	367,5	385
FS TOMBAMENTO	1 COL.	125,7	31,4	14,0	7,9	5,0	3,5	2,6	2,0	1,6	1,3	1,0	0,9	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
	2 COL.	438	109	48,6	27,4	17,5	12,2	8,9	6,8	5,4	4,4	3,6	3,0	2,6	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9
	3 COL.	938	235	104,3	58,6	37,5	26,1	19,2	14,7	11,6	9,4	7,8	6,5	5,6	4,8	4,2	3,7	3,2	2,9	2,6	2,3	2,1	1,9
FS DESILZAMENTO	1 COL.	13,8	6,9	4,6	3,5	2,8	2,3	2,0	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6
	2 COL.	25,8	12,9	8,6	6,5	5,2	4,3	3,7	3,2	2,9	2,6	2,3	2,2	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2
	3 COL.	37,8	18,9	12,6	9,5	7,6	6,3	5,4	4,7	4,2	3,8	3,4	3,2	2,9	2,7	2,5	2,4	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7
FS CARGA	1 COL.	1,4	2,8	4,3	5,7	7,1	8,5	10,0	11,4	12,8	14,8	19,5	13,8	9,0	6,4	4,7	3,6	2,9	2,3	1,9	1,6	1,3	1,1
	2 COL.	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,5	2,9	3,3	3,7	4,1	4,5	4,9	5,3	5,7	6,1	6,5	6,9	7,4	8,2	9,5	11,1	8,2
	3 COL.	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2
		OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!

Fonte: Próprio Autor.

Na combinação de materiais acima (Figura 27), foram 20 alturas de contenção validadas pelas três verificações de estabilidade: de 2 a 21 camadas de pneus. Percebe-se também, que a altura de 17,5 cm (1 camada de pneu) e 385 cm (22 camadas de pneus) não passaram nas verificações. Sendo 367,5 cm a altura máxima estável para execução das contenções conforme premissas estabelecidas neste trabalho.

Abaixo é apresentado Tabela 5, de quantidade de camadas de pneus estáveis, obtidas pelo dimensionamento realizando combinação de diferentes Solos Tipo e Materiais de Preenchimento.

Tabela 5: Camadas Estáveis para Solos Tipo x Materiais Preenchimento.

	Solo Local	Areias	Brita
Fofa	-	-	-
Pouco Compacta	2	2	-
Media Compacta	2 a 7 ; 9 a 10	2 a 6	3 a 5 ; 9 a 10
Compacta	1 a 13	1 a 10	2 a 19
Muito Compacta	1 a 16	1 a 13	2 a 21

Fonte: Próprio Autor.

Os campos na Tabela 5 que na combinação entre Solo Local e Material de preenchimento estão sem dados, representado por um traço ("-"), significa que no dimensionamento não foi encontrado quantidade de camadas que atendesse simultaneamente às tres condições de estabilidade verificadas, como é o caso, por exemplo, do talude constituído de areia fofa, indicando inviabilidade de execução estável. Também para o caso do talude constituído de areia pouco compacta, fica inviável para execução de contenções dado sua pequena altura de 35 cm apenas. Para estas situações sugere-se a execução de retroaterro a montante da contenção de forma a obter compacidade maior, permitindo utilização das soluções tabeladas para areias média compacta, compacta ou muito compacta. Outra solução possível é o melhoramento de solo da fundação da contenção, aumentando sua capacidade de carga.

5. CONCLUSÃO

Este projeto de graduação apresenta uma avaliação de estabilidade de contenções emergenciais utilizando pneus inservíveis, ou seja, contenções de terraplenos com risco de deslizamento iminente precisando de intervenção rápida, sendo assim dimensionados adotando correlações entre parâmetros do solo, visando a execução das contenções no menor tempo possível, evitando deslizamentos até a definição de uma contenção definitiva.

O referencial teórico conceitua sobre pneus, estruturas de contenção e etapas de dimensionamento do muro com pneus, apresentando em materiais e métodos quais premissas foram adotadas neste trabalho.

Em cada dado de entrada para dimensionamento do terrapleno emergencial foram adotados valores conservadores, sempre a favor da segurança na verificação de estabilidade. O pneu considerado foi do tipo 175/70 R13, utilizado inteiro (sem corte da lateral do pneu). O solo do terrapleno foi considerado como granular, sem coesão, sem sobrecarga e sem fluxo d'água, enquanto o material de preenchimento foi considerado como solo do próprio local, areia ou brita. Os dados de ângulo de atrito e peso específico do solo e do material de preenchimento foram obtidos por correlações com a compactidade e com os resultados de sondagem.

A porcentagem de preenchimento do pneu foi obtido por meio de ensaio, onde 46% de preenchimento representa uma condição de execução na qual o material de preenchimento é lançado, sem espalhamento e sem compactação. A geometria adotada para preenchimento foi de disposição ortorrômbica dos pneus, dispostos em camadas com as faces da contenção a 90° (Muro Vertical). O trabalho considera a verificação de estabilidade contra tombamento do muro (FS: 2,0), deslizamento da base (FS: 1,5) e capacidade de carga do solo de fundação (FS: 2,0).

Os resultados obtidos do dimensionamento de todas as combinações de solo local e material de preenchimento validaram a execução de contenção emergencial para taludes de material granular com compactidade de média compacta a muito compacta. Outro resultado foi à inviabilidade de execução de muros com solo de talude fofo ou pouco compacto, de acordo com as premissas adotadas neste

trabalho, devendo para estes casos ser feito retroaterro ou melhoramento do solo de fundação.

A solução de contenção de talude com material granular muito compacto e material de preenchimento de brita demonstrou ser a mais adequada para vencer maiores alturas, podendo ser executada em até 21 camadas de pneu (3,67m). Destaca-se que não apenas as alturas máximas devem ser analisadas, mas também as alturas mínimas e alturas intermediárias, pois existem lacunas de estabilidade em virtude da relação entre esforços solicitantes e esforços resistentes na verificação de capacidade de carga da fundação. Com isso o trabalho resultou em tabela de consulta rápida da quantidade de camadas de pneus (altura) considerados seguros quanto a estabilidade para cada combinação de solo do talude e material de preenchimento.

Teve-se como resultado também a planilha para o dimensionamento das contenções emergenciais com possibilidade de entrada de novos dados de parâmetro do solo e materiais de preenchimento, enriquecendo as variáveis para dimensionamentos mais arrojados.

Devido à quantidade de variáveis possíveis de serem consideradas e alteradas no dimensionamento de contenções, principalmente quanto a contenções de pneu, este trabalho procurou validar a estabilidade de contenções emergenciais adotando os parâmetros do solo mais desfavoráveis, obtendo assim um dimensionamento extremamente conservador em detrimento de soluções de projeto mais arrojadas, porém validando a execução de contenções emergenciais conforme apresentados. Frisando que taludes de alto risco, com elevado desnível ou avançado grau de erosão devem ser avaliados por um engenheiro para dimensionamento preciso.

5.1. Sugestão de trabalhos futuros

Em complementação ao dimensionamento realizado neste projeto, sugere-se a verificação da estabilidade ao deslizamento também entre as camadas do muro de contenção de pneus.

Ainda conforme apresentado neste trabalho, recomenda-se a realização de testes de estabilidade avaliando outras variáveis não consideradas neste trabalho, como outros tipos de pneus, inclinações de contenção, outros solos, compactação de material de preenchimento, sobrecarga no talude.

6. REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8044:2018**: Projeto Geotécnico - Procedimento. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9061:1985**: Segurança de escavação a céu aberto. Rio de Janeiro, 1985.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS. **A Fabricação do Pneu**. Disponível em: <<https://www.anip.org.br/fabricacao/>>. Acesso em 14 de janeiro de 2023.

BARONI, M. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de pneus inservíveis como material de construção de estruturas de contenção arrimadas**. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí-RS, 2007.

BARROS, Pécio Leister de Almeida, **Obras de Contenção**: Manual Técnico. Jundiaí: Maccaferri do Brasil, 2013. Disponível em: < https://marcosporto.eng.br/wp-content/uploads/2018/02/TM-_-BR-_-Manual-Obras-de-Contenção-_-PT-_-Feb21.pdf> Acesso em: 14 de jan. 2023.

CAPPI, Dauton Marcelo. **Recuperação Ambiental de Áreas Erodidas como Alternativa de Destino Final de Pneus Inservíveis**. 2004. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ, Universidade de São Paulo – USP, Piracicaba, 2004.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações**. 5a. ed. rev. e amp. Rio de Janeiro: LTC, 1977. 456 p. v. 2.

CASTRO, A. L. C. **Manual de desastres: desastres naturais**. Brasília: MIN, 2003. 115p. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/Arquivos/DefesaCivil/Arquivos/PDF/publicacoes/Desastres_Naturais_Voll.pdf> Acesso em: 14 de jan. 2023.

CUSTÓDIO, Gisele Santos. **Investigação e análise de parâmetros geotécnicos obtidos com ensaios de laboratório e ensaios in situ (DMT, PMT, SPT, PDM)**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

DOMINGUES, Tiago Sarmiento Sabino. **Reforço de Fundações com Colunas de Brita em Aterros sobre Solos Moles**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

FANTIN, Elvira. **Bloqueios por deslizamentos nas estradas causam prejuízo de R\$ 60 mi por dia no Paraná.** Paraná: Gazeta do Povo, 2022. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/parana/bloqueio-estradas-prejuizo-transporte-de-cargas/>>. Acesso em: 14 jan. 2023.

GERSCOVICH, Denise; SARAMAGO, Robson; DANZIGER, Bernadete Ragoni. **Contenções: Teoria e aplicações em obras.** 2a. ed. rev. e atual. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. 320 p.

HACHICH et al. **Fundações: teoria e prática**, 2. Ed. São Paulo, SP. Pini, 1998. ISBN 85-7266-098-4, 1998. 750p

MACEDO, Eduardo Soares de; SANDRE, Lucas Henrique. Mortes por deslizamentos no Brasil: 1988 a 2022. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, v.12, n.1, p.110-117, 2022.

MEDEIROS, L. V.; SAYÃO, A.de 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. Seminário Nacional sobre Reuso/Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais. São Paulo, 2000. v. 1. p. 1-20.

MEYERHOF, G. G. Penetration Test and Bearing Capacity of Cohesionless Soils. **Journal of the Soil Mechanics Division.** v.82, p.1-12, 1956.

MOLITERNO, Antonio. **Caderno de Muros de Arrimo.** 2a. ed. rev. São Paulo: Blucher, 1994. 196 p.

MORENO, Sayonara. **Brasil descarta, por ano, mais de 450 mil toneladas de pneus.** Agência Brasil: [s. n.], [2022]. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/geral/audio/2022-07/brasil-descarta-por-ano-mais-de-450-mil-toneladas-de-pneus>. Acesso em: 14 jan. 2023.

O'SHAUGHNESSY, V. **Reinforcement of earth structures using scrap tires.** 1997. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculty of Engineering, University of Ottawa, Ottawa, Canadá, 1997.

PARRA, C. V.; NASCIMENTO, A. P. de; FERREIRA M. L. **Reutilização e Reciclagem de Pneus, e os Problemas Causados por sua Destinação Incorreta.** In: XIV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e X Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, 2011, Universidade Vale do Parnaíba.

PIMENTA, Anderson Augusto Guerin. **Obtenção de parâmetros para estudo de dimensionamento de um muro de contenção com pneus e coprodutos siderúrgico de aciaria.** 98 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. 2019.

POLIDO, Uberescilas F.; CASTELLO, Reno R. **Investigação Geotécnica**. 1a ed. rev. Vitória: [s. n.], 1997.

SILVA, D. F. M. **Contenção de taludes com pneus: uma alternativa ecológica e de baixo custo**. Universidade Anhembi Morumbi, graduação do curso de engenharia civil, São Paulo, SP. 2006

VERTEMATTI, J. C. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

Você conhece as partes do pneu do seu carro? Aprenda agora mesmo. Texto disponibilizado em 25 de outubro de 2021. Disponível em: <<https://www.blog.acheipneus.com.br/post/partes-do-pneu-e-funcoes>>. Acesso em: 16 de janeiro de 2023.

Descarte irregular de pneus é encontrado em Jacaraípe, na Serra. Texto disponibilizado em 24 de novembro de 2022. Disponível em: <<https://www.folhavoria.com.br/geral/noticia/11/2022/descarte-irregular-de-pneus-e-localizado-em-jacaraipe-na-serra>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2023.

O que é a cortina atirantada. Texto disponibilizado em 15 de janeiro de 2021. Disponível em: <<https://talusengenharia.com.br/o-que-e-a-cortina-atirantada/>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2023.

Utilização de pneus usados na construção de cabeceiras de pontes - solução barata e ecologicamente correta. Texto disponibilizado em 22 de março de 2021. Disponível em: <<https://www.ecopontes.com.br/blog/aplicacao-de-kits-ecopontes-com-cabeceiras-e-encontros-em-pneus-usados-a-ponte-mais-economica-ja-construida/>>. Acesso em: 23 de janeiro de 2023.