



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ – UFOPA
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

DANIELLA HELLEM MELO PORTO

MURO DE CONTENÇÃO COM PNEUS INSERVÍVEIS

ITAITUBA/PA

2024

DANIELLA HELLEM MELO PORTO

MURO DE CONTENÇÃO COM PNEUS INSERVÍVEIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Unidade Acadêmica de graduação, curso de
Engenharia Civil/ CITB, para obtenção de grau de
Bacharel em Engenharia Civil.
Universidade Federal do Oeste do Pará, campus
Itaituba - CITB
Orientador Prof.º Me. Andrews Malone Pontes da
Costa

ITAITUBA/PA

2024

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/Ufopa

P853m Porto, Daniella Hellem Melo
Muro de contenção com pneus inservíveis./ Daniella Hellem Melo Porto. –
Itaituba, 2024.
75 p.: il.
Inclui bibliografias.

Orientador: Andrews Malone Pontes da Costa.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do
Oeste do Pará, Campus Universitário de Itaituba, Bacharelado em Engenharia
Civil.

1. Estruturas de contenção. 2. Muro de arrimo. 3. Solos. I. Costa, Andrews
Malone Pontes da, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 640



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ITAITUBA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao décimo primeiro dia do mês de outubro do ano de dois mil e vinte e quatro, às 16h, realizou-se no auditório do Campus Universitário de Itaituba, a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso da discente **Daniella Hellen Melo Porto**, intitulado: **“Muro de contenção com pneus inservíveis”**, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Os trabalhos foram conduzidos pelo professor **Andrews Malone Pontes da Costa**, orientador do discente e presidente da Banca Examinadora, constituída também pelos membros convidados, o professor **Hiberlth Rogério Rocha Viana** e o professor **Mikhail de Araújo Santhyago**. Após apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso, a Banca Examinadora passou à arguição do discente. Encerrados os trabalhos de arguição, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre a apresentação e defesa oral do discente, considerando-o aprovado com nota 10. Proclamados os resultados pelo presidente da Banca, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu, Andrews Malone Pontes da Costa, na qualidade de professor orientador do Trabalho de Conclusão de Curso avaliado, lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da Banca Examinadora.

Itaituba - PA, 11 de outubro de 2024.

Presidente/orientador(a): _____

Membro: _____

Membro: _____

Daniella Porto

DANIELLA HELLEM MELO PORTO

MURO DE CONTENÇÃO COM PNEUS INSERVÍVEIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Unidade Acadêmica de graduação, curso de
Engenharia Civil/ CITB, para obtenção de grau de
Bacharel em Engenharia Civil.
Universidade Federal do Oeste do Pará, campus
Itaituba - CITB

Conceito: _____

Data da aprovação: ____/____/____

Me. Andrews Malone Pontes da Costa – Orientador
Universidade Federal do Oeste do Pará- UFOPA

Prof. Esp. Hilberth Rogério Rocha Viana
Universidade Federal do Oeste do Pará- UFOPA

Me. Mikhail de Araújo Santhyago
Universidade Federal do Oeste do Pará- UFOPA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pela saúde, força e sabedoria em cada passo dessa jornada.

À minha mãe, Francinéia Melo Porto, por ter sido um exemplo de mulher batalhadora e por sempre ter me incentivado a estudar e trabalhar para alcançar meus objetivos.

À Angela Lucia, por ser uma pessoa muito especial na minha vida.

Ao meu pai, Luiz Lourenço da Silva que sempre acreditou em mim e sempre me incentivou a alcançar meus objetivos.

A minha filha, Alice Porto Frazão, por ser a razão da minha vida.

Ao meu noivo, Markel Adriel Sousa Farias, por todo companheirismo demonstrado em todos os momentos.

Aos meus tios Edileide Viera, Ednaldo da Silva, Manoel Vieira, e as minhas primas Manuely Vieira e Camila Vieira, por todo suporte em todos os momentos da minha vida.

A todos meus professores que foram fundamentais na minha formação, em especial aqueles que me incentivaram e foram grandes inspirações ao longo do curso, Leo César Parente, Andrews Malone, Hilberth Viana, Luamim Sales, Alan Peralta, Maycon Prado, Andryo Freitas, Samuel Bandeira, Marcos Barbosa, Marcela Santos.

A todos meus colegas e amigos, em especial aqueles que estiveram ao meu lado, oferecendo apoio ao longo do curso, Yuryck Daniel, Pedro Paé, Pedro Filho, Kamila Lima, Anderson Felipe, Diego Willian, Evandro Clemente, Fernando Lemos, John Witysel, Bruno Henrique, Arnoldo Junior, Beatriz Pinheiro, Arthêmio Pereira, Viviane Barbosa, Valquíria Santana, Alan Junior. A troca de experiências com vocês foi fundamental para meu crescimento pessoal e profissional.

Ao meu orientador, Andrews Malone Pontes da Costa, por sua paciência, dedicação, orientação e incentivo ao longo deste processo. Suas palavras sábias e

sugestões valiosas foram essenciais para que este trabalho alcançasse o resultado final. Agradeço não apenas pelo conhecimento compartilhado, mas também pela inspiração que me proporcionou com seu exemplo de dedicação.

Chegar até aqui foi uma jornada de aprendizado, desafios e, principalmente, de colaboração. Este trabalho não seria possível sem o apoio de tantas pessoas especiais, às quais dedico meu mais sincero agradecimento.

Por fim, agradeço a todos que, contribuíram para a realização deste trabalho. Cada gesto de incentivo, palavra de apoio e ato de confiança foi fundamental para que eu chegasse até aqui. Muito obrigado!

Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui, nunca desista de seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis, a próxima tentativa pode ser a vitoriosa (Albert Einstein).

RESUMO

Ao construir uma estrutura de contenção, vários fatores devem ser avaliados como o tipo de solo, a localização, a vegetação, os materiais disponíveis, entre outros. Desta forma, a área da geotecnia, é de extrema importância principalmente no que se refere a estabilidade de taludes, por meio do estudo adequado do solo é possível identificar qual a melhor escolha do tipo de muro de arrimo. A construção de muros de arrimo pode apresentar diversos problemas que depende de vários fatores como a finalidade da obra, condições climáticas, tipo de solo, processo de execução, projeto estrutural incompatível, qualidade dos materiais utilizados e problemas ambientais. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo apresentar as vantagens e desvantagens de uma estrutura de contenção utilizando pneus como material principal, através de pesquisas bibliográficas, buscou-se entender quais aspectos podem ser positivos ou negativos na escolha desse tipo de estrutura.

Palavras-chave: Estruturas de contenção; Muro de arrimo; Solos.

ABSTRACT

When building a containment structure, several factors must be evaluated such as the type of soil, location, vegetation, available materials, among others. therefore, the geotechnical area is extremely important, especially when it comes to the stability of slopes. through an adequate study of the soil, it is possible to identify the best choice of type of retaining wall. the construction of retaining walls can present several problems that depend on several factors such as the purpose of the work, climatic conditions, type of soil, execution process, incompatible structural design, quality of materials used and environmental problems. therefore, this work aims to present the advantages and disadvantages of a containment structure using tires as the main material. through bibliographical research, we sought to understand which aspects can be positive or negative when choosing this type of structure.

Keywords: containment structures; retaining wall; soils.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Composição de um talude	22
Figura 2 - Formas geométricas dos taludes.	24
Figura 3 - Escorregamentos	26
Figura 4 - Escorregamento Rotacional.....	27
Figura 5 - Mecanismos potenciais de ruptura de muros de peso.....	28
<i>Figura 6 - Estrutura de Contenção</i>	30
Figura 7- Muro de arrimo (Por gravidade)	31
Figura 8 - Muros de alvenaria de pedra	32
Figura 9 - Muros de concreto ciclópico (ou concreto gravidade).....	33
Figura 10 - Muro Gabião	33
Figura 11 - Muro Crib wall.	34
Figura 12 - <i>Muros de sacos de solo-cimento</i>	35
Figura 13 - Detalhe da amarração com corda de polipropileno.....	35
Figura 14 - Exemplos de sistemas de drenagem em muro de arrimo.	36
Figura 15 - Muros de pneus	55
Figura 16 - Esquema do muro de pneus.	57
Figura 17- Drenagem interna.	58
Figura 18 - Dimensionamento	59
Figura 19- Posicionamento dos pneus	59
Figura 20 - Amarração	60
Figura 21- Etapas do processo de execução	61
Figura 22 - 1° Camada de Pneus	61
Figura 23 - Seções transversais típicas do muro experimental.	65
Figura 24 - Pneu inteiro e cortado.	65
Figura 25 - Malha de elementos finitos.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Mecanismos potenciais de ruptura de muros de peso	29
Tabela 2 – Tipos de drenagem.....	38
Tabela 3 – Etapas e prescrições de acordo com o item 4 da NBR 11682	40
Tabela 4 – Etapas da preparação	46
Tabela 5 – Etapas da coleta dos pneus	48
Tabela 6 – Etapas do empilhamento dos pneus	49
Tabela 7– Procedimentos para a compactação do Muro de Arrimo.....	51
Tabela 8 – Etapas adicionais	54
Tabela 9 – Fatores que influencia a resistência do muro de pneus	56
Tabela 10– Vantagens da utilização de pneus inservíveis	67
Tabela 11– Desvantagens da utilização de pneus inservíveis	68

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO GERAL	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	17
3	JUSTIFICATIVA	18
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
4.1	SOLO	19
4.1.1	SOLO ARENOSO	20
4.1.2	SOLO ARGILOSO	21
4.1.3	ATERRO	21
4.2	TALUDE	22
4.2.1	TALUDE ARTIFICIAIS	22
4.2.2	TALUDE NATURAIS	23
4.2.3	MOVIMENTO DE TALUDES	24
4.2.1.1	Despedimentos de terra ou rocha	24
4.2.1.2	Escorregamento (Landslide)	25
4.2.1.3	Rastejo (creep)	26
4.2.2	CAUSAS DOS MOVIMENTOS	27
4.2.3	ESTABILIDADE DOS MUROS DE ARRIMO	28
4.3	MURO DE ARRIMO	29
4.3.1	MUROS DE GRAVIDADE	30
4.3.1.1	Muro de alvenaria de pedra	31
4.3.1.2	Muro de concreto ciclópico ou concreto de gravidade	32
4.3.1.3	Muros de gabião	33
4.3.1.4	Muros em fogueira (“crib wall”)	34
4.3.1.5	Muros de sacos de solo- cimento	34
4.3.1.6	MUROS DE PNEUS	35
4.4	SISTEMA DE DRENAGEM	36
4.4.1	INFLUENCIA DA ÁGUA	36
4.5	PROJETO DE MURO DE ARRIMO	39
4.5.1	NORMA- NBR- 11682- ESTABILIDADE E ENCOSTAS	40
4.5.2	UTILIZAÇÃO DE PNEUS	42
4.5.3	O DESCARTE DE PNEUS INSERVÍVEIS NO BRASIL	43

5	METODOLOGIA	45
5.1	PROCESSO DE EXECUÇÃO DE MURO DE PNEUS	45
5.1.1	PREPARAÇÃO DO LOCAL	46
5.1.2	COLETA DO DE PNEUS	48
5.1.3	EMPILHAMENTOS DOS PNEUS	49
5.1.4	COMPACTAÇÃO	51
5.1.5	OPÇÕES ADICIONAIS	53
5.1.6	CONSIDERAÇÕES DE SEGURANÇA	55
5.1.7	DETALHES CONSTRUTIVOS PARA MUROS DE PNEUS	57
5.1.7.1	Materiais	57
5.1.7.2	Dimensionamento	58
5.1.7.3	Execução	59
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
8	REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

Obras de contenção de terra são fundamentais para a segurança e viabilidade das mais diversas situações da Engenharia Civil. O deslizamento de encostas é um exemplo recorrente e cotidiano no território brasileiro que afeta diversas vidas. (MACEDO, 2020). A escolha correta do muro de contenção é de extrema importância para minimizar riscos como o colapso da estrutura evitar acidentes. Diante disso, “os muros são definidos como estruturas de contenção lineares ou corridas, que possuem inclinação vertical ou quase vertical, sendo caracterizados por resistirem, aos esforços do terreno pela ação de seu peso próprio” (STEIN et al., 2021).

Muros de arrimo são contenções corridas, constituídas de estruturas verticais apoiam em fundações direta ou indiretas. Elas possuem a função de resistir aos esforços de empuxo gerado pelo solo de maneira segura (MACEDO, 2020), quando executada de forma correta pode evitar problemas como deslizamentos de terra, erosão ou mesmo colapso de encostas. As estruturas podem ser compostas por vários materiais como concreto, pedra, pneus, solo ou cimento e sua classificação depende do tipo de material utilizado na sua estrutura. Desta forma, temos os muros de arrimo de pneus, muro de gravidade, muro de solo s-cimento e muro de pedras. Sendo, as estruturas de contenção elementos indispensáveis de uma grande variedade de obras e projetos de engenharia como pontes, rodovias, píeres, atracadouro, ferrovias, barragens e etc. (EHRLICH; BECKER, 2009).

De acordo com Santos e Daibert (2013, p.11), no início de uma construção, de pequeno ou grande porte, para dar estabilidade a obra, a primeira coisa que se faz é o estudo do solo, fator decisivo para a viabilidade da construção. A realização de estudo permite examinar de forma detalhada as características do solo e das rochas de um determinado local.

Em face disso, são utilizadas técnicas como a sondagens, o ensaio de laboratório, o ensaio *in situ*, a instrumentação geotécnica e geofísica. As sondagens, como o nome já diz, é uma pesquisa que fazemos para determinar o tipo de solo. Com os dados dos resultados são desenvolvidos os projetos das obras que só então deverão ser construídas (SANTOS; DAIBERT, 2013). As informações obtidas a partir

dessas técnicas são indispensáveis no planejamento e projeto de fundações, na avaliação da estabilidade de encostas, na identificação de riscos geotécnicos, nos projetos de obras de engenharia civil, no gerenciamento ambiental e na economia de custos. Uma obra civil será adequadamente projetada se houver conhecimento apropriados da natureza e da estrutura do terreno onde ela será implantada (ALBURQUERQUE, 2020, p. 32).

Portanto, é necessário o estudo geotécnico para a identificação do tipo de solo, para a realização do planejamento adequado avaliando qual melhor o tipo de muro que deverá ser construído visando garantir a qualidade, estabilidade e durabilidade da estrutura. Neste contexto, situações em que não se consideram determinados conceitos de investigação ou mesmo de omissão perante os dados de subsolo podem conduzir a ruínas totais ou parciais em obras (ALBURQUERQUE, 2020, p. 32).

O pneu é um rejeito de difícil decomposição, que demora, no mínimo, 150 anos para se degradar no meio ambiente (SILVA, 2006). Sendo, o descarte inadequado de pneus inservíveis causadores de grandes problemas ao meio ambiente, devido ao seu elevado tempo de deterioração, mesmo quando destinados de forma correta, pode contaminar o solo, a água, e podem ser facilitadores de vetores de doenças como a dengue, zinca, chicungunha. Até alguns anos atrás, os pneus tinham como destino mais comum, no Brasil, os terrenos baldios, lixões e aterros sanitários, sem tratamento apropriado (SILVA, 2006). Desta forma, com a necessidade de disciplinar o gerenciamento dos pneus inservíveis, em 1999 entrou em vigor em a Resolução nº 258 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, que proibiu o descarte inadequado dos pneus inservíveis e obrigou as empresas fabricantes de pneus a dar destinação final adequada ao rejeito existente em território nacional, em proporção crescente até o ano de 2005.

Este trabalho propõe uma análise detalhada das vantagens associadas à utilização de estruturas de contenção construídas a partir de pneus inservíveis. Através de um estudo bibliográfico intrínseco, serão apresentados os benefícios do emprego desse tipo de estrutura, com foco no muro de arrimo de pneus.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo do referido trabalho é realizar uma revisão bibliográfica para compreender as vantagens e desvantagens presentes na construção do muro de arrimo de pneus inservíveis evidenciando aspectos atrelados a escolha desse tipo de estrutura.

2.2 Objetivos Específicos:

- Realizar o estudo bibliográfico dos tipos de solos, talude e tipo de muro de arrimo mais utilizados.
- Realizar um estudo aprofundado sobre muro de arrimo de pneus apresentando suas vantagens e desvantagens.
- Apresentar recomendação normativas ou de boa pratica, para formas adequadas de construção de muro de arrimo.

3 JUSTIFICATIVA

Obras de contenção de terra são fundamentais para a segurança e viabilidade das mais diversas situações da Engenharia Civil. O deslizamento de encostas é um exemplo recorrente e cotidiano no território brasileiro que afeta diversas vidas. O seu estudo não apenas soluciona acidentes como também permite que eles sejam evitados (MACEDO, 2020). Diante disso, as estruturas de contenção são elementos construtivos projetados para conter ou suportar a pressão lateral de massas de solo, água ou outros materiais. Essas estruturas são comumente utilizadas em diversas construções como edifício em encostas, rodovias, ferrovias, construções subterrâneas, pontes, estacionamentos subterrâneos, construções em zonas costeiras, projetos de infraestrutura hidráulicas, projetos de urbanização e projetos de energia. No entanto, a construção de muros de arrimo pode apresentar diversos problemas desde a finalidade da obra, condições climáticas, tipo de solo, processo de execução, projeto estrutural incompatível ou a qualidade dos materiais utilizados. Os problemas mais comuns envolvendo o colapso de muro de arrimo são deslizamento de solo, erosão, drenagem ineficiente, materiais de baixa qualidade, incompatibilidade com o solo, projeto inadequado, falta de manutenção, regulamentações locais, infiltrações, variações climáticas e impactos ambientais com a utilização de materiais que liberam carbono ao meio ambiente. Para esse estudo, buscou aprofundamento no estudo do muro de arrimo de pneus e a problemática do descarte de pneus inservíveis no meio ambiente enfatizando os aspectos positivos e negativos da aplicação desse tipo de material na construção de muro de contenções. Tendo em vista, que os pneus são compostos de vários materiais, entre eles borracha vulcanizada, metais e fibras, esses materiais são resistentes e podem levar centenas ou milhares de anos para se degradar totalmente. A sua decomposição depende do meio que estão inseridos, ainda que, realizada a coleta adequada e os pneus sejam jogados em aterros sanitários, eles podem liberar em sua decomposição substâncias químicas prejudiciais para o solo e os lençóis freáticos. Ademais, podem ser vetores e doenças como a malária, dengue ou febre amarela. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é conduzir uma análise bibliográfica detalhada sobre as vantagens e desvantagens do uso de muros de arrimo de pneus, analisando os principais benefícios e desafios associados a essa estrutura.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 SOLO

O solo é um recurso natural indispensável para o ser humano e sua utilização atende a diversas finalidades como agricultura, pecuária, mineração, construção civil, entre outros. Para Caputo (1998), o homem já fazia uso desde os tempos antigos que remontam a própria origem da civilização.

As grandes construções representadas pelas pirâmides do Egito, os templos da Babilônia, a Grande Muralha da China, os aquedutos e as estradas do Império Romano despertaram um olhar mais atento aos problemas de fundações e de terra (CAPUTO, 1988, p.1). Após esses fatos, estudos passaram a buscar compreender o comportamento do solo, as características específicas em sua estrutura, as composições químicas, suas propriedades físicas, forma, textura e consistência.

Essas pesquisas deram início ao estudo das ciências dos solos, área específica conhecida atualmente como mecânica dos solos:

Mecânica dos Solos é disciplina que estuda as características do solo, sua classificação, e busca prever seu comportamento quando sujeitos a solicitações provocadas pelo ou pela natureza. Engloba: geologia de engenharia, investigação geotécnica, barragens, fundações, taludes de cortes e aterros, estruturas de contenção, mecânicas de rochas, túneis, pavimentos, estabilização de solos, geotecniais ambientais, entre outras disciplinas, como resistência dos materiais e cálculo estrutural (SILVA; DAIBERT, 2013, p. 11).

No campo da engenharia o uso inadequado do solo pode causar problemas, como a movimentação de terras, instabilidades de taludes, danos ambientais e provocar acidentes como é o caso de colapso de estruturas de contenção. Os movimentos de massa, em particular os deslizamentos, constituem, assim como as enchentes, uma das ameaças naturais com maior grau de recorrência em todos o mundo e, portanto, causam fortes danos às sociedades (SILVA; DAIBERT, 2013, P.14). Diante disso, serão apresentados a seguir os tipos de solos mais utilizados na construção civil.

Os solos são materiais que resultam do intemperismo ou motorização das rochas, por desintegração mecânica ou decomposição química (CAPUTO, 1998). As características de cada tipo de solo dependem da região, da temperatura, vento, vegetação, da formação geológica, das propriedades físicas e das e composições químicas que determinam que tipos de solos serão encontrados. Assim o estudo do solo é relevante, visto que, nem sempre os solos disponíveis próximos das obras apresentam características que atendam as funções que o material irá desempenhar (FONSECA, 2012).

Para Caputo (1998, p.11), os problemas que se apresentam no projeto e execução das fundações e obras de terra, distinguem-se em dois tipos fundamentais: aqueles que se referem a deformações do solo e os que consideram a ruptura de uma massa de solo. Caracterizando, dessa forma, o estudo do solo como um fator indispensável para obras de terra, segundo Silva e Dalbert (2013, p. 13):

A importância dos solos como material de construção é equivalente à do aço ou do concreto. O conhecimento de mecânica dos solos e geotecnia é indispensável, por exemplo, em engenharia estrutural, pois as estruturas se apoiam diretamente em solos ou rochas. Essa razão, por si só, justifica a necessidade de conhecer em detalhes o comportamento dos solos, mas deve-se ainda adicionar a complexidade do seu comportamento conferida pela natureza de material particulado e multifásico.

Logo, compreender o comportamento dos solos e realizar o estudo correto fornece informações necessárias para a melhor tomada de decisão. Diante disso, abaixo serão apresentados alguns tipos de solos comumente usados na construção de muros de arrimo:

4.1.1 Solo arenoso

Os solos arenosos segundo Santos (2011), possuem uma concentração de aproximadamente 70% de areia na sua composição em relação a totalidade de partículas sólidas. Nesse tipo de solo os compostos são de maior parte por areia e sua granulometria está entre 0,05 milímetros até 4,8 milímetros.

Por apresentarem partículas maiores a drenagem é favorecida o que diminui a pressão hidrostática, porém este tipo de solo pode ser levado a sofrer erosão. Mesmo

se apresentando como uma alternativa eficaz para construção do muro de arrimo a drenagem adequada é substancialmente importante no processo de execução para que se evite problemas como a saturação e a instabilidade do solo.

4.1.2 Solo argiloso

Conforme Silva e Daibert (2013, p.54), as argilas são partículas muito finas que se destacam pela sua plasticidade e alta resistência. Elas só se tornam a fração mais ativa dos solos quando estão secas. Com partículas menores que 0,002 m de diâmetros apresentam um desafio a engenharia pela sua baixa permeabilidade.

Esse tipo de solo possui muitos poros pequenos (microporos), que dificultam a movimentação de água, mas facilitam sua retenção. São geralmente formados por terra úmida e macias, ou seja, tem partículas muito pequenas que proporcionam um acúmulo de água, o que torna o processo de expansão quando molhados e a retração quando secos, concentrando 30% de argila comparadas às partículas sólidas (SANTOS, 2011).

Diante disso, na construção de muro de arrimo deve ser realizado o estudo de viabilidade, tendo em vista que, em solos argilosos necessitam de drenagem apropriadas, buscando evitar a pressão hidrostática e conseqüentemente o acúmulo de água que pode favorecer a instabilidade do solo.

4.1.3 Aterro

O aterro é o processo de adicionar terra ou outros materiais compactáveis em determinadas áreas com o objetivo de elevar o nível do terreno ou para melhorar o solo, criando uma base sólida para construção de estruturas. Quando se referem taludes de corte ou de aterro torna-se necessário compreender o seu comportamento no contexto da própria estabilidade e das suas fundações, e das respectivas inclinações (CARRASCO, 2014). Desta forma, para compreender o comportamento do aterro a análise deve ser realizada levando em consideração fatores como o tipo de material utilizado, o método de compactação, as condições do terreno escolhido, e o projeto da obra.

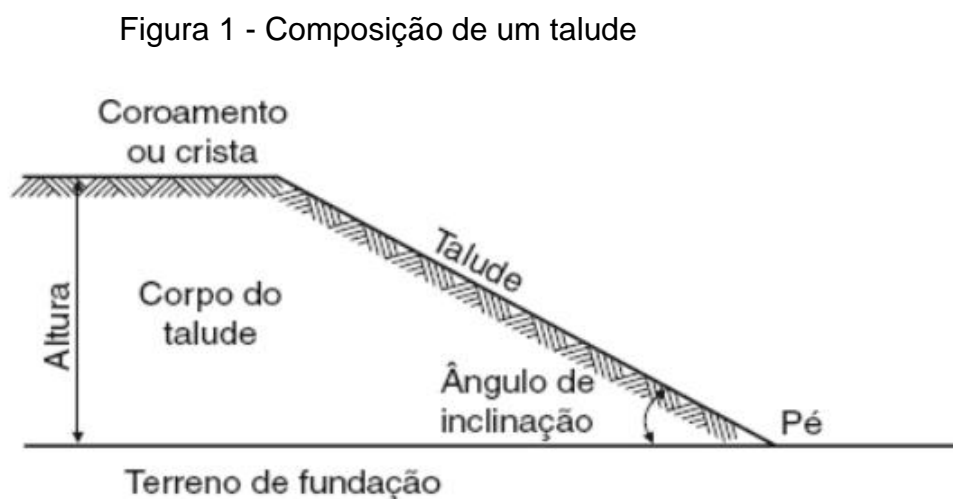
Embora muito usados na engenharia civil, presente no processo de desenvolvimento urbano, o aterro representa um risco ambiental quando não

construído de forma planejada, seguidas das normas reguladoras (MANNARINO, 2006). Diante disso, o aterro em obras de engenharia civil representa um processo importante, pois há tanto impactos positivos quanto negativos sobre o meio ambiente, dependendo de como é projetado e executado. Sendo necessário e fundamental que as práticas de engenharia e planejamento ambiental sejam seguidas para mitigar os possíveis efeitos prejudiciais ao ambiente natural.

4.2 TALUDE

Talude é a denominação que se dá a qualquer superfície inclinada de um maciço de solo ou rocha, podendo ser natural, denominado de encosta, ou construído pelo homem, como, por exemplo, os aterros e cortes (GERSCOVICH, 2016). Os taludes são encontrados em muitas aplicações, entre elas estradas, cortes de estradas, barragens, encostas naturais, entre outros.

A estabilidade de um talude é influenciada pelo solo, vegetação e clima. A classificação de um talude é determinada como base em sua inclinação e estabilidade, e podem ser classificados em taludes naturais (das encostas) ou artificiais (corte e aterros). A figura 1 apresenta a terminologia usualmente adotada na descrição de um talude:



Fonte: Caputo (2022)

4.2.1 Talude artificiais

São caracterizados como taludes artificiais as inclinações ou declive construídos ou modificados por ação humana e resultam de cortes em encostas, de

escavações ou de lançamento de aterros (GERSCOVICH, 2016). As estruturas de taludes artificiais muito utilizadas na engenharia civil, tem como objetivo proporcionar estabilidade ao solo, evitar deslizamento ou ainda permitir a construção em áreas de topografia irregular.

No projeto de talude, estudos indicam as características do solo, a inclinação, os fatores climáticos entre outros, necessários para garantir a estabilidade e durabilidade da estrutura. O processo de execução deve seguir as normas regulamentadora que indicam por exemplo a inclinação adequada para garantir a estabilidade da obra. No desenvolvimento do projeto fatores como o tipo de solo, clima, vegetação e umidade devem ser analisado.

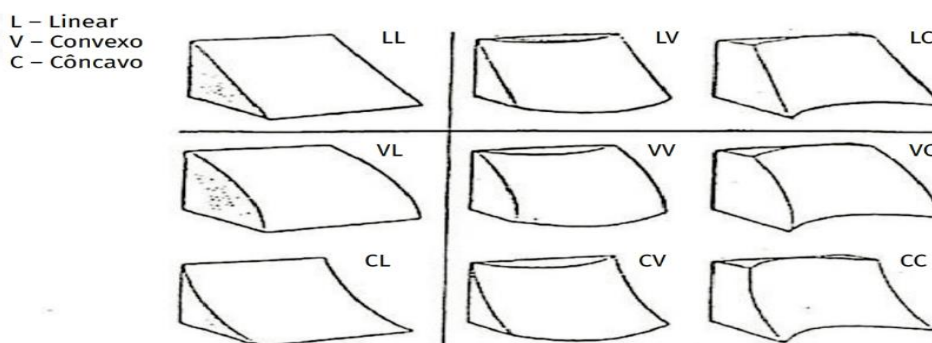
4.2.2 Talude naturais

Os taludes naturais ou comumente chamado de encostas, resultam de intempéries ou da ação geológica e sua composição é constituída por solos residuais e/ou coluvionar, constantemente sujeitas a instabilidades (BRUM 2021; GERSCOVICH et al., 2016). Neste tipo de talude, uma de suas principais características é a permanecia de solo residual no lugar que foram originados.

Os taludes naturais apresentam as inclinações ou declives naturais sem modificações do ser humano, como é o exemplo de escavações ou aterros. Esse tipo de talude é moldado de acordo com as ações da natureza e suas características e propriedades variam de acordo com clima, tipo de solo, ação de agentes erosivos e topografia do terreno. A estabilidade dos taludes depende de fatores como a composição do solo, as condições climáticas, os processos erosivos e a vegetação.

Os taludes podem apresentar diversos formatos, podendo ser de dois tipos de faces, a face plana ou talude lineares (mais utilizados a beira de rios, e em barragens de rejeitos/ água) e os de faces curvilínea (podendo ser concavo e convexa, este tem como objetivo favorecer o fluxo de água superficial). A figura abaixo apresenta a diferença entre os taludes planos e curvilíneos.

Figura 2 - Formas geométricas dos taludes.



Fonte: Stein et al., (2021)

Para compreender os riscos de instabilidade é necessário realizar o estudo geotécnico das inclinações naturais afim de prevenir problemas como os deslizamentos de terra.

1.1.3 Movimento de Taludes

Para Gerscovich (2016), movimento de massa refere-se a qualquer deslocamento de um volume específico de solo. A movimentação solo ou rocha ocorre quando agentes como a gravidade, o vento, a água ou outros fatores externos movimentam uma parcela do solo ou rocha em uma superfície inclinada, o que geralmente ocasiona instabilidade do solo e causa problemas como deslizamentos de encostas, erosão, quedas de rochas entre outros. Embora as formas de instabilidades de rochosos e maciços terrero, os movimentos podem ser classificados em três categorias:

4.2.1.1 Despedimentos de terra ou rocha

O despedimento de terra ou rocha ou deslizamento de terra, caracteriza-se como um despedimento de uma porção de maciço terroso ou fragmentos de terras que se desprende do maciço rápido e livremente, acumulando onde se para.

É uma porção de maciço terroso ou de fragmentos de rochas que se destaca do resto do maciço, caindo livre e rapidamente, acumulando-se onde estaciona-se. É evitável pelos processos comuns de prevenção e, quando

necessário, utilizando-se de recursos de estabilização (CAPUTO E CAPUTO, 2022, p.13).

Dentre os fatores que podem desencadear um deslizamento de terra estão:

- Infiltração de Água;
- Inclinação do terreno;
- Atividades Sísmica;
- Atividades Humanas;
- Geologia e Hidrologia.

Os deslizamentos de terra provocam vários problemas, como danos a propriedades, infraestrutura e ecossistemas. Quando movimentos de massa atingem áreas densamente populosas e/ou vias de acesso (estradas), pode ocorrer a perda de vidas humanas, prejuízos onerosos à cidade e/ ou estado, além dos danos ambientais (ROCHA E STEINER, 2022, p.02). Desta forma, é essencial realizar o estudo do local e avaliar os riscos, para planejar intervenções, direcionadas a mitigar ou eliminar possibilidades de ocorrência desses fenômenos.

4.2.1.2 Escorregamento (Landslide)

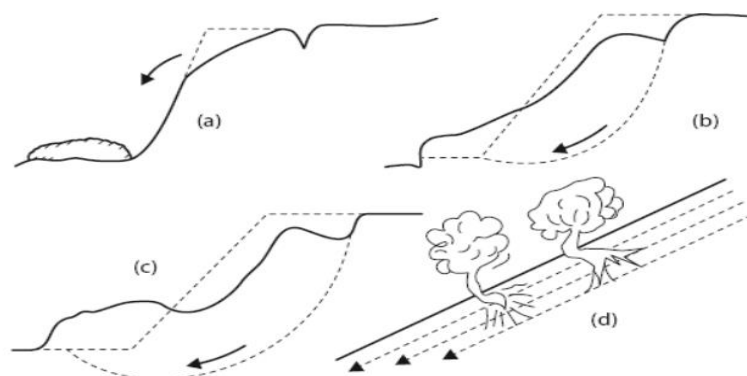
O escorregamento acontece quando há o deslocamento de uma massa de solo ou rocha, esse fenômeno também conhecido como deslizamento de terra tem como característica o deslocamento de uma massa de solo, ou rocha, acontecendo o desprendimento do maciço, onde move-se de forma rápida ou gradualmente em um declive. Este movimento de massa pode ocasionar inúmeros desastres:

Entende-se por causa a forma de atuação de um determinado agente, ou seja, um agente pode se manifestar por meio de uma ou mais causas. Por exemplo, a água pode influir em diversos tipos de movimentações: no caso de rebaixamento de lençol freático, a instabilidade provocada pela diminuição da pressão neutra será a causa do movimento, enquanto que, no caso de chuva intensa, a causa será o aumento da pressão neutra (SILVA, 2006, p.31).

Este tipo fenômeno geológico pode apresentar dois tipos: o escoamento de rotação, onde os movimentos predominantes é o de rotação (solos coesivos e

homogêneos), escorregamento translacional, onde o movimento é de translação (maciços rochosos estratificados). Conforme a figura a 3.

Figura 3 - Escorregamentos



Fonte: Caputo e Caputo (2022)

4.2.1.3 Rastejo (creep)

É considerado rastejo, o deslocamento contínuo e gradual do solo ou rocha em um talude ao longo de uma superfície de um declive, o deslocamento acontece lentamente e de forma contínua das camadas mais superficiais sobre as camadas mais profundas. Como ordem de grandeza da movimentação correspondente, normalmente, a centímetros por ano, a ocorrência de rastejo pode ser identificada através da observação de diversos indícios indiretos (PASSOS, 2018). A velocidade que acontece esse fenômeno é muito pequena que se torna quase imperceptível em um intervalo de tempo de baixa duração, é causado pela gravidade e pela influência da água, a saturação do solo e mudanças na temperatura e a presença de vegetação no local:

Também denominados de fluência, são movimentos lentos e contínuos, em que não existe uma ruptura defina na área. Normalmente, o rastejo envolve grandes áreas, não sendo possível visualmente diferenciar a massa (local) onde haverá movimentação e a região estável”, (SILVA; DAIBERT, 2013, p.54)

No entanto, esses deslocamentos em longos períodos podem causar deformações nos taludes, provocando deslizamentos de terra, principalmente em condições de chuva intensa ou instabilidade geológica. Este fenômeno é de particular

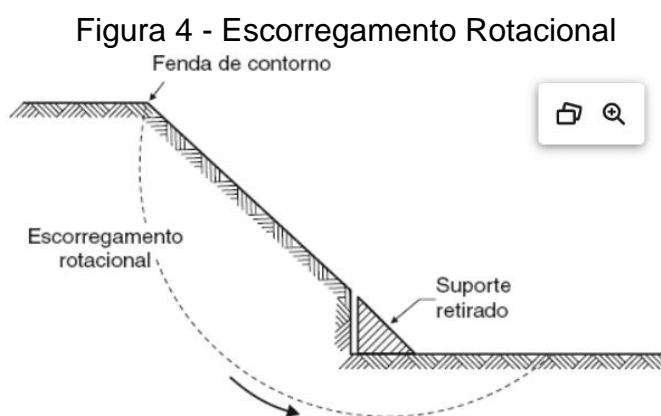
interesse no contexto das barragens de rejeitos, pois pode levar à instabilidade dos taludes das barragens, aumentando o risco de ruptura (Zhu e Lee, 2004).

Estudar o fenômeno do rastejo é essencial para a engenharia geotécnica e a avaliação de riscos de deslizamentos de terra. Para que as medidas de mitigação, sejam adotadas para evitar os problemas causados pelo rastejo, a drenagem adequada e estabilização do talude, podem ser necessárias para prevenção desse tipo de fenômeno.

4.2.2 CAUSAS DOS MOVIMENTOS

“Geralmente constituem causas de um escorregamento o “aumento” de peso do talude (incluindo as cargas aplicadas) e a diminuição da resistência ao cisalhamento do material” (CAPUTO, 2022, p. 08). O aumento excessivo pode ocorrer principalmente em períodos de chuvas ou depois, período onde aumenta o peso específico do solo, e o excesso de umidade diminui a resistência ao cisalhamento pelo aumento da pressão neutra. Desta forma, o aumento da precipitação volumétrica favorece o escoramento de massas.

Caputo (2022, p.08) relata que “a causa muito comum de escorregamento é a escavação próxima ao pé do talude, para implantação de uma obra”. Essa causa é descrita na figura 4.



Fonte: Caputo (2022)

4.2.3 ESTABILIDADE DOS MUROS DE ARRIMO

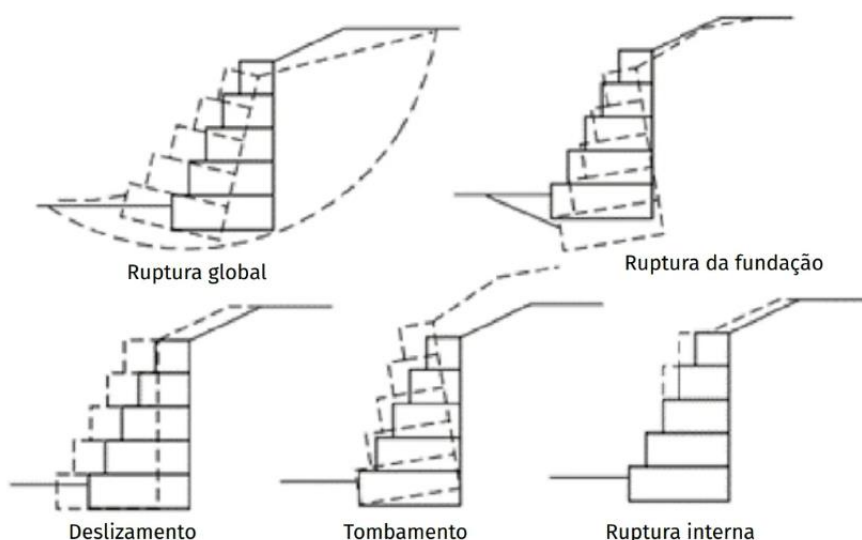
Os muros de gravidade ou muro de peso, dependem da geometria e do peso próprio da estrutura para a garantir sua estabilidade. De acordo (GEORIO, 1999).

Um muro de peso deve ser construído com largura suficiente para evitar o surgimento de tensões de tração no interior do muro. Estas tensões seriam provocadas pela ação instabilizante do empuxo do solo, com tendência ao deslizamento da base e ao tombamento do muro.

Desta forma, o muro de arrimo deve ser dimensionado para garantir a estabilidade contra a ruptura de maciços de solo, sua principal função é suportar os empuxos da terra causados pelo próprio peso do maciço e por carregamentos externos. (STEIN et al., 2021). Sendo assim, para garantir a estabilidade do muro, devem ser verificadas as condições de estabilidade dos seguintes mecanismos potenciais de ruptura e deverão ser cuidadosamente estudados e verificados de acordo com a tabela 1.

A Figura 5 apresenta uma ilustração destes mecanismos potenciais de ruptura de muros de peso.

Figura 5 - Mecanismos potenciais de ruptura de muros de peso.



Fonte: STEIN et al., (2021)

Tabela 1 - Mecanismos potenciais de ruptura de muros de peso

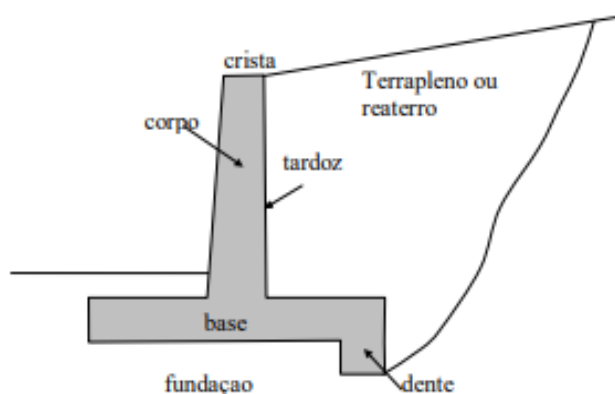
Mecanismos de análise de estabilidade de muro de arrimo	Descrição
Capacidade de carga	Essa verificação deve garantir que o solo em contato com a base do muro não rompa nem tenha deformações excessivas. A distribuição de tensões na base do muro é admitida linear. Deseja-se que as resultantes das forças se encontrem no núcleo central da base, pois assim, o solo estará apenas sob solicitação de tensões de compressão.
Deslizamento da base	Os esforços resistentes são os que auxiliam na estabilidade da estrutura, como empuxo passivo e atrito no contato solo/ base do muro; e esforços solicitantes são os que contribuem para o movimento do muro, como empuxo ativo advindo da ação do solo à montante do muro.
Tombamento	Na segurança ao tombamento são considerados os momentos gerados pelos esforços existentes.
Estabilidade global	A estabilidade global do conjunto muro e solo é verificada geralmente por meio de método de equilíbrio limite como tradicionais métodos de fatias, considerando-se fator de segurança mínimo um valor entre 1,2,3, conforme os requisitos estabelecidos na NBR- 11682/2009-Estabilidade e Encostas.

Fonte: adaptada

4.3 MURO DE ARRIMO

Muro de arrimo ou muro de contenção são as estruturas construídas com o objetivo de conter a pressão do solo ou de materiais como terra, rochas ou água. Esse tipo de construção quando executada de forma correta pode evitar deslizamentos de terra, erosão ou mesmo colapso de encostas. Nesse sentido Gerscovich (2010), destaca que os muros são estruturas corridas de contenção de parede vertical ou quase vertical, apoiadas em uma fundação rasa ou profunda.

Figura 6 - Estrutura de Contenção



Fonte: Gerscovich (2010)

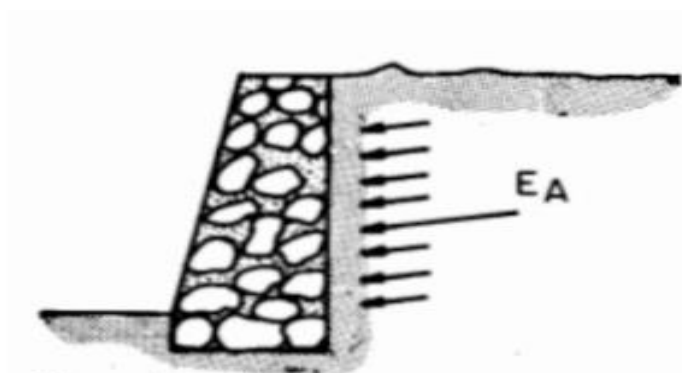
A construção de um muro de arrimo pode ser em alvenaria (tijolos ou pedras), em concreto (simples ou armado), ou ainda, de elementos especiais. As estruturas de contenção ou de gravidade podem ser de gabião, alvenarias, concreto ou pneus, flexão (com ou sem contraforte) e ainda com ou sem tirantes. Desta forma, a escolha do tipo de muro depende do tipo de solo e das necessidades específicas de cada projeto.

4.3.1 Muros de gravidade

De acordo com os estudos de Gerscovich (2010, p.2), os muros de Gravidade são estruturas corridas que se opõem aos empuxos horizontais pelo peso próprio. Esse tipo de estrutura é comumente utilizado para conter desníveis pequenos ou médios, inferiores a cerca de 5m, sendo construídas de pedras ou concreto, onde pode ser (simples ou armado), gabiões e pneus usados. Neste contexto, o dimensionamento deve atender à verificação da estabilidade quanto ao tombamento, deslizamento e capacidade de carga da fundação (NBR, 1991).

As estruturas de contenção de solos por gravidades são consideradas a solução estrutural mais antiga e relativamente barata, pois não exigem mão de obra especializada (ANDRADE, et al., 2021, p. 213). Devido as suas propriedades de resistir à pressão lateral do solo ou da água, garantem a estabilidade do sistema com o peso próprio, sendo os muros de gravidade uma solução viável para problemas de encostas.

Figura 7- Muro de arrimo (Por gravidade)



Fonte: (Moliterno, 1995)

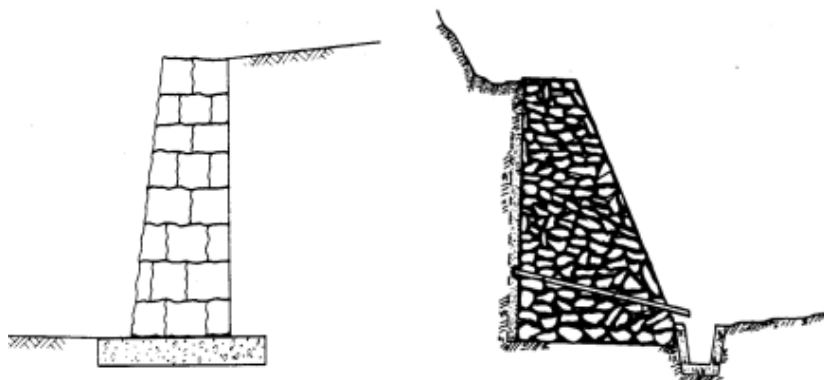
Desta forma, quando realizado todas as etapas necessárias para o processo de execução dos muros de gravidade, incluindo o estudo do solo, evita deslizamentos, movimentação de terra e proporciona maior estabilidade em áreas inclinadas consequentemente maior segurança estrutural.

4.3.1.1 Muro de alvenaria de pedra

Os muros de alvenaria são estruturas conhecidos por apresentarem alta durabilidade e resistência. Em sua construção, se utiliza as pedras como o principal material e seu processo de construção pode ser considerados as técnicas artesanias ou modernas que visam aliar funcionalidade e beleza natural.

Conforme Gerscovich (2010, p. 2), “os muros de alvenaria de pedra são os mais antigos e numerosos. Atualmente, devido ao custo elevado, o emprego da alvenaria é menos frequente, principalmente em muros com maior altura”.

Figura 8 - Muros de alvenaria de pedra



Fonte: Gerscovich (2010)

No entanto, para o projeto da construção de muro de alvenaria deve-se avaliar os recursos presentes no local, bem como realizar o estudo geotécnico para avaliar se esta é realmente a escolha mais adequada para uma construção de uma estrutura de contenção em alvenaria de pedra.

4.3.1.2 Muro de concreto ciclópico ou concreto de gravidade

De acordo com manual da Fundação Instituto de Geotécnica (GeoRio, 1999, p.19) “estes muros são em geral uma alternativa economicamente viável para altura que não ultrapasse cerca de 4 metros”. Para alturas superiores a 4 metros é necessário realizar o estudo de viabilidade do projeto para verificar se é melhor opção mais econômica:

O muro de concreto ciclópico ou concreto de gravidade, esse tipo de muro é construído após o preenchimento de uma forma com concreto e blocos de rocha de diferentes variedades. Devido à permeabilidade deste muro, é imprescindível a execução de um sistema adequado de drenagem, (GEORIO, 1999, p.19)

A seção transversal é usualmente trapezoidal, com largura da base da ordem de 50% da altura do muro (Figura 4). A especificação do muro com faces inclinadas ou em degraus pode causar uma economia significativa de material, (GERSCOVICH, 2010).

Figura 9 - Muros de concreto ciclópico (ou concreto gravidade).



Fonte: Gerscovich (2010)

4.3.1.3 Muros de gabião

Os muros de gabiões são constituídos por gaiolas metálicas preenchidas com pedras arrumadas manualmente e montadas com fios de aço galvanizado em malha hexagonal com dupla torção. Essa rede metálica que constitui os gabiões demonstra uma resistência mecânica significativamente alta (GERSCOVICH, 2010).

Figura 10 - Muro Gabião



Fonte: Gerscovich (2010)

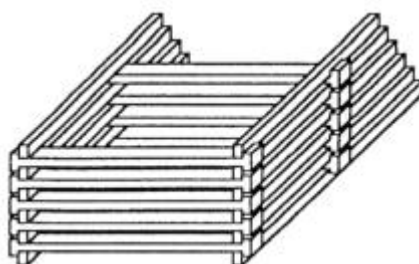
A execução de muros de gabiões é simples, não requerendo equipamentos ou mão de obra especializado, sendo uma solução utilizadas em obras de terra para controle de erosão, estabilização de taludes e para proteção de deslizamentos de terra. Devido a suas muitas propriedades e facilidade de execução o muro de gabião pode ser uma solução viável para estabilidades de taludes e movimentação de terras, porém os estudos geotécnicos devem ser realizados para melhor tomada de decisão.

4.3.1.4 Muros em fogueira ("crib wall")

A autora Gerscovich (2010), descreve os "Crib Walls" como estruturas compostas por componentes pré-fabricados de concreto armado, madeira ou aço, dispostos *in situ* em configuração semelhante a "fogueiras", conectados longitudinalmente e preenchidos internamente com material granular de grande porte.

Os muros em fogueira são muito utilizados nas construções que envolvem a estabilização de taludes e encostas, onde geralmente o objetivo é oferecer suporte para evitar erosão ou deslizamento de terra. A escolha desse tipo de muro deve atender a critérios do projeto elaborados por profissionais especializados na área de geotecnia e em estruturas de contenção, conforme a figura 11.

Figura 11 - Muro Crib wall.



Fonte: Gerscovich (2010)

4.3.1.5 Muros de sacos de solo- cimento ("Rip-rap")

Segundo Gerscovich (2010), os muros de sacos de solo-cimento são compostos por camadas que consistem em sacos de poliéster ou materiais semelhantes, os quais são preenchidos por uma mistura de cimento e solo numa proporção que varia entre 1:10 e 1:15 em volume. Os muros de sacos de solo-cimento são estruturas construídas por uma técnica sustentável que utiliza como materiais sacos cheios de solo estabilizado com cimento. Desta forma, o cimento cria paredes de contenção.

Por ser uma técnica natural sustentável sua ampla empregabilidade em várias partes do mundo é recorrente, o que torna esse método uma alternativa bastante viável para regiões onde há escassez de materiais ou equipamentos com custo elevado.

Figura 12 - Muros de sacos de solo-cimento.



Fonte: Gerscovich (2010)

4.3.1.6 MUROS DE PNEUS

O muro de solo-pneus é um muro de gravidade, constituindo através da combinação de pneus usados com solos. Isso garante simplicidade de construção e o custo reduzido (GeoRio, 1999, p.32). A utilização de pneus reciclados torna essa técnica sustentável além de ser uma alternativa viável para quem deseja construções ecológicas. Os pneus são construídos de borracha sintética, onde são reforçados com fibras e metais, resultando em material com elevada resistência a tensões radiais.

As propriedades mecânicas desse material permanecem mesmo finalizada sua vida útil como elemento de rodagem (DENISE MS et al., 2000). O que se torna um problema para o meio ambiente e assim o descarte desse material deve ser realizado de forma adequada. A utilização de pneus usados em obras geotécnicas apresenta-se como uma solução que combina a elevada resistência mecânica do material com baixo custo, comparativamente aos materiais convencionais (GeoRio, 1999, p.13).

Figura 13 - Detalhe da amarração com corda de polipropileno.



Fonte: Sieira (2000)

Um muro de pneus é uma estrutura construída com pneus reciclados chamados de pneus inservíveis, ou seja, materiais que finalizaram sua vida útil e não servem mais para o uso. Os pneus utilizados podem ser de automóveis menores ou de caminhões e depois de preenchidos com terra ou outro material que possua resistência necessária para a estrutura. Este tipo de estrutura pode ser uma alternativa viável para solucionar problemas de deslizamentos de taludes a baixo custo.

4.4 SISTEMA DE DRENAGEM

4.4.1 Influência da água

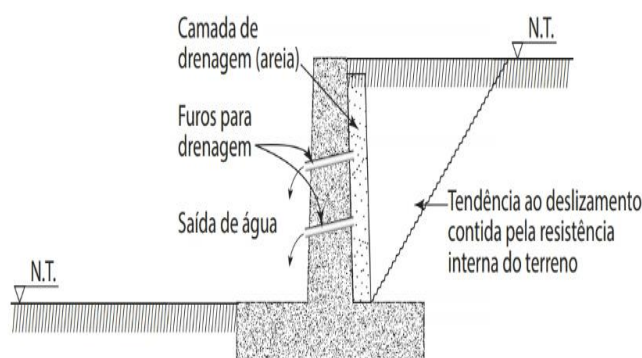
A drenagem em muro de arrimo é fundamental para garantir a estabilidade, a durabilidade e a segurança. As estruturas de contenção são projetadas para conter o solo em determinada área, principalmente em terrenos que apresentam inclinações ou em áreas que correm o risco de deslizamento de terra. Dessa forma, um projeto de drenagem adequada evita problemas como a erosão do solo, saturação solo, pressão hidrostática e patologias presentes na estrutura de contenção.

Para Botelho (2014), a retenção de água da chuva apresenta dois problemas que favorecem a tendência ou escorregamento ou aumentando desnecessariamente os esforços sobre a estrutura de contenção, os quais são:

- a) A existência de água preenchendo o volume de vazios, aumentando o grau de saturação do solo e o seu peso específico que, conseqüentemente aumenta os esforços atuante na estrutura de contenção.
- b) A umidade diminuindo a capacidade do solo de resistir as forças de cisalhamento, e com isso, podendo ocasionar deformações e deslizamento de terra.

Logo, um sistema de drenagem no muro de arrimo, se mostra de extrema importância para expelir a umidade do solo e evitar problemas na estabilidade da estrutura. Adiante a figura 14 apresenta alguns exemplos de sistema de drenagem.

Figura 14 - Exemplos de sistemas de drenagem em muro de arrimo.



Fonte: Botelho (2014)

Os acidentes envolvendo muros de arrimo frequentemente estão ligados ao acúmulo de água no solo, especialmente quando há presença de uma linha freática. Este fenômeno gera um aumento significativo no empuxo total exercido sobre o muro, podendo dobrar sua intensidade e eventualmente levar ao colapso da estrutura. Esse acúmulo de água pode causar impactos diretos, como a pressão exercida na face interna do muro, ou indiretos, ao reduzir a resistência do solo devido ao aumento das pressões intersticiais (GERSCOVICH, 2010).

Para garantir o desempenho adequado de uma estrutura de contenção, é crucial a implementação de sistemas eficazes de drenagem (GEORIO, 1999). As medidas visam mitigar o acúmulo de água no maciço, reduzindo assim o risco de sobrecarga e deterioração da estabilidade da estrutura. Portanto, investir em técnicas de drenagem adequadas é essencial para garantir a segurança e durabilidade dos muros de arrimo.

Para Botelho (2014, p.115) “Á água é a grande inimiga das obras de solos, também chamadas de obras de terra”. Os sistemas de drenagem podem ser superficiais ou internos dependendo do tipo de solo do local e das necessidades do projeto.

Nos sistemas de drenagem superficial pode ser utilizado proteção vegetal, que diminui o impacto da chuva sobre o solo evitando a erosão; a impermeabilização do solo, fazendo com que a água que precipita na superfície do talude seja direcionada para um local adequado (MELO, 2023

Para execução de um projeto de estrutura de contenção os sistemas drenagem são indispensáveis, pois são responsáveis por captar e conduzir as águas que incidem na superfície do talude, considerando-se não só a área da região estudada como toda a bacia de captação, segundo Alves (2017, p.21):

Em um muro de arrimo, o correto dimensionamento e a execução civil perfeita do sistema utilizado como reforço não terão desempenho satisfatório a longo prazo, caso o sistema de drenagem não for eficaz. As águas do lençol freático que porventura ocorram à montante do muro de arrimo, bem como o escoamento de águas pluviais, deve ser controladas para garantir o desempenho a longo prazo da estrutura.

Para isso se utiliza de vários dispositivos (canaletas transversais, canaletas longitudinais de descida (escada), dissipadores de energia, caixas coletoras etc.), a escolha do dispositivo em um projeto, depende de fatores como a natureza da área (ocupação densa, com vegetação etc.), as condições geométricas do talude, o tipo de material (solo/rocha).

Dependendo do local e das condições e características das estruturas será adotado o que mais se adequar ao projeto ou ao tipo de muro de arrimo. Deste modo, segundo a **NBR 11682** os tipos mais utilizados em estruturas de contenção são apresentados na tabela abaixo:

Tabela 2 – Tipos de drenagem

Tipo de drenagem	Descrição
Drenagem superficial	Os elementos de drenagem superficial devem ser preferencialmente moldados no local e calculados por métodos consagrados, considerando-se os mesmos critérios estabelecidos no item 7.3.1-d desta norma. Deverá ser verificado o local final de descarga do sistema de drenagem da encosta, evitando-se pontos de concentração não protegidos contra a erosão, devendo ser adotadas bacias de amortecimento quando necessário.

Drenos profundos	São utilizados para manter rebaixado o lençol freático e devem ser dimensionados através de estudos geológicos e hidrológicos. No caso de maciços rochosos fraturados, devem interceptar o maior número possível de fraturas. São geralmente constituídos de tubos plásticos perfurados e envolvidos com geotextil. Para permitir avaliar a eficiência dos drenos as vazões devem ser medidas em intervalos definidos no Projeto.
-------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fonte: adaptado

A escolha da técnica de drenagem mais adequada depende de uma análise detalhada do solo, incluindo sua composição, o nível do lençol freático, as condições climáticas e os recursos financeiros disponíveis. Essa análise visa garantir que a solução adotada seja capaz de proporcionar um resultado satisfatório sem comprometer a estabilidade da estrutura. É essencial seguir todas as etapas prévias ao projeto e cumprir as normas regulamentadoras pertinentes para assegurar a eficácia e a segurança da instalação de drenagem.

4.5 PROJETO DE MURO DE ARRIMO

Antes de iniciar um projeto de muro de arrimo é importante que os responsáveis da construção utilizem normas e regulamentos brasileiros para garantir os parâmetros de qualidade e segurança em suas construções. Cada muro de arrimo tem suas especificidades, ou seja, cada um apresenta vantagens e desvantagens em relação a durabilidade, custo, resistência, período de obra, materiais, funcionalidade, processo de execução e finalidade desejada:

Os projetos envolvendo obras de contenção são aqueles com elementos destinados a contrapor-se aos esforços estáticos provenientes do terreno e de sobrecargas e/ou permanentes. Todas as estruturas de contenção deverão ser projetadas para suportar, além de esforços provenientes do solo, uma sobrecarga acidental mínima de 20 kPa, uniformemente distribuída sobre a superfície do terreno arrimado. A utilização de valores inferiores para sobrecarga acidental deverá ser devidamente justificada pelo projetista (NBR, 11682, 2009, p. 9).

A escolha adequada depende de fatores como a condições do local, solo, objetivo da construção, orçamento e estéticas do projeto. É importante consultar profissionais habilitados (engenheiros civil ou geotécnico) com conhecimento

necessário para desenvolver a obra para que se alcance os objetivos do projeto. Adiante, serão abordadas as prescrições normativas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) sobre a estabilidade de taludes (NBR 11682).

4.5.1 Norma- NBR- 11682- Estabilidade e Encostas

A Norma relacionada a Estabilidades e Encostas prescreve os requisitos exigíveis para o estudo e controle da estabilidade de encostas e de taludes resultantes de cortes e aterros realizados em encosta (ABNT, 2009). Essa norma também estabelece procedimentos e etapas referentes as condições para a realização do estudo, projeto, execução, controle e observação de obras de estabilização.

De acordo com as diretrizes estabelecidas pela ABNT em 2009, são delineados os estudos referentes à estabilidade de encostas e à mitigação dos efeitos de sua instabilidade em áreas delimitadas previamente. O objetivo é estabelecer as intervenções a serem consideradas, detalhando os procedimentos necessários na elaboração de estudos e projetos, na realização de obras ou serviços de implementação, no acompanhamento desses processos e na manutenção das estruturas resultantes. Essa norma estabelece condições específicas tanto para estudos quanto para obras em taludes individuais. Neste contexto, as etapas obrigatórias desenvolvidas pela NBR 11682, estão na tabela abaixo.

Esta norma define, dentro de uma organização cronológica, as etapas e as prescrições a respeito da estabilidade de encostas em áreas específicas, conforme tabela 3.

Tabela 3 – Etapas e prescrições de acordo com o item 4 da NBR 11682

Procedimentos	Descrição
Procedimentos Preliminares	Este procedimento é de caráter obrigatório e visa o conhecimento das características do local, a consulta a mapas e levantamentos disponíveis, a verificação de restrições legais e ambientais, a elaboração de laudo de vistoria, a avaliação da necessidade de implantação de medidas emergenciais e a programação de investigações geotécnicas e geológicas.

Investigações	Incluem investigações geotécnicas, geológicas e outras, inclusive geomorfológicas, topográficas e geo-hidrológicas. Abrangem levantamentos locais, coleta de dados, ensaios “in situ” e de laboratório, bem como o uso de instrumentação adequada para estabelecer um modelo geotécnico-geológico.
Projeto	Esta etapa corresponde à caracterização do perfil geológico-geotécnico (uma seção ou mais), incluindo definição do modelo de cálculo com os respectivos parâmetros, diagnóstico e concepção do projeto (com possíveis alternativas) e detalhamento da obra com as respectivas fases de execução.
Execução de Obra	Abrange as considerações básicas de técnicas de execução, sequencia executiva, detalhes de acabamentos, segurança e controle de qualidade, bem como a documentação necessária para arquivo, incluindo os ajustes executados no projeto durante as obras, em documento de revisão do projeto como construído (“as built”).
Acompanhamento	O acompanhamento técnico durante a fase de execução é obrigatório e deve ser realizado pelo projetista da obra. Os critérios de acompanhamento das obras durante a execução, tem por objetivo garantir o fiel cumprimento do projeto, incluindo as adaptações necessárias para manutenção.
Manutenção	Esta norma caracteriza e define, as necessidades de manutenção das obras em encostas, pós construção. Desta forma, tem por objetivo manter as características de sua concepção e utilização para garantir a durabilidade das obras e a manutenção da estabilidade da encosta ao longo do tempo, de acordo com o “Manual do Usuário”.

Fonte: adaptado

Todas as etapas devem ocorrer de acordo com os parâmetros estabelecidos em norma, ou seja, de forma organizada para proporcionar estabilidade dos taludes e encostas, evitando o colapso das estruturas e alcançado os objetivos do projeto.

4.5.2 Utilização de pneus

No século XIX, a invenção de pneus de borracha sólida, através do processo de vulcanização da borracha sólida por Charles Goodyear e outros inventores permitam a produção que viesse atender outras utilidades como em carruagens e bicicletas, proporcionando melhores condições de locomoção, além de facilitar o transporte de cargas e passageiros, torna-o uma viagem mais suave em comparação com os antigos pneus de madeira.

Em 1888, foi a vez da criação dos Pneus Pneumáticos pelo escocês John Boyd. Em sua criação, o Dunlop inventou o primeiro pneu pneumático moderno para bicicletas. Sua criação consistia na criação de uma câmara de ar de borracha envolta em tecido, revestido com uma camada de borracha macia. Este pneu pneumático proporcionava uma condução mais suave e confortável em comparação com os pneus sólidos.

No final do XIX e início do século XX, foi a vez da produção de pneus para automóveis para atender a demanda dos veículos no mercado automobilístico. Empresas como Michelin, Firestone, Goodyear e Pirelli começaram a produzir pneus pneumáticos especialmente projetados para carros.

Na década de 1940, uma criação de Pneus Radicais revolucionou a indústria, criado pelo engenheiro francês Édouard Michelin, onde desenvolveu os pneus radiais apresentavam uma estrutura de carcaça mais flexível e um cinto de aço radial, proporcionando melhor aderência, durabilidade e eficiência de combustível em comparação com os pneus convencionais. Em seguida a série de avanços tecnológicos na fabricação, incluía materiais mais leves, compostos de borracha avançados, designs de banda de rodagem otimizados e tecnologia de monitoramento de pressão dos pneus (TPMS).

Com a grande demanda de pneus ao longo da história, esse material esteve voltado ao desenvolvimento econômico, porém apresentam um risco a saúde quando jogado de forma inadequada, tendo em vista isso, houve um aumento do foco na sustentabilidade na indústria de pneus, para isso foram criadas políticas para minimizar os impactos e para manter os esforços para desenvolver pneus mais eco-friendly e aumentar as taxas de reciclagem de pneus usados. Muitas empresas estão

explorando formas inovadoras de reciclar e reutilizar pneus descartados para reduzir seu impacto ambiental.

4.5.3 O descarte de pneus inservíveis no Brasil

A construção civil desempenha um papel importante na economia do Brasil, sendo assim uma medida proporcional entre o crescimento da indústria civil e o desenvolvimento das cidades. Os problemas ambientais causados pelos pneus inservíveis se tornaram um grande desafio, devido à grande quantidade existente e o descarte inadequado, tornando-se assim um grande fator de degradação ambiental (COELHO et al., 2014). Para Ferreira et al (2024), destaca que:

O ramo da construção civil está entre os segmentos que mais contribuem para o desenvolvimento do país. Seu crescimento tem impactado positivamente na geração de empregos e na economia. Por outro lado, a má gestão dos resíduos das obras causa forte impacto negativo ao meio ambiente. O país recicla muito pouco da quantidade de resíduos que produz.

Os pneus são compostos de vários materiais, entre eles borracha vulcanizada, metais e fibras, esses materiais são resistentes e podem levar centenas ou milhares de anos para se degradar totalmente, Silva (2006), relata:

Com a atual industrialização, a geração de pneus inservíveis vem crescendo a cada dia nos centros urbanos. O pneu é um resíduo difícil de se degradar no meio ambiente, sendo muitas vezes, descartado de forma incorreta, causando um enorme impacto ao meio ambiente e a saúde pública.

A decomposição do pneu depende do meio à qual está inserido, ainda que, realizada a coleta adequada e os pneus sejam jogados em aterros sanitários, eles podem liberar em sua decomposição substâncias químicas prejudiciais para o solo e os lençóis freáticos. Com a alta demanda no mercado o pneu tem uma crescente produção o que gera uma preocupação referente ao descarte desse material. Ferreira et al (2024) destaca essa ideia:

Os problemas decorrentes da má destinação de pneus têm sido um tema central nas discussões sobre seus impactos no solo, no ar e na água. Durante sua vida útil, os pneus liberam fragmentos no ar que podem causar reações alérgicas. Quando descartados, tornam-se estruturas difíceis de eliminar devido à sua longa vida útil e ao tamanho, o que dificulta o armazenamento

adequado. A falta de locais apropriados para deposição resulta em seu abandono clandestino, aumentando os desafios estaduais na luta contra doenças e degradação ambiental.

A Resolução do CONAMA nº. 416/2009 estabelece que, para cada pneu novo comercializado para no mercado de reposição, as empresas fabricantes ou importadoras deverão dar destinação adequada a um pneu inservível (relação 1:1).

Desta forma, é importante encontrar formas sustentáveis para minimizar os problemas causados pelo descarte de pneus, algumas alternativas são adotadas no Brasil como reciclagem, reutilização em projetos de construção, produção de combustível alternativo ou utilização em aplicações industriais, essas medidas podem minimizar os impactos ambientais negativos associados à sua eliminação.

5 METODOLOGIA

O presente estudo foi desenvolvido por meio de uma extensa revisão bibliográfica, a qual abrangeu uma ampla gama de fontes, incluindo artigos científicos, revistas eletrônicas especializados e livros técnicos. A pesquisa foi conduzida com base em uma análise detalhada do histórico dos estudos sobre solos, contemplando os diferentes tipos de solos, as características dos taludes, as diversas tipologias de muros de arrimo e, em particular, o processo de execução de muros de arrimo construídos a partir de pneus inservíveis. O estudo também abordou o dimensionamento técnico desses muros, o sistema de drenagem associado e seus efeitos diretos e indiretos sobre a resistência e durabilidade da estrutura de contenção, em consonância com as diretrizes normativas da **ABNT NBR 11682/2009**, que regulamenta a execução de estruturas de contenção.

Ademais, o caráter desta pesquisa pode ser classificado como exploratório, uma vez que busca investigar de maneira aprofundada um tema que, embora promissor, ainda demanda maior fundamentação técnica e acadêmica. O objetivo central deste trabalho reside na apresentação de conhecimentos relevantes para a análise crítica das vantagens e desvantagens associadas à implementação de estruturas de contenção de taludes utilizando pneus inservíveis como material construtivo. Tal análise pretende oferecer subsídios tanto para a comunidade técnica quanto para a formulação de políticas públicas que visem à sustentabilidade e à inovação no uso de materiais recicláveis em obras de engenharia civil.

Ao abordar o uso de pneus inservíveis, o estudo destaca a importância de considerar não apenas o desempenho estrutural, mas também aspectos ambientais, econômicos e normativos. Desta forma, a reutilização de pneus em estruturas de contenção pode representar uma solução viável e sustentável, entretanto, a sua implementação exige um rigoroso controle técnico e uma avaliação criteriosa dos riscos e limitações.

5.1 PROCESSO DE EXECUÇÃO DE MURO DE PNEUS

Os muros de pneus são construídos a partir do lançamento de camadas horizontais de pneus, amarrados entre si com corda ou arame e preenchidos com solo compactado. Funcionam como muros de gravidade e apresentam como vantagens o

reuso de pneus descartados e a flexibilidade (GERSCOVICH, 2010, p.8). A escolha desse tipo de muro pode ser uma ótima alternativa, pois combina a elevada resistência mecânica do material com os custos reduzidos, se comparada com os materiais convencionais.

O processo de execução do muro de pneus, é simples, no entanto requer cuidado e atenção para que todas as etapas sejam executadas de forma correta para garantir segurança, durabilidade e resistência da estrutura. Antes do processo de execução se faz necessário o estudo do solo, bem como o tipo de talude presente na região a ser construída a estrutura.

Esta norma define, dentro de uma organização cronológica, as etapas e as prescrições a respeito da estabilidade de/encostas em áreas específicas.

5.1.1 Preparação do local

A preparação do local é uma etapa muito importante no processo de execução do muro de pneus, o procedimento adequado visa garantir a estabilidade e durabilidade da estrutura. Tendo em vista que área de estudo pode ser influenciada por fatores externos e mais abrangentes e/ ou legais, devem ser consideradas e analisadas tais condicionantes, antes do estudo específico para o local, (ABNT, 2019).

Tabela 4 – Etapas da preparação

Preparação do local	Descrição das etapas da preparação
Planejamento e Projeto	<p>Etapas destinada a realizar os procedimentos iniciais como:</p> <p>Desenho do projeto: parte correspondente ao plano detalhado do projeto do muro de pneus, devem conter no projeto, as dimensões, localização e função da estrutura.</p> <p>Autorização e licenças: deve-se verificar quais licenças ou autorizações são necessárias para construção de muro no local escolhido.</p>

<p>Escolha do Local</p>	<p>Análise do solo: Realizar o estudo geotécnico para avaliar que tipo de solo está presente no local, solos muitos arenosos ou argilosos.</p> <p>Topografia: Descrição detalhada das características do local.</p>
<p>Marcação do Local</p>	<p>Estacas e Cordas: Para marcação deve-se usar estacas de madeira ou metal e cordas para delimitar o perímetro do muro. As linhas devem ser retas e no alinhamento correto.</p> <p>Nivelamento: Esta etapa consiste em aplanar o terreno para receber as devidas intervenções para a construção do muro de contenção.</p>
<p>Limpeza do Terreno</p>	<p>A limpeza do terreno é realizada para eliminar pedras, vegetação ou qualquer material que possa gerar problemas na construção do muro.</p> <p>A escavação é realizada de acordo com o projeto e suas especificações considerando as condições do solo para que possa acomodar as bases dos pneus.</p>
<p>Preparação da Fundação</p>	<p>Drenagem: No processo de drenagem do muro são adicionados uma camada de aproximadamente 10 cm de espessura de cascalho ou brita no fundo da vala para facilitar a drenagem.</p> <p>Compactação: Na compactação podem ser utilizados compactador manual ou mecânico para garantir uma base sólida e nivelada.</p>

	Verificação do Nível: essa etapa se faz necessário para avaliar se a base do cascalho está totalmente nivelada ou se precisa de ajustes.
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fonte: Resultado da pesquisa

Para a realização desta etapa se faz necessário a utilização dos equipamentos de proteção individual (EPIs), bem como a verificação do tipo de solo e sua estabilidade, solos muito arenosos ou argilosos podem necessitar de adição de uma camada de concreto na base para garantir a estabilidade da estrutura.

5.1.2 Coleta do de pneus

A etapa da coleta de pneus é fundamental para o processo de execução do muro de contenção, pois este será o material necessário para construir a estrutura. A escolha dos pneus a serem utilizados deve considerar a facilidade de obtenção dos mesmos nas proximidades do local da obra. (GERSCOVICH, et al. 2000). A tabela abaixo mostra o passo a passo da coleta de pneus.

Tabela 5 – Etapas da coleta dos pneus

Coleta de pneus	Descrição do passo a passo para a coleta de Pneus
Planejamento da coleta	No planejamento é necessário realizar a estimativa de quantidade, para realização do cálculo para determinar a quantidade deve-se considerar a altura do muro. Outro fator refere-se ao tamanho dos pneus que devem ser de tamanho uniforme para garantir a estabilidade e facilitar a construção.
Negociação e Logística	Para adquirir os pneus de forma gratuita ou a com preços reduzidos, é importante que ao negociar com fornecedores apresentem os objetivos ambientais do projeto e seus benefícios a longo prazo a sociedade considerando também a logística dos transportes, dos pneus. Essa etapa requer planejamento adequado, visando garantir menor custo e qualidade dos pneus.

Inspeção dos Pneus	Após a etapa de negociação, a próxima etapa é a inspeção de cada pneu coletado para verificar as condições. Pneus danificados ou com deformações devem ser descartados para não comprometer a estabilidade do muro de contenção. A etapa seguinte é realizar a limpeza de pneus limpos para remover qualquer sujeira presente, buscando evitar problemas na construção.
Armazenamento dos Pneus	Para agilizar a construção deve-se armazenar os pneus em um local seguro de forma organizada para facilitar a montagem do muro.

Fonte: Autor

A coleta de pneus deve ser realizada de forma planejada e organizada, visando minimizar os impactos ambientais gerados pelo descarte desse tipo de material na natureza, quando utilizado na construção civil proporciona resistência e durabilidade das estruturas, a baixo custo e ainda evita degradação do meio ambiente.

5.1.3 Empilhamentos dos pneus

A etapa dos empilhamentos dos pneus é essencial para garantir a estabilidade e durabilidade do muro, o procedimento deve ser realizado de forma planejada, organizada e monitorada para não comprometer o sucesso da execução do muro de contenção. Abaixo a tabela demonstra o passo a passo dos empilhamentos de Pneus.

Tabela 6 – Etapas do empilhamento dos pneus

Passo a passo para o Empilhamento de Pneus	Descrição
	<p>A fundação: é preparada e verificada de acordo com projeto de contenção.</p> <p>Materiais: a preparação é construída principalmente de pneus, terra ou mistura de terra e cimento, sendo a compactação desses materiais serão</p>

Preparação inicial	realizadas com ferramentas de compactação e equipamentos de proteção individual.
Posicionamento Primeira camada	<p>Primeira camada: os pneus devem ser alocados lado a lado na vala preparada, começando pelos cantos.</p> <p>Nível: Para garantir a estabilidade das camadas subsequentes.</p> <p>Preenchimento: Os pneus devem ser preenchidos com terra ou mistura de terra cimento, bem compactado para garantir a estabilidade dos pneus.</p>
Construção das Camadas Sucessivas	<p>Posicionamento: a segunda camada deve ser colocada posicionada em cima da primeira, escalonando-os com tijolos para melhorar a estabilidade.</p> <p>Verificação do Nível: a verificação se faz necessário para garantir que cada camada esteja alinhada.</p> <p>Preenchimento: cada pneu deve ser preenchido com terra ou com a mistura de terra cimento, com o auxílio da marreta deve ser compactado.</p>
Repetição do Processo	<p>Repetir: a repetição do processo em cada camada, deve ser realizada da mesma forma, sendo bem compactada e sempre verificando o nível.</p> <p>Altura: deve -se verificar se altura do muro está de acordo com as especificações do projeto, para garantir a segurança da estrutura.</p>

Reforço e Estabilidade	<p>Ancoragem: Para muros mais altos, deve-se considerar ancorar os pneus à estrutura do solo com barras de aço ou madeira para maior estabilidade.</p> <p>Drenagem: a instalação de sistema de drenagem, como tubos para evitar o acúmulo de água atrás do muro, possibilitando o colapso do muro.</p>
Acabamento Final	<p>Top Layer: Esse procedimento consiste na certificação que todos pneus estão alinhados e preenchidos</p>

Fonte: Autor

5.1.4 Compactação

Entende-se por compactação dos solos o melhoramento artificial de suas propriedades por meios mecânicos que provocam a redução do índice de vazios via compressão ou expulsão dos gases (MURRIETA, 2018, p.109). O processo consiste em reduzir o volume para melhorar a resistência. O processo de compactação é a uma etapa de extrema importância para a construção do muro de arrimo de pneus, quando executada de forma adequada garante a estabilidade, segurança e durabilidade da estrutura, conforme cita Murrieta (2018, p.109):

A importância da compactação dos solos está no aumento e na estabilização da resistência, na diminuição da deformabilidade e na redução da permeabilidade que se obtém ao sujeitar o solo a técnicas convenientes que aumentam seu peso específico e diminuem seus vazios.

Portanto, para a execução correta alguns procedimentos devem ser seguidos. Conforme, a tabela a seguir.

Tabela 7– Procedimentos para a compactação do Muro de Arrimo

Passo a passo	Descrição
----------------------	------------------

<p>Preparação Inicial</p>	<p>Os equipamentos necessários para a execução da compactação são:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Compactador manual ou mecânico; • Pá e enxada; • Marreta; • Terra ou mistura de terra com cimento; • Equipamentos de proteção individual.
<p>Compactação da Fundação</p>	<p>A compactação da fundação é executada com a base de Cascalho ou de brita, o processo consiste em adicionar cada camada com a espessura de aproximadamente 10 cm.</p>
<p>Preenchimento e Compactação dos Pneus</p>	<p>Para o início do preenchimento da primeira camada, os pneus devem ser alocados lado a lado na vala, de forma que estejam sempre alinhados. Todos os pneus devem ser preenchidos com terra ou com mistura de terra e cimento. Para auxiliar no processo de compactação é necessário o uso da marreta para compactação do material no qual, o processo consiste em compactar camada por camada, adicionado pequenas quantidades do material para facilitar o processo e diminuir os vazios proporcionado a resistência do muro.</p>
<p>Técnicas de Compactação</p>	<p>As camadas devem ser finas e conter a espessura de aproximadamente de 10 cm, o lançamento das camadas ocorre por parte, para que proporcione melhor compactação e não haja vazios dentro dos pneus e ocasione pontos fracos que possa levar a instabilidade da estrutura. Além de serem finas, devem ser uniformes para diminuir o índice de vazios e ocasionar problemas na estrutura. Para</p>

	compactar o material dentro dos pneus é necessário a utilização da marreta.
Verificação de Estabilidade	<p>Após a compactação do material dentro dos pneus é necessário verificar a estabilidade de cada camada antes de adicionar a seguinte. Em cada camada os pneus devem estar firmes.</p> <p>O Monitoramento é outro fator importante na verificação de estabilidade, o acompanhamento adequando nessa etapa compromete diretamente a estabilidade da estrutura. Portanto, em toda construção o monitoramento deve ser contínuo para corrigir qualquer desnível ou estabilidade.</p>
Acabamento	<p>Para o acabamento, na última camada superior deve estar bem alinhada e o material presente nos pneus devem estar bem compactados. No caso, do reboco é indicado dos fins estéticos da estrutura, sendo esta etapa opcional.</p>

Fonte: autor

5.1.5 Opções adicionais

As opções adicionais são inseridas com o objetivo de melhorar a estética e o funcionamento, e surge como uma opção de aumentar a utilidade e ajudar na durabilidade do muro de pneus. Cada etapa deve ser planejada cuidadosamente para garantir que ela se integre ao design existente e atenda às suas necessidades específicas. Abaixo as opções que podem ser adicionadas no muro de arrimo.

Tabela 8 – Etapas adicionais

Opções adicionais	Descrição
Reboco e Acabamento Estético	A aplicação da camada de reboco consiste em adicionar a mistura de cimento, areia e água. Para tornar o acabamento mais uniforme e proteger de elementos climáticos. É necessário a utilização de ferramentas de acabamento para criar texturas ou padrões no reboco, como relevos ou designs decorativos. Para finalizar a etapa do reboco, espera-se secar e pintar com tintas específicas para exteriores que sejam de boa qualidade e que combine com acabamento estético desejado.
Paisagismo	Para o paisagismo pode-se utilizar vasos de plantas como flores, ervas, ou outras de sua escolha integrados no muro dentro dos pneus para criar um jardim vertical. Uma boa escolha é plantar trepadeiras na base do muro com objetivo de crescer e cobrir a estrutura, proporcionando um design natural e verde.
Funcionalidades Adicionais	Para funcionalidade pode criados áreas de estar, onde podem ser adicionados bancos ou assentos integrados ao muro de pneus. Também podem ser acionados prateleiras ou nichos dentro do muro para armazenamento de ferramentas de jardim, brinquedos ou outros itens.
Materiais Reciclados	A adição de materiais reciclados são uma ótima opção sustentável que ajuda a melhorar a estética do muro. Ao adicionar garrafas de vidro coloridas nos pneus podem

	criar padrões de luz e cor quando iluminada pelo sol. Outro material que pode ser utilizado são as tábuas de madeira reciclada para criar coberturas, prateleiras ou elementos decorativos no muro.
Proteção Adicional	Para a melhor proteção utiliza-se aplicação de selantes impermeabilizantes sobre o reboco para proteger contra infiltração de água e prolongar a vida útil da estrutura.

Fonte: Autor

5.1.6 Considerações de segurança

Cada etapa constitui um processo importante do projeto e deve seguir as normas regulamentadoras incluindo as normas referentes aos órgãos de meios ambiente. Devido as substancias presentes nos pneus é necessário que o planejamento e o desenvolvimento do projeto atendam aos quesitos de segurança e durabilidade da estrutura.

Figura 15 - Muros de pneus



Fonte: Gerscovich (2010)

A resistência desse tipo de estrutura pode variar de acordo com alguns fatores, entre eles as técnicas de construção, tipos de pneu, projeto estrutural, funcionalidade do muro e o material utilizado dentro do pneu. No entanto, quando construído de forma correta com o material adequado, o muro de pneus apresenta alta resistência e

capacidade de suportar altas cargas. A tabela abaixo apresenta alguns dos fatores que influenciam a resistência do muro de pneus.

Tabela 9 – Fatores que influenciam a resistência do muro de pneus

Fatores que influenciam, a resistência do muro de pneus	Descrição
Compactação adequada	A compactação de solos consiste no procedimento de melhorar as propriedades do terreno através de processos manuais ou mecânicos, reduzindo os seus vazios pela aplicação de pressão, impacto ou vibração (LEITE, 2020). O processo de compactação do material dentro dos pneus é essencial para garantir uma estrutura sólida e coesa. Desta forma, o material dentro do pneu deve ser bem compactado a meio de diminuir o índice de vazios, diminuindo a umidade e também ajudando a distribuir as cargas e aumentando a resistência do muro.
Alinhamento e nivelamento	O alinhamento e nivelamento são etapas fundamentais para garantir a distribuição de cargas uniformes ao longo da estrutura. Quando construídas de forma correta aumentam a resistência.
Material de preenchimento dos pneus	Os materiais utilizados são terra compactada, cascalho ou pedra britada, esses materiais proporcionam uma base sólida e resistente, aumentando assim a resistência do muro.
	A manutenção periódica do muro, se faz necessário para garantir a estabilidade e

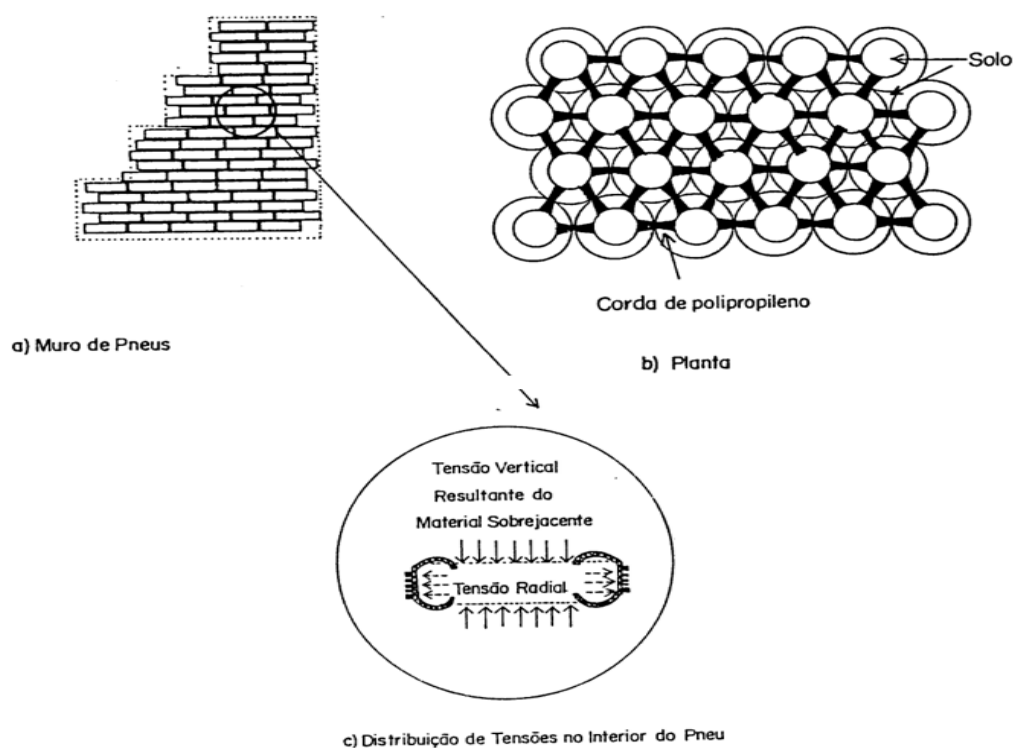
Manutenção adequada	durabilidade da estrutura. Desta forma, é possível verificar problemas como rachaduras, drenagem inadequada, ou seja, qualquer dano ao muro de pneus.
----------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fonte: Autor

5.1.7 Detalhes construtivos para muros de pneus

Este tipo de muro se aplica em situações onde é possível se escavar uma base compatível com a altura do muro; isto é, da ordem de 50% a 60% da altura do muro como está descrita na figura 16 (Gerscovich, 2010, p.41).

Figura 16 - Esquema do muro de pneus.



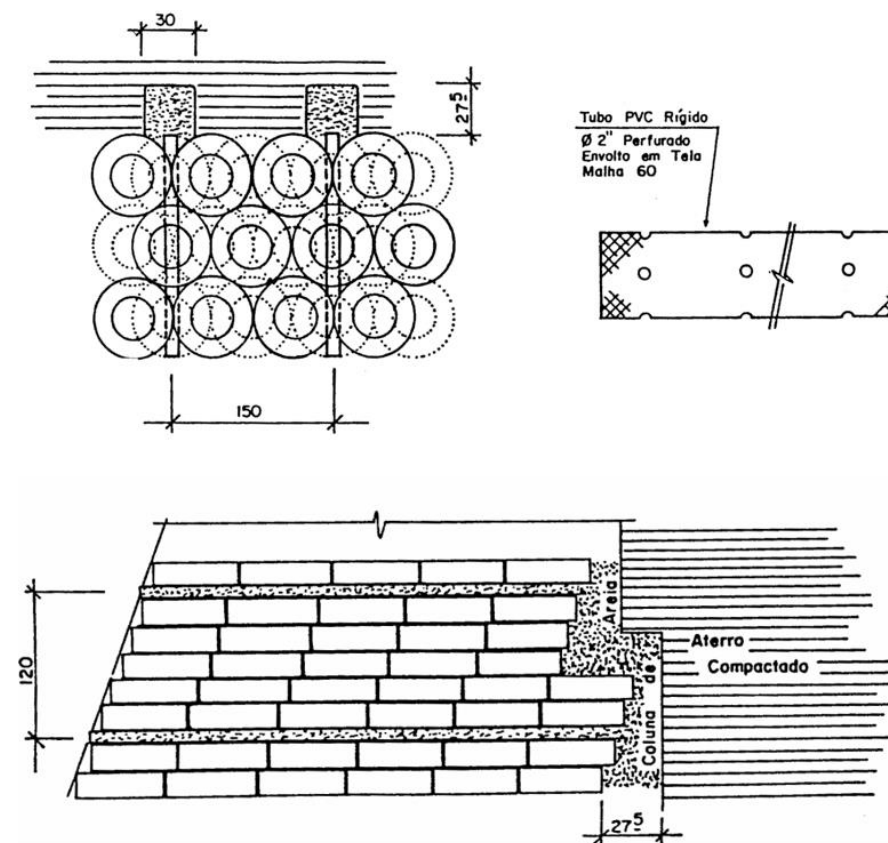
Fonte: Gerscovich (2010)

5.1.7.1 Materiais

Para execução do muro deverão ser utilizados os seguintes materiais (GERSCOVICH 2010, p.41).

- i) pneus usados com diâmetro semelhantes, podendo ser radiais ou não, e de preferência sem cortes na banda de rodagem. Não se aconselha o uso de pneus que já tenham sido aterrados ou dispostos em lixeiras por longo período de tempo.
- ii) arame ou corda de polipropileno de 6mm de diâmetro como elemento de amarração entre pneus.
- iii) tubos PVC de 2pol de diâmetro, como elemento de drenagem interna, perfurados e envoltos com tela malha (Figura 17).

Figura 17- Drenagem interna.

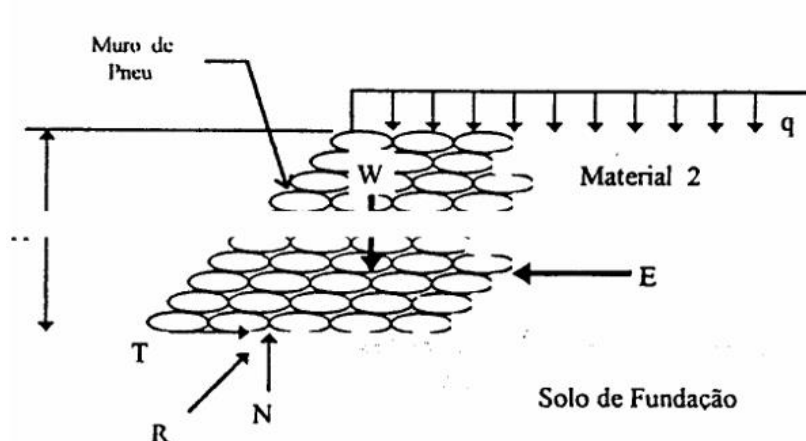


Fonte: Gerscovich (2010)

5.1.7.2 Dimensionamento

O dimensionamento segue mesmas metodologias adotadas para muros de gravidade (GERSCOVICH 2010, p.41).

Figura 18 - Dimensionamento



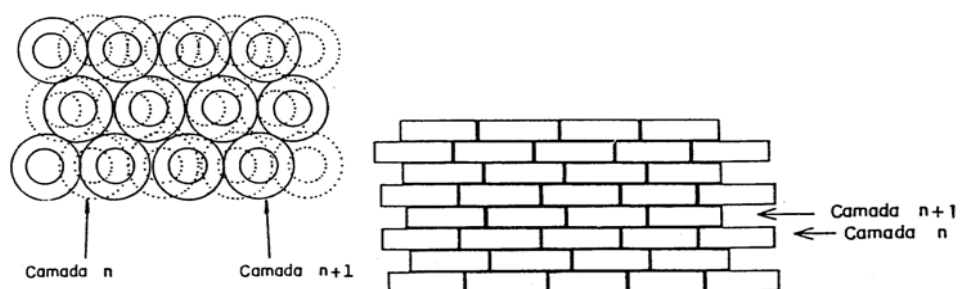
Fonte: Gerscovich (2010)

5.1.7.3 Execução

Para execução do muro deverão ser utilizados os seguintes critérios (GERSCOVICH 2010, p.43).

i) Posicionamento dos Pneus: A primeira camada será lançada, dispendo-se os pneus, na horizontal, em um número de linhas necessária a cobrir a base prevista em projeto. As sucessivas linhas devem ser dispostas de forma a garantir o maior preenchimento do espaço entre pneus.

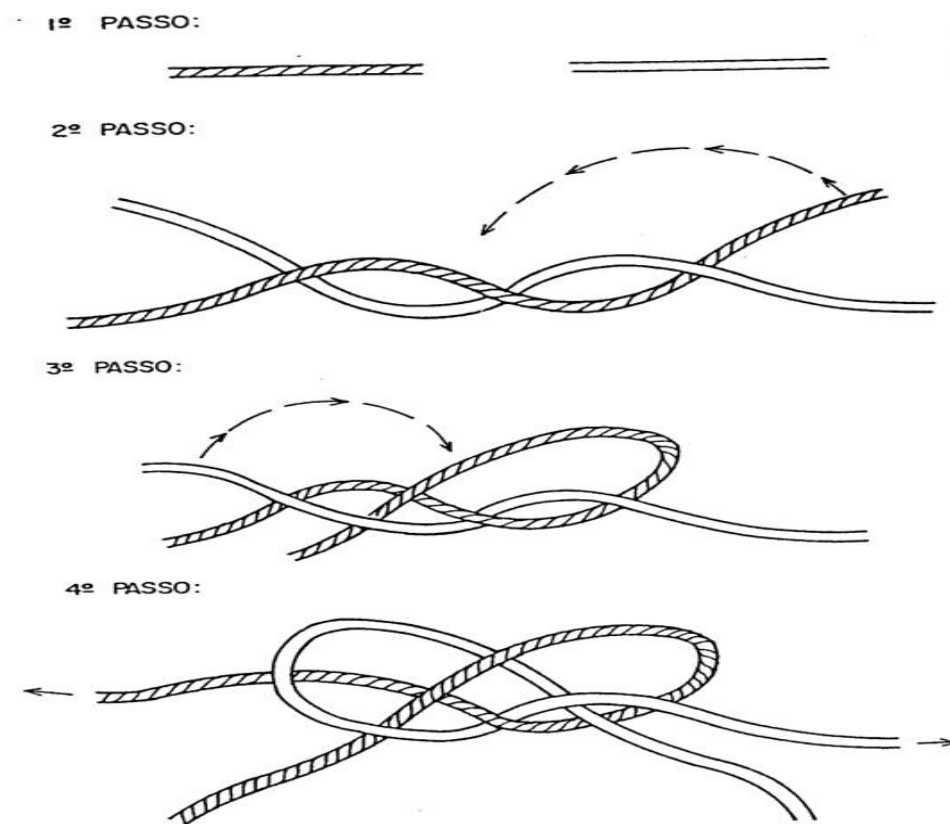
Figura 19- Posicionamento dos pneus



Fonte: Gerscovich (2010)

ii) Amarração dos pneus

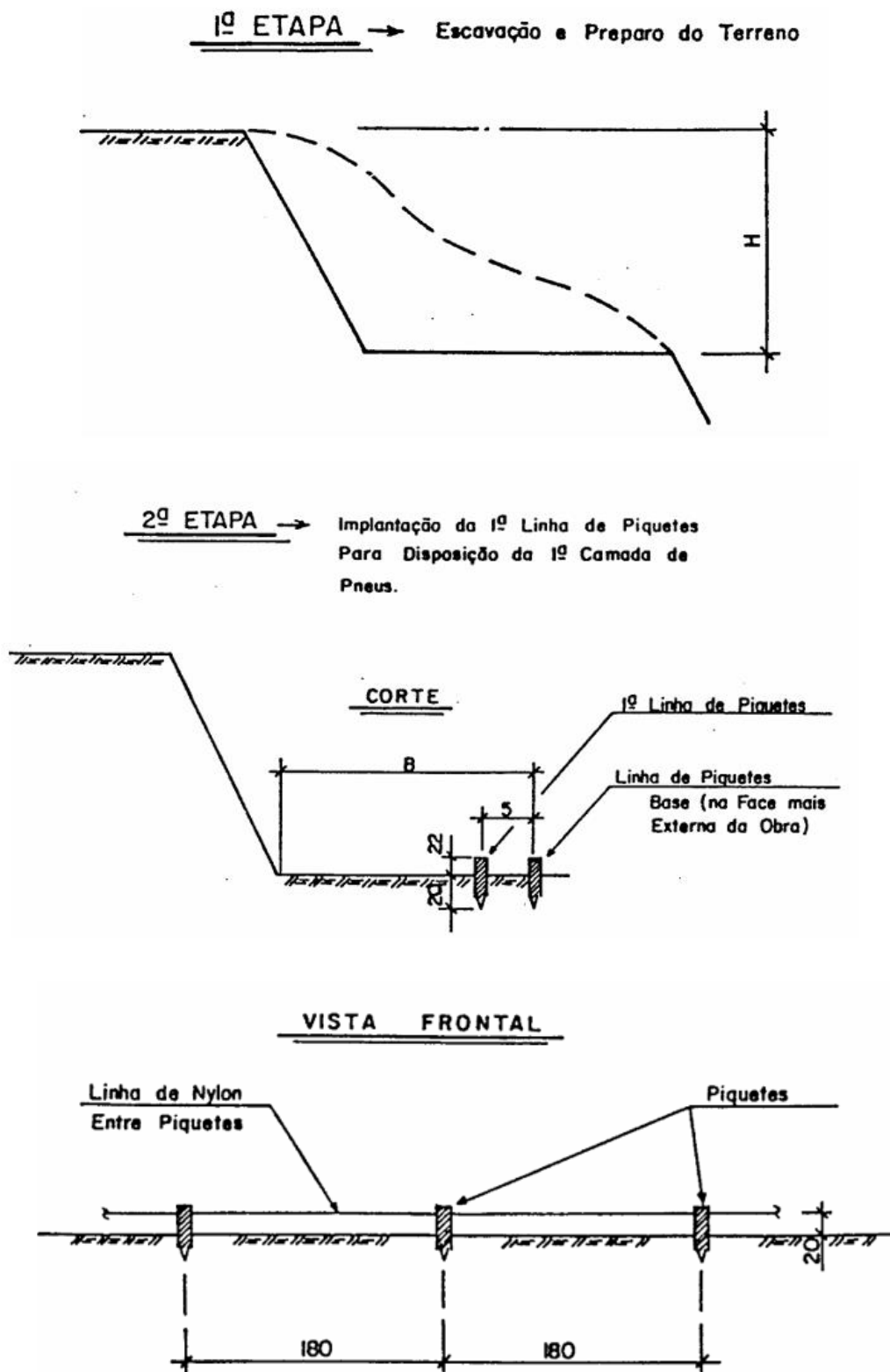
Figura 20 - Amarração



Fonte: Gerscovich (2010)

- iii) Sequência da construção
- iv) Dos pneus: A primeira camada será lançada, dispondo-se os pneus, na horizontal, em um numero

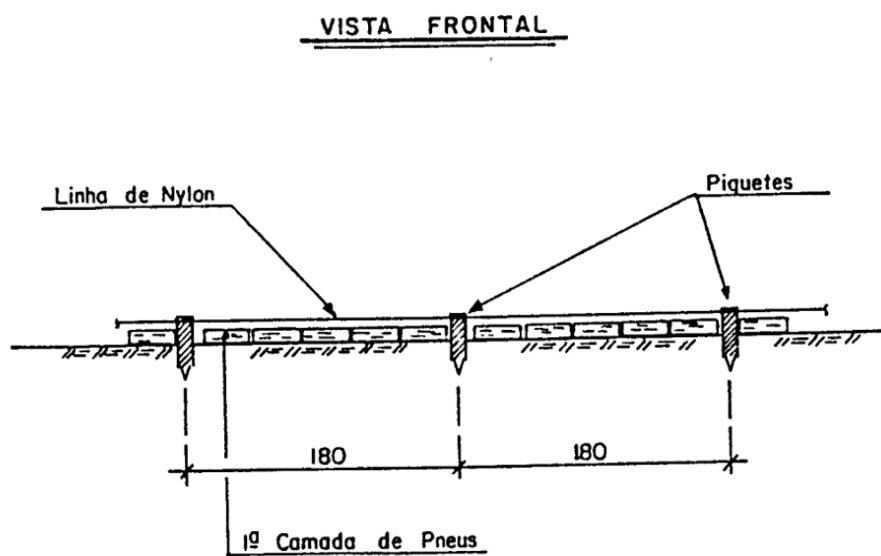
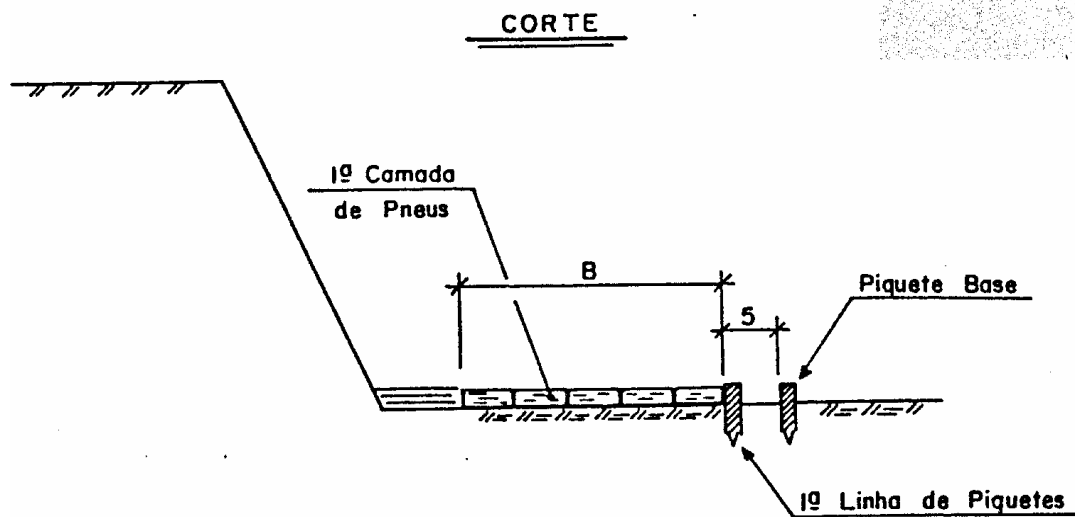
Figura 21- Etapas do processo de execução



Fonte: Gerscovich (2010)

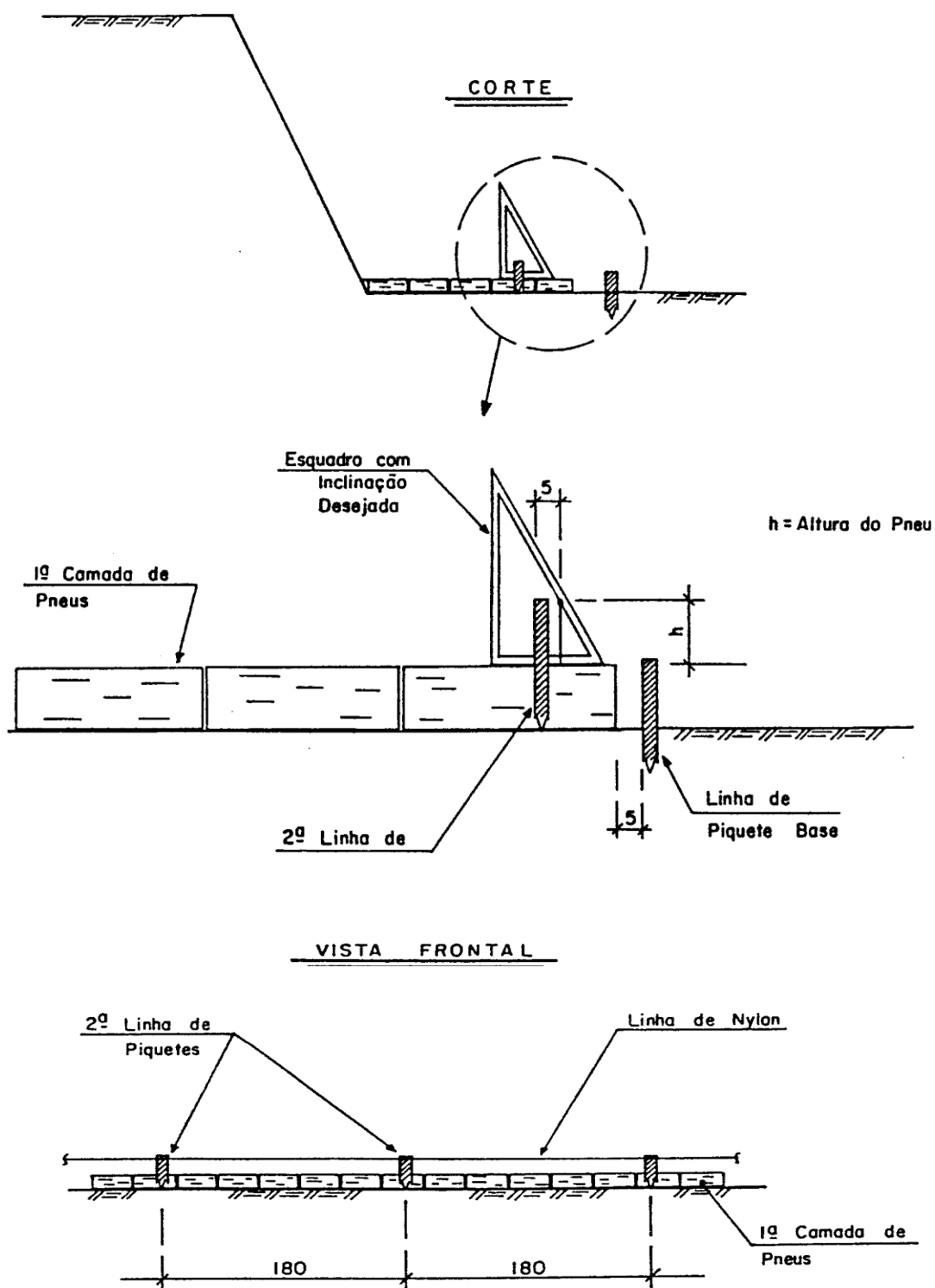
Figura 22 - 1ª Camada de Pneus

3ª ETAPA → Colocação da 1ª Camada de Pneus



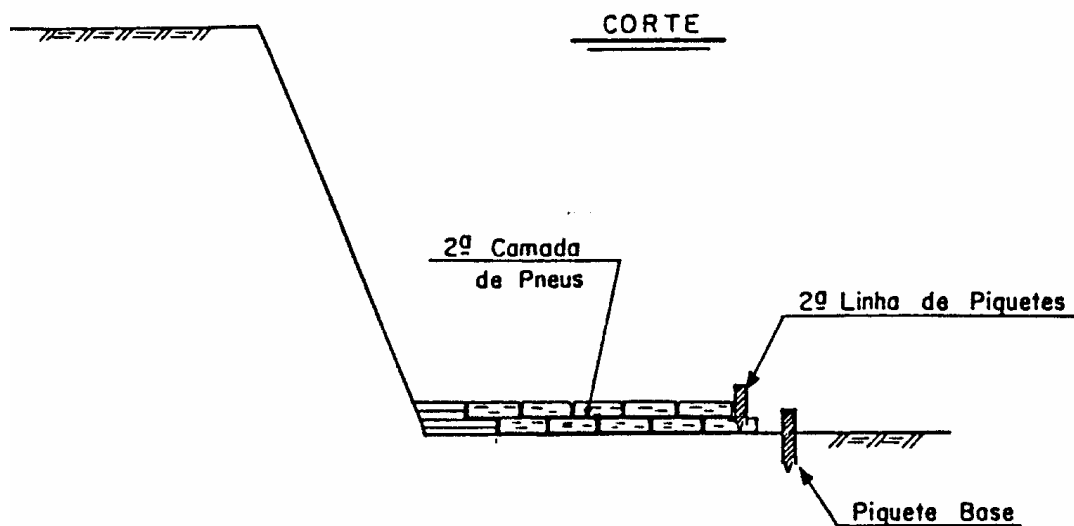
Fonte: Gerscovich (2010)

4ª ETAPA → Implantação da 2ª Linha de Piquetes
Para a 2ª Camada de Pneus.

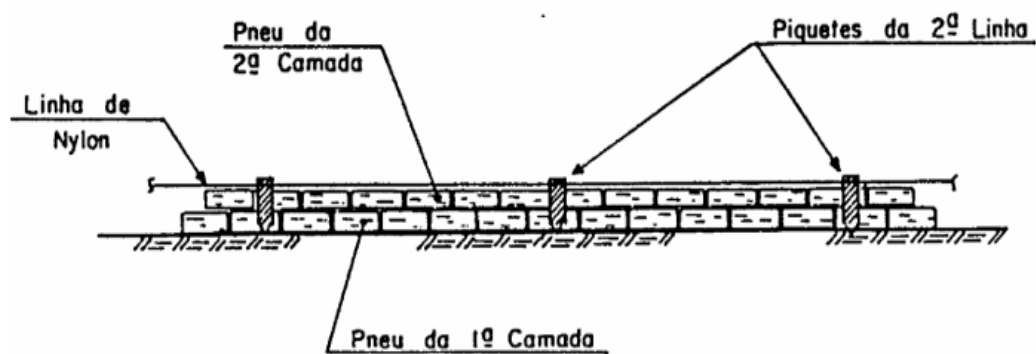


OBS: Dimensões em cm.

5ª ETAPA → Colocação da 2ª Camada de Pneus.



VISTA FRONTAL

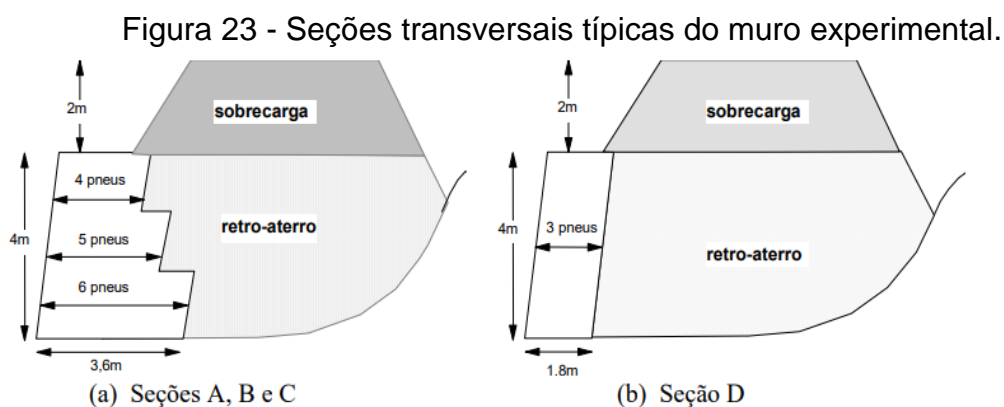


6ª ETAPA → Repetir 4ª e 5ª Etapas Até a Altura Final do Muro.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do levantamento de dados através de pesquisas bibliográficas sobre a execução de contenção de pneus como solução para estabilizar taludes, o trabalho buscou comparar e discutir estudos de casos encontrados na literatura.

Sieira (1998) construiu um muro experimental de pneus e solo conforme mostra a figura 23, de 4m de altura e 60 m de comprimento, com o objetivo de estabelecer a magnitude dos parâmetros de deformidade do material solos-pneus através de simulações numéricas do processo construtivo do muro. Para a realização da pesquisa utilizou-se os métodos dos elementos finitos, desenvolvido pela PUC-Rio. O muro foi composto de 4 seções transversais distintas, medindo 15 m de comprimento cada como mostra as figuras 23, 24 e 25.



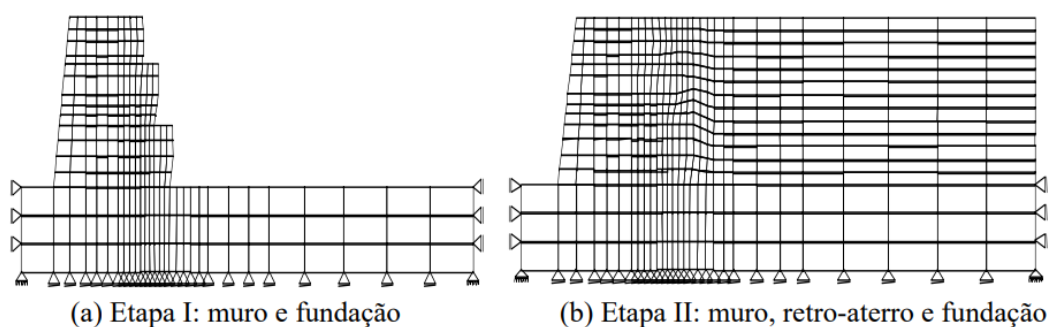
Fonte: Sieira (1998)

Figura 24 - Pneu inteiro e cortado.



Fonte: Sieira (1998)

Figura 25 - Malha de elementos finitos.



Fonte: Sieira (1998)

Sendo assim, Sieira (1998), verificou que a estrutura é capaz de suportar as pressões e tensões típicas de um talude demonstrando a capacidade dos pneus em estabilizar taludes, sendo uma alternativa viável e segura para projetos de estabilização de taludes.

Quanto ao custo, Souza (2002) afirma que o custo depende da quantidade de pneus, que são usados. Geralmente encontrados em sucateiros, ou em depósitos de lixo, esses pneus podem ser adquiridos por baixo preço.

Em comparação do uso de pneus com outras soluções de contenção, Salomão e Laure (2020), destacaram que as estruturas de contenções construídas com pneus apresentam alta flexibilidade e resistência, além de serem uma alternativa mais econômica e acessível. Torna-se uma opção viável para resolver problemas de deslizamentos de terra, principalmente onde há poucos recursos financeiros e o espaço podem ser limitados.

Após a análise de resultados Salomão e Laure (2020), também verificaram que a utilização de pneus inservíveis não apenas oferece uma solução para a estabilização de taludes, mas também contribui para a redução do impacto ambiental causado pelo descarte inadequado. A pesquisa desenvolvida enfatizou a importância de transformar um resíduo altamente perigoso em um recurso útil para conter deslizamentos de terra e ainda, minimizar criadores de vetores como a proliferação de doenças e a contaminação do solo e da água.

Para Silva (2006), por ser economicamente viável, a técnica poderia ser uma alternativa para utilização em obras emergenciais e em favelas, áreas que possuem

alta demanda por obras de contenção devido a situação já conhecida em favelas brasileiras. Desta forma, as estruturas de contenção do tipo muro de pneus são uma alternativa com vantagens e desvantagens que devem ser analisadas criteriosamente, para melhor atender os objetivos de cada projeto sem inferir na qualidade e segurança da estrutura de contenção. Entre suas principais vantagens pode-se destacar de acordo com a tabela 10:

Tabela 10– Vantagens da utilização de pneus inservíveis

Vantagens	Descrição
Sustentabilidade	Uma das maiores vantagens dos muros de pneus é a utilização de materiais reciclados. Ao reutilizar pneus usados, os muros de pneus contribuem para a redução de resíduos e para a conservação de recursos naturais, redução de resíduos sólidos e melhora do meio ambiente.
Baixo custo	Na estrutura de muro de arrimo de pneus, a utilização de pneus usados que iriam ser descartados na natureza, pode ser facilmente adquirida a baixo custo ou mesmo gratuitos, o que torna esse tipo de estrutura viável economicamente se comparada com outras estruturas de contenção que utilizam materiais como concreto ou pedras.
Isolamento térmico e acústico	Os pneus possuem ótimas propriedades térmicas e acústicas devido à composição de sua massa e densidade, que o torna uma alternativa para quem busca conforto acústico de residências ou edifícios próximos a estruturas.

Fonte: Autor

No entanto, deve ser analisado também as desvantagens que esse tipo de estrutura apresenta, para avaliar se atenderá as demandas do projeto do muro de contenção. Diante disso, as principais desvantagens são:

Tabela 11– Desvantagens da utilização de pneus inservíveis

Desvantagens	Descrição
Preparação dos pneus	Para a utilização dos pneus nas estruturas de contenção são necessários a limpeza e o preparo adequado dos pneus, essa etapa pode gerar custos adicionais, especialmente se os pneus estiverem contaminados ou danificados, bem como se o os pneus utilizados necessitarem de transporte a longa distância.
Compactação e estabilidade	Para a utilização dos pneus nas estruturas de contenção são necessários a limpeza e o preparo adequado dos pneus, essa etapa pode gerar custos adicionais, especialmente se os pneus estiverem contaminados ou danificados, bem como se o os pneus utilizados necessitarem de transporte a longa distância.
Preparação dos pneus	A compactação adequada é uma etapa de suma importância tendo como objetivo garantir a estabilidade, durabilidade e segurança do muro. Quando não realizada de forma eficiente pode gerar problemas na estrutura como assentamentos e deformações ao longo do tempo que levaram ao colapso do muro.
Manutenção	Os muros de pneus são estruturas duráveis, entretanto ainda necessitam de manutenção para garantir a estabilidade estrutural. A manutenção consiste em realizar reparos de danos e substituição de pneus, assim como a verificação de drenagem da estrutura.

<p>Restrições regulatórias</p>	<p>Determinadas regiões precisam de regulamentações específicas para o uso desse material. Isso faz com que antes de iniciar um projeto de muro de pneus é importante realizar um estudo para verificar as normas regulamentadoras, especialmente em termos de segurança estrutural e impacto ambiental.</p>
<p>Estética</p>	<p>Quando não decorados adequadamente, os muros podem não oferecer uma alternativa visualmente agradável.</p>

Fonte: Autor

Os muros de pneus oferecem uma série de vantagens, incluindo sustentabilidade, baixo custo e capacidade de isolamento térmico e acústico. No entanto, é essencial ponderar sobre suas potenciais desvantagens. Avaliar se esses muros atendem aos objetivos do projeto em termos de resistência e estabilidade da estrutura de contenção.

Gerscovich, et al, (2000, p. 02), enfatiza que os pneus são constituídos de borracha e são fortemente reforçados com fibras e metais, resultando num material com elevada resistência a tensões radiais. As propriedades mecânicas dos pneus permanecem disponíveis mesmo após encerrada a vida útil como elemento de rodagem.

Desta forma, a pesquisa demonstrou ser uma ótima solução ambiental para resolver problemas de descartes inadequados de pneus inservíveis, conseqüentemente uma solução para minimizar a proliferação de doenças, bem como uma solução viável, pois apresenta alta resistência a baixo custo. Isso inclui a necessidade políticas de conscientização da população e a responsabilização de empresas e governos pelo descarte adequado de pneus.

Ademais, apesar dos resultados satisfatórios, é inegável a necessidade de mais estudos e ensaios para determinar a segurança e a eficácia da aplicação do método em diferentes contextos. Isso inclui a necessidade campanhas de conscientização da população em relação ao descarte de pneus, bem como a responsabilidade de

empresas e governos pelo descarte adequado de pneus em todas as cidades do País. Sendo assim, embora ocorra implicações práticas em relação a implementação dessa técnica na construção civil, os muros de pneus podem ser utilizados como uma estratégia muito eficaz para solucionar problemas de contenção de taludes, principalmente em áreas propensas a deslizamentos e instabilidades.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou os tipos de estruturas de contenção mais usados na construção civil para evitar problemas de deslizamentos de taludes. O estudo verificou que cada estrutura de contenção apresenta características diferentes, tanto dos materiais utilizados, quanto do tipo de método de execução, dos objetivos do projeto e resistência necessária desejada, sendo assim, cada muro de arrimo apresenta vantagens e desvantagens que devem ser analisadas, sendo necessário investigações geotécnicas para determinar o tipo de solo e qual a melhor escolha de muro ser construído visando a segurança estrutural. Também se observou que a escolha inadequada pode ocasionar problemas que afetam a resistência e a durabilidade de estruturas de contenção o que pode colapsar gerando custos altos com reparos e riscos à saúde das pessoas.

A pesquisa mostrou que estruturas de muros construídos com pneus apresentam vantagens eficazes, como boa qualidade, alta resistência, baixo custo, durabilidade, quando projetados de acordo com normas de segurança de encostas, torna-se uma alternativa viável estruturalmente, além de econômica e ecologicamente correta, sendo uma solução tanto para os problemas dos deslizamentos de terra, quanto para os descartes de pneus inservíveis ao meio ambiente. No entanto, mesmo que apresentes inúmeras vantagens também apresentaram desvantagens que devem ser analisadas antes da escolha como a logística, preparação dos pneus e também a manutenção da contenção.

Desta forma, é importante realizar todas as etapas de forma planejada visando diminuir os riscos do colapso de estruturas, sendo a prevenção o estudo geotécnico como etapa preliminar que antecede o projeto de execução, nas etapas de execução a escolha dos materiais e mão de obras adequadas. Diante disso, o muro de pneus apresenta benefícios econômicos e ao meio ambiente, ademais é versátil e de fácil execução, sendo uma alternativa viável que apresenta excelente resistência estrutural eficaz para problemas de taludes.

8 REFERÊNCIAS

Albuquerque, Paulo José Rocha D. **Engenharia de Fundações**. Disponível em: Minha Biblioteca, Grupo GEN, 2020.

ALVES, Yslas Cardoso. Projeto de contenção e drenagem em muro de arrimo com uso de geossintéticos. 2017.

Andrade, Stephane L. P., D. et al. **Fundações e Obras de Contenção**. Disponível em: Minha Biblioteca, Grupo A, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11682: Estabilidade de Encostas**. Rio de Janeiro, 2006

BRUM, ANTÔNIO CLÁUDIO ANDRADE et al. **PERÍCIA DE ENGENHARIA PARA ANÁLISE DE DESLIZAMENTO DE TALUDE URBANO**.

BOTELHO, Manoel Henrique C. **Princípios da mecânica dos solos e fundações para a construção civil**. Editora Blucher, 2014.

COELHO, Alaíde et al. **Impactos ambientais causados pelo descarte incorreto dos pneus inservíveis, e a sua utilização na massa asfáltica**. Anuário Acadêmico-científico da UniAraguaia, v. 3, n. 1, p. 321-321, 2014.

CARRASCO, F. **Reabilitação de taludes de aterro em encostas-análise de um caso numa ferrovia em Odemira**. 2014. Tese de Doutorado. Tese de Mestrado em Engenharia Geológica (Geotecnia). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL). Lisboa.

Caputo, Homero, P. e Armando Negreiros Caputo. **Mecânica dos Solos: Obras de Terra e Fundações**. Disponível em: Minha Biblioteca, (8th edição). Grupo GEN, 2022.

CAPUTO, HOMERO PINTO. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6ª. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

Caputo, Homero, P. e Armando Negreiros Caputo. **Mecânica dos Solos: Obras de Terra e Fundações**. Disponível em: Minha Biblioteca, (8th edição). Grupo GEN, 2022.

IBAMA- Instituto Brasileiro de Recursos Hídricos e dos Recursos Naturais. **Relatório de Pneumáticos 2013 Resolução CONANA nº 416/09**. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/phocadownload/pneus/relatoriopneumaticos/ibama-relatorio-pneumaticos-2013.pdf> > Acesso em: 24.09. 2024.

DA SILVA TOMAZIA, Anna Julia Ferreira et al. **Os Impactos ao Meio Ambiente Causados pelos Descarte de Materiais e Resíduos de Obras da Construção Civil**. Revista do Encontro de Gestão e Tecnologia, v. 1, n. 04, p. 65-72, 2024.

EHRlich, Maurício; BECKER, Leonardo. **Muros e taludes de solo reforçado: projeto e execução**. Oficina de Textos, 2009.

FONSECA, Ewerton Clayton Alves da. **Análise numérica do comportamento de muros reforçados com geossintéticos construídos com material de aterro não convencional**. 2012.

GERSCOVICH, Denise MS. **Estruturas de contenção: Muros de arrimo**. Rio de Janeiro: UERJ, 2010.

GERSCOVICH, Denise MS et al. **Reuso de pneus em geotecnia**. Seminário Nacional sobre Reuso/Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais–FIESP. São Paulo, 2000.

GERSCOVICH, Denise MS et al. **Reuso de pneus em geotecnia**. Seminário Nacional sobre Reuso/Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais–FIESP. São Paulo, 2000.

GEO-RIO – Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, 1999, Manual Técnico de Encostas: **Análise de Investigação**. Rio de Janeiro: Fundação Geo-Rio.

MACEDO, Gabriel Cintra. **Comparação de estruturas de contenção com variação de altura em obras de infraestrutura**. 2020.

MANNARINO, Camille Ferreira et al. **Wetlands para tratamento de lixiviados de aterros sanitários**: experiências no aterro sanitário de Piraí e no aterro metropolitano de Gramacho (RJ). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, p. 108-112, 2006.

Murrieta, Pedro. **Mecânica dos Solos**. Disponível em: Minha Biblioteca, Grupo GEN, 2018.

MELO, Jayne Pereira; **Flexão, Contenção Submetidas à**. Pró-Reitoria de Graduação Centro de Engenharias Bacharelado em Engenharia civil.

Moliterno, Antonio. *Cadernos de muro de arrimo*. Disponível em: Minha Biblioteca, Editora Blucher, 1995

PASSOS, Dianara Duarte. **Alternativas de baixo custo para estabilização de taludes em áreas de risco e estudo de caso na Comunidade do Roger, em João Pessoa-PB**. 2018.

ROCHA, Héilton Marcon; STEINER, Luiz Renato. **Proposta de solução para estrutura de contenção contra queda de rochas para um talude na Região Sul de Santa Catarina**. Revista Técnico-Científica de Engenharia Civil Unesc-CIVILTEC, v. 7, n. 1, 2022.

SALOMÃO, Pedro Emilio Amador; LAURE, Chaylane Thayara Silva. ESTUDO DA VIABILIDADE DE CONTENÇÃO DE TALUDES COM PNEUS INSERVÍVEIS. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 2, n. 1, 2020.

SANTOS, Jaime Augusto Alves dos. **Saberes de solos em livros didáticos da educação básica**. 2011.

SANTOS, Palloma Ribeiro Cuba, D. e João Dalton Daibert. **Análise dos Solos**. Disponível em: Minha Biblioteca, SRV Editora LTDA, 2013.

SIEIRA, ANA CRISTINA CASTRO FONTENLA. Análise do comportamento de um muro de contenção utilizando pneus. 1998.

SILVA, DANIELLA FERNANDA MACHADO. **Contenção de taludes com pneus: uma alternativa ecológica e de baixo custo**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil), Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo, 2006.

SOUZA, Antônio Nerton de. MURO DE CONTENÇÃO UTILIZANDO PNEUS: análise e alguns comparativos de custos. 2002.

STEIN, RONEI, T. ET AL. **Estabilidade de Taludes e Contensões**. Disponível em: Minha Biblioteca, Grupo A, 2021.

ZHU, J., & LEE, C. F. (2004). **Time-Dependent Deformation and Creep of Slopes in Reclaimed Lands**. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 3(4), 121-134.