

**Thaianne Oliveira de Matos**

Graduação em Engenharia Civil pela  
Universidade Estácio de Sá (UNESA).

**Guilherme Faria Souza Mussi de Andrade**

Graduação em Engenharia Civil pela  
Universidade Veiga de Almeida (UVA).  
Mestre em Engenharia Civil – Área: Geotecnia pela  
Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ).  
Doutorando em Engenharia Civil – Área: Geotecnia pela  
Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ).

## RESUMO

Há uma preocupação sobre o destino dos pneus após seu uso convencional. A partir dos anos 90, o Brasil pode perceber o resultado nocivo causado pelo descarte dos pneus, já que quando esse material atinge o desgaste completo, se torna inservível. Geralmente, após sua utilização convencional, os pneus são direcionados à depósitos e são empilhados como material de sucata. Existem diversas maneiras de reutilização pneus, como por exemplo: elemento de reforço de aterros, como barreiras contra impactos ou ruídos e como elemento de redistribuição de tensões em dutos enterrados. O uso de pneus na Engenharia Civil, especificamente como muro de solo- pneus, mostra-se como uma alternativa de baixo custo e boa eficiência mecânica, atuando como uma opção para reciclar, reduzir e reutilizar pneus. O estudo de caso abordado busca analisar a técnica de estabilização de encostas com pneus desenvolvida no bairro de Jacarepaguá no Rio de Janeiro, Brasil.

**Palavras-chave:** Muros de contenção; Reutilização; Muro de pneus.

## INTRODUÇÃO

Consideramos como “pneu” todo artefato inflável, constituído por borracha e materiais de reforço utilizado para rodagem em veículos automotores e bicicletas (BRASIL, 2002). Tendo como principal função absorver impactos, suportar cargas, manter direção e transferir forças de tração e frenagem.

Há uma preocupação sobre o destino dos pneus após seu uso convencional na mobilidade dos veículos. É notório que esse material possui muita utilidade e sempre chamou atenção em relação aos riscos proporcionados ao meio ambiente. Com a crescente utilização de carros e caminhões a partir dos anos 90, o Brasil pode perceber o resultado nocivo

causado pelo descarte dos pneus, já que quando esse material atinge o desgaste completo, se torna inservível (FLORIANI, 2016).

Conforme LAGARINHOS e TENÓRIO (2009, p.33):

O descarte de pneus cresce ano após ano em todo o mundo. No passado, pouca importância foi dada à disposição de pneus mesmo nos países mais desenvolvidos, os pneus usados eram descartados em enormes aterros, vales, rios, entre outros. Nos países emergentes, o problema era simplesmente ignorado e muitas vezes o destino final destes pneus eram aterros, rios, beira de estradas, entre outros.

Geralmente, após sua utilização convencional, os pneus são direcionados à depósitos e são empilhados como material de sucata. A partir disso, há dois caminhos: utilizar o material através da recauchutagem ou direcionar o material à aterros sanitários, já que esses pneus não possuem mais nenhum valor comercial (SOUZA, 2002). O descarte incorreto desse material pode trazer diversos danos ao meio ambiente e à saúde da sociedade. Diante disso, torna-se importante pensar sobre como reaproveitar esse material.

De acordo com MOTTA (2008, p.16), é possível compreender:

No Brasil a regulação ambiental voltada para resíduos sólidos urbanos ainda é deficiente. Embora premente para o planejamento urbano municipal devido aos impactos sanitários, ambientais e econômicos envolvidos, ainda não existe uma lei federal que estabeleça diretrizes, critérios e normas para gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos. Atualmente existem apenas resoluções e portarias de órgãos ambientais voltados para a resolução de questões específicas sobre a deposição de alguns materiais, como o caso dos pneus.

Muros de contenção são estruturas muito importantes em terrenos irregulares para impedir possíveis danos ao patrimônio e saúde da população, deslizamentos e invasões de terra que podem resultar em acidentes fatais. É possível encontrar na literatura diversos exemplos da utilização de pneus como elemento de reforço de aterros, como barreiras contra impactos ou ruídos e como elemento de redistribuição de tensões em dutos enterrados (Long, 1990, Schlosser *et al*, 1994).

O uso de pneus na Engenharia Civil, especificamente como muro de solo- pneus, mostra-se como uma alternativa de baixo custo e boa eficiência mecânica, atuando como uma opção para reciclar, reduzir e reutilizar pneus (SIEIRA,1998). A utilização desse material na construção de muros de contenção é uma ótima alternativa de construir uma cidade alinhada às questões ambientais.

O estudo de caso abordado busca analisar a técnica de estabilização de encostas com pneus desenvolvida no bairro de Jacarepaguá no Rio de Janeiro, Brasil. O muro de contenção experimental possui 60 m de comprimento e 4 m de altura e foi construído com pneus dispostos horizontalmente amarrados com corda ou arame e carregado com solo compactado.

## **Justificativa e relevância do tema**

Pneus descartados após o uso formam um lixo indesejável que acaba se acumulando em diversas áreas humanas ou terrenos baldios. Esse material pode servir de criadouros para micro e macro vetores causando risco à saúde pública, além de que se forem queimados a céu aberto, liberarão poluentes atmosféricos como carbono e dióxido de enxofre (D'almeida & Sena, 2000; Melo, 1998; Costa *et al*, 2000). Segundo pesquisas da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), (Echimenco, 2001), no início deste século havia em média 100 milhões de pneus inservíveis abandonados no Brasil, divididos entre estocados ou deixados em áreas abertas. A previsão do autor é de que anualmente serão somados aproximadamente mais de 17 milhões de pneus.

Diante disso, é crescente a necessidade de pensar em novas alternativas para a utilização deste material. Os primeiros estudos sobre a utilização de pneus e solo, chamado de solo-pneus, foram realizados na França a partir da construção de um muro experimental de solo-pneus (LONG, 1984). O reaproveitamento de pneus em obras de Engenharia Civil tem crescido nos últimos anos, mostrando-se como uma boa alternativa relacionada à eficiência mecânica e aos custos da obra.

De acordo com Kamimura (2004), as aplicações mais comuns para reutilizar pneus são em sistemas de drenagem de gases em aterros sanitários; estabilizadores de encosta; barragens; concretos leves; isolante acústico e térmico; materiais de enchimento de peso leve; controle de erosão; aditivos para pavimentos asfálticos; material para compostagem, entre outros.

Além disso, vale ressaltar que a construção de muro solo-pneus é também uma alternativa de reaproveitamento desse material. O inventário da Associação dos Fabricantes de Borracha Norte Americana (RMA) é composto de diversos trabalhos e pesquisas científicas publicadas, com a temática referente as aplicações de borrachas recicladas de pneus inservíveis na Engenharia Civil (KAMIMURA, 2002).

## **Contextualização**

O muro experimental abordado no estudo de caso foi construído em uma área plana a jusante de uma encosta que apresentava sinais de instabilidade, em Jacarepaguá, Rio de Janeiro. Esse estudo faz parte de um projeto de pesquisa desenvolvido pela PUC-Rio para estudar e analisar o uso

de pneus usados como muros de arrimo. O muro experimental de solo-pneus possui 4 m de altura e 60 m de comprimento. O muro é formado por camadas horizontais de pneus preenchidos com resíduo de solo compactado e amarrados entre si com arame ou corda. Atrás do muro, foi construído um retroaterro com o mesmo material que preencheu os pneus (SIEIRA, 2009).

Sabemos que é de grande importância encontrar maneiras de reciclar e reutilizar resíduos industriais, como pneus, para preservar o meio ambiente e evitar danos à saúde da sociedade. A Construção Civil consome diversos materiais e se posiciona cada vez mais como um mercado para absorver os pneus inservíveis. O principal custo de uma obra de Engenharia Civil é relacionado aos materiais; por isso, utilizar materiais alternativos é uma boa alternativa para diminuir os custos da obra (KAMIMURA, 2002).

### **Situação problema**

É necessário elaborar diversas medidas para evitar que pneus inservíveis sejam abandonados em áreas urbanas ou aterros sanitários, e acabem causando malefícios ao meio ambiente e à sociedade como um todo. De acordo com Kamimura (2002), um plano de gerenciamento para os pneus descartados deve promover o controle e administração da sua geração e manejo, tratamento e disposição final, de forma integrada. Através dos 3Rs: Redução, Reutilização e Reciclagem, temos um caminho para minimizar os impactos causados por esse tipo de resíduo. Esse caminho foi definido pela Agenda 21 que pontuou princípios básicos para alcançar o desenvolvimento sustentável e a preservação ambiental (MMA, 2002).

### **Hipóteses**

O reaproveitamento de pneus é uma alternativa que ganhará mais espaço na Engenharia Civil a fim de diminuir os custos e produzir construções alinhadas à questão ambiental.

Estruturas de contenção construídas com a técnica de solo-pneus tem se mostrado uma alternativa para o reaproveitamento de um lixo urbano, que se acumula em grandes quantidades, além de usufruir da eficiência mecânica dos pneus.

### **Meios de pesquisa**

A metodologia aplicada no presente estudo de caso é a revisão bibliográfica referente ao tema. Através do projeto de pesquisa desenvolvido pela PUC-Rio com a participação da Universidade de Ottawa (Canadá), e da Fundação Geo-Rio (Prefeitura do Rio de Janeiro) será apresentado a metodologia executiva do muro de solo-pneus e as principais conclusões obtidas para o caso em estudo.

### **Objetivo geral e objetivo específico**

- Analisar a viabilidade da construção de muros experimentais de solo-pneus;
- Analisar a importância da reutilização de pneus para o meio ambiente;
- Apresentar processo executivo da construção de muros de solo-pneus;
- Identificar as vantagens e desvantagens na utilização desse método de construção.

## **Escopo do trabalho**

No primeiro capítulo é realizada uma pequena introdução sobre os problemas causados pelo descarte inadequado de pneus inservíveis, a importância da reutilização desse material, a justificativa, os objetivos da construção do muro experimental com solo-pneus, as hipóteses e os resultados esperados.

No segundo capítulo é abordado previamente a legislação vigente referente à reciclagem de pneus no Brasil, as inovações relacionadas aos materiais utilizados na Engenharia Civil e é apresentado o estudo de caso em questão. Além disso, apresentamos uma breve revisão sobre muros de arrimo, abordando os tipos de muros, suas características e objetivos.

No terceiro capítulo demonstramos a metodologia aplicada para este estudo de caso, onde são apresentados os métodos de pesquisa utilizados para realização do trabalho. Foi realizada uma revisão bibliográfica referente ao tema, com foco na construção de muros com materiais alternativos e de que forma isso acontece na Engenharia Civil e quais são os benefícios trazidos.

No quarto capítulo, no que tange o desenvolvimento do trabalho, é apresentado um aprofundamento do estudo de caso, verificando as especificidades da construção do muro experimental de solo-pneus e seu processo executivo.

Na conclusão deste trabalho, apresentamos o resultado do muro experimental que norteia o estudo de caso em questão. Além disso, abordaremos as vantagens e desvantagens desse método construtivo.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

A Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) n° 258/99 trouxe diversas regulamentações e inovações para a reciclagem de pneus no Brasil, incluindo tecnologias para reutilização e reciclagem. A *American Society for Testing and Materials* (ASTM D 6270-98), aprovou em 1998 uma norma prática para o uso de pneus inservíveis em aplicações na Engenharia Civil (RMA, 2002).

O ramo da Construção Civil é um dos mais importantes do Brasil, com forte atuação no desenvolvimento econômico e social. Esse setor contribui

para a degradação do meio ambiente porque é responsável pela geração de diversos resíduos de materiais que causam impactos quando não são descartados da maneira correta, além de também utilizar recursos naturais (AMARAL e KONARZEWSKI, 2018). A partir disso, torna-se cada vez mais importante que o setor da Construção Civil se mobilize para construir métodos e ferramentas para que a sustentabilidade faça parte dos processos construtivos.

Vários materiais alternativos estão sendo estudados e introduzidos nas construções de maneira inovadora, dentre eles, é possível citar a utilização de bambu em estruturas de pequeno, médio e grande porte (MARÇAL, 2008).

Para Marçal (2008, p.5):

É possível perceber que a construção civil atual passa por momentos de transição. As técnicas construtivas e as recuperações de patologias são cada vez mais demandadas e a cada dia surgem novos elementos construtivos para suprir a necessidade dos proprietários das obras e profissionais responsáveis.

Em 1776, Charles Augustin de Coulomb publicou um estudo referente as condições mínimas e máximas para a construção de muros de arrimo, no qual a Engenharia Moderna utilizou como referência para a contenção de solos. No Brasil, esse tipo de estrutura, foi implantada a partir desse século em regiões urbanas e portos. Por muito tempo, o objetivo principal da construção desses muros, era para desviar os cursos dos rios e em obras de barragens (MASSIMINO, 2020 *apud* MOLITERNO, 1980). Muros são definidos como estruturas corridas de contenção de parede vertical ou quase vertical, apoiadas em uma fundação rasa ou profunda (Instituto Monte Pascoal, 2019). Os muros de arrimo ou contenção podem ser construídos de pedra, gabiões, pneus, concreto armado ou concreto simples.

Segundo de Farias Guimarães *et. al* (2015) muros são “desde a antiguidade têm sido utilizados para defender e proteger as cidades, e ainda atualmente nos centros urbanos tem a função de separar um espaço do outro, demarcando um território, tornando-se uma fronteira entre o espaço público e o privado hoje”. Os muros de arrimo possuem como principal função estabilizar terrenos proporcionando maior segurança e contendo possíveis deslizamentos de terra. A construção desse tipo de muro permite que o terreno seja nivelado para a futura construção. Além de ser utilizado também na contenção de encostas evitando o desmoronamento de terra.

As propriedades mecânicas dos pneus encontram-se disponíveis após o encerramento de sua vida útil, essa é mais uma evidência de que este material pode ser utilizado na Construção Civil, sendo a construção de muros de arrimo uma possível alternativa de reaproveitamento desse material.

O destino dos pneus inservíveis é considerado um problema ambiental, já que esse tipo de resíduo possui uma decomposição muito lenta, baixa compressibilidade resultando em grandes volumes e proporcionando

malefícios à natureza e à saúde pública. Diversas pesquisas estão sendo intensificadas com foco na reutilização de pneus na Construção Civil. Uma das possíveis reutilizações dos pneus é na incorporação como agregado em concretos de cimento Portland (GIACOBBE, 2008). Novas formas de reaproveitar e reutilizar pneus descartados estão sendo estudadas no Brasil, dentre elas podemos citar dois projetos de pesquisa: um da Universidade de São Paulo (USP) que estuda a produção de concreto mais flexível, e outro da Universidade Federal do ABC (UFABC) que estuda o encapsulamento de motor de automóvel para reduzir ruídos (VIANA, 2021).

## **METODOLOGIA**

Este trabalho de conclusão de curso foi baseado em uma revisão bibliográfica, a partir de artigos científicos e dissertações dos principais autores da área. As informações para nortear o presente trabalho foram obtidas através dos trabalhos científicos disponibilizados no Google Acadêmico e Plataforma Scielo. Além disso, trabalhos científicos das legislações ambientais vigentes, publicações de instituições governamentais e não governamentais foram fundamentais para o desenvolvimento do trabalho.

A pesquisa teve como base os estudos da professora da Universidade do Estado do Rio de Janeiro Ana Cristina Castro Fontenla Sieira sobre o muro experimental de solo-pneus executado no bairro Jacarepaguá, no Rio de Janeiro. O muro em questão foi amplamente estudado pela autora em sua dissertação de mestrado na PUC-RIO, resultando em diversas publicações além de premiações acadêmicas.

## **DESENVOLVIMENTO**

Esta pesquisa aborda o estudo de caso de um muro de solo-pneus executado na rua Ati, bairro Jacarepaguá, RJ. O muro possui 60 m de comprimento e 4 m de altura com uma sobrecarga de solo compactado de 2 m sobre o retro-aterro de solo; os pneus utilizados também foram preenchidos com este solo compactado, e possuem medidas correspondentes a pneus de veículos de passeio, em média 0,60 m de diâmetro e 0,20 m de altura (GERSCOVICH, 2000). O objetivo da construção desse muro consiste em estudar uma técnica de estabilização de taludes de execução simples reaproveitando pneus usados.

A PUC-Rio desenvolveu em 1995 um projeto de pesquisa com foco na construção de um muro de contenção constituído de solo-pneus. Foi utilizado pneus com diâmetros semelhantes inteiros ou cortados (Figura 1), amarrados com arame de gabiões ou cordas de polipropileno com 6 mm de diâmetro. Os pneus utilizados nessa construção foram facilmente obtidos nas proximidades do local da obra. Ao todo, para executar todo o projeto, foram utilizados 15 mil pneus.



Figura 1 – Pneus inteiros ou cortados (Medeiros et al., 2000).

Os pneus que estão na parte interna foram ligados à 4 pneus adjacentes através de uma volta na amarração. Não foi necessário realizar uma amarração vertical entre os pneus por se tratar de um muro de peso.

As Figuras 2, 3 e 4 ilustram as diferentes fases da construção do muro experimental.



Figura 2 – Fase inicial onde foi posicionada a primeira camada de pneus (Medeiros et al., 2000).





Figura 3 – Fase intermediária: amarração dos pneus entre si com cordas de polipropileno (Medeiros et al., 2000).



Figura 4 – Fase final da construção do muro (Medeiros et al., 2000).

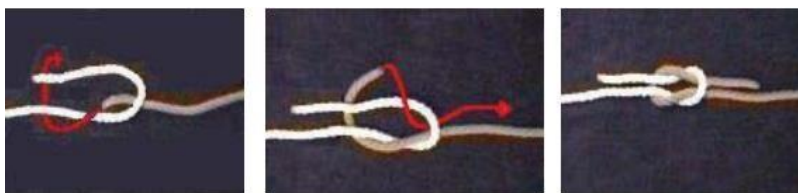
A construção de muros de contenção de solo-pneu consiste na projeção de camadas de pneus usados preenchidos com solo, colocados horizontalmente e amarrados através de cordas ou arames. Podem ser utilizados pneus inteiros ou cortados sem uma das bandas laterais. A estabilidade dessa construção é proporcionada pelo peso da estrutura, não sendo necessário considerar as características do solo utilizado para preencher os pneus, já que esse preenchimento serve apenas para garantir que o muro não deslize e não tombe. É recomendado que seja realizado o revestimento da face externa do muro, para evitar o carreamento do material

de enchimento, e para evitar incêndios e possíveis atos de vandalismo. Plantas ou concreto projetado sobre tela metálica, são os materiais mais recomendados para o revestimento final do muro de solo-pneus (Sieira, 1998).

O muro em questão foi construído com 4 m de altura e 60 m de comprimento, sendo dividido em 4 seções transversais distintas de 15 m (A, B, C e D). As seções transversais nos ajudam a comparar o comportamento e analisar a eficiência de cada uma das diferentes composições entre pneus cortados, pneus inteiros, amarrações com cordas ou arame e as diferentes geometrias entre as seções.

A construção do muro possui uma sequência de procedimentos: lançamento da camada de pneus, amarração, compactação do solo no interior dos pneus e lançamento da camada de pneus seguinte. Esses procedimentos se repetem até que o muro atinja a altura descrita no projeto (Sieira, 2009).

A primeira camada de pneus foi colocada após a limpeza e o nivelamento do terreno. As outras camadas foram colocadas de acordo com a disposição dos pneus para proporcionar um bom entrosamento e uma quantidade menor de espaços vazios. Após a colocação de pneus na superfície, iniciou-se a etapa de amarração dos pneus. Para realizar a amarração, foi utilizado o "nó de marinheiro" (Figura 5), esse tipo de nó fica mais apertado na medida em que é solicitado. Após a amarração, o procedimento realizado foi o de preenchimento do interior dos pneus com o solo local compactado. Foram lançadas camadas de 0,25 m de espessura e a compactação do solo foi realizada com compactador hidráulico manual (Sieira, 2009).



Passo 1

Passo 2

Passo 3

Figura 5 – Processo Executivo do Nó de Marinheiro (A.N.C., 2003).

Segundo Medeiros *et al.* (2000), o muro experimental de solo-pneus foi instrumentado com extensômetros magnéticos, células de pressão e inclinômetros, para o monitoramento dos deslocamentos verticais e das pressões atuantes, como apresentado nas Figuras 6 e 7.

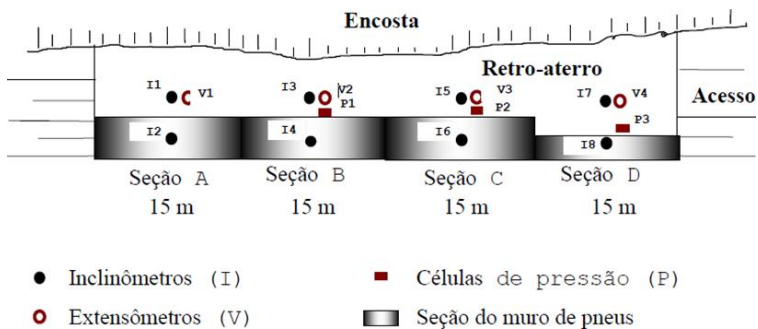


Figura 6 – Planta esquemática do muro experimental e da instrumentação de campo (Medeiros et al., 2000).

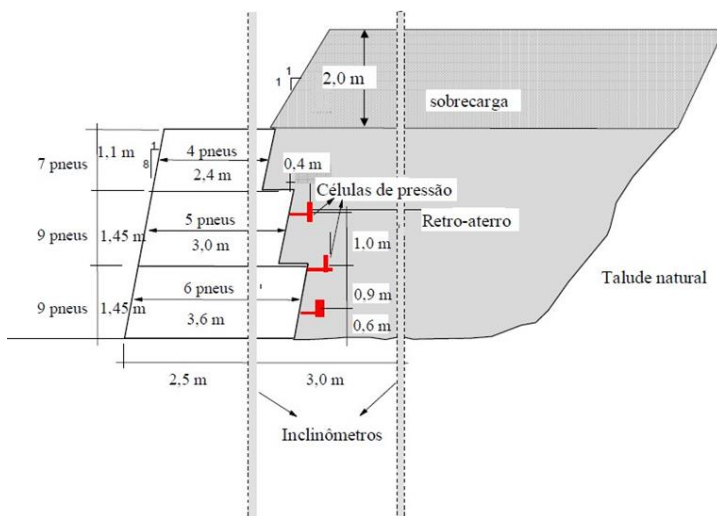


Figura 7 – Seção transversal típica do muro experimental (Medeiros et al., 2000).

As seções A, B e C possuem 6 pneus na base e 4 pneus no topo (Figura 8).

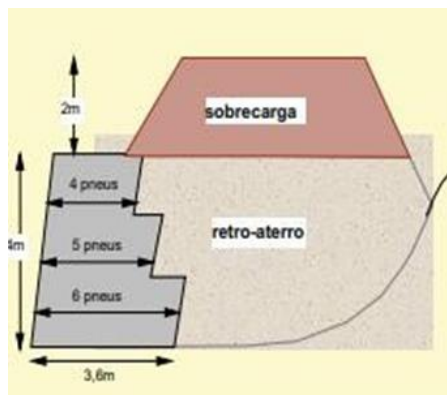


Figura 8 – Seções transversais A, B e C (Sieira, 2009).

Já, a seção D apresenta uma geometria uniforme, sendo composto de 3 pneus ao longo de sua altura (Figura 9).

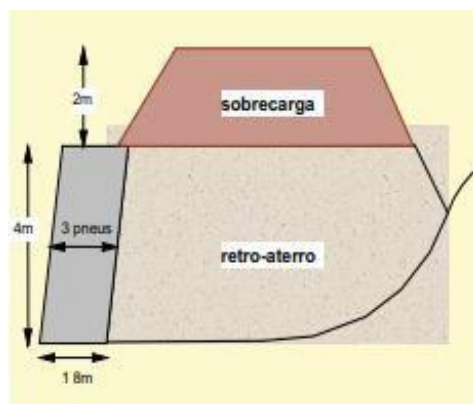


Figura 9 – Seção transversal D (Sieira, 2009).

As seções transversais apresentam as seguintes características:

Seção A: composta por pneus inteiros amarrados com corda de polipropileno de 6 mm de diâmetro. Apresentou deslocamentos horizontais superiores aos da seção B.

Seção B: composta por pneus cortados (sem uma das bandas laterais) amarrados com corda de polipropileno. A banda lateral cortada foi colocada dentro do pneu diminuindo a produção de rejeitos e aumentando a resistência radial. Observou-se que esta seção é mais rígida, mais homogênea e menos deformável que a seção A.

Seção C: composta por pneus cortados amarrados com arame de gabiões, possui cobertura plástica de PVC para proporcionar uma proteção contra corrosão. Observou-se que a amarração com arame proporcionou maior rigidez ao material solo-pneus.

Seção D: composta por pneus cortados amarrados com corda de polipropileno. É uma seção semelhante à B, se diferenciando apenas por ter uma geometria mais esbelta.

O solo local foi utilizado no preenchimento dos pneus e também na execução do retro-aterro. Esse solo foi classificado como um silte arenoso-argiloso. Fontes (1997) realizou ensaios de caracterização para obter os valores médios de densidade dos grãos (Gs), limites de Atterberg (LP e LL), índice de plasticidade (IP) e teor de umidade natural ( $\omega$ ) (GERSCOVICH et al, 2000).

Tabela 1 – Caracterização do solo

G <sub>s</sub>	Ensaio de Laboratório				Compactação de Campo		
	LP (%)	LL (%)	IP (%)	$\omega$ (%)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	S (%)	e
2,724	31,0	46,0	15,0	20,0	17,5	65	0,833

Fonte: GERSCOVICH et. al, 2000.

De acordo com Sieira (2001), o dimensionamento de um muro de solo-pneus é idêntico a qualquer tipo de muro de gravidade. É necessário conhecer o peso específico, peso do material e os coeficientes de empuxo do solo. Foi possível determinar o peso específico do material solo-pneu através de ensaios de densidade *in situ* (Figura 10), tendo sido observado um valor médio da ordem de 16 kN/m<sup>3</sup> (Sieira, 1998).



Figura 10 – Ensaio de densidade *in situ* (GERSCOVICH et. al, 2000).

Através da simulação numérica da construção do muro realizada através do programa de elementos finitos GESSDA, desenvolvido na PUC-Rio, foi possível estabelecer os parâmetros de deformabilidade do material solo-pneus. O método dessa simulação foi dividido em duas etapas: muro isolado e conjunto muro/retro-aterro. Na primeira etapa, o empuxo gerado pelo retro-aterro foi alterado por forças nodais equivalentes. Os parâmetros estabelecidos para deformabilidade do conjunto solo-pneus reproduziram os

deslocamentos horizontais previstos com os observados. Observou-se que o módulo de deformabilidade (E) que se apresentou como constante ao longo da altura do muro, foi o que melhor reproduziu os resultados experimentais. Os valores de E situaram-se na faixa entre 1,8 e 3,0MPa. Os diferentes processos de amarração ou de configuração dos pneus proporcionaram essa variação (SIEIRA, 1998).

Na segunda etapa, ocorreu a simulação da construção do conjunto muro/retro-aterro, realizando novamente uma comparação dos deslocamentos horizontais previstos e os observados. As tensões horizontais previstas apresentaram uma boa concordância com as observadas (SIEIRA, 2001).

Os estudos e análises realizados mostraram que o muro executado com pneus cortados (seção B) é mais homogêneo e mais rígido do que o muro construído com pneus inteiros (seção A). Observa-se uma redução de cerca de 30% nos deslocamentos horizontais quando são utilizados pneus cortados, como pode ser visto na Figura 11 (MEDEIROS *et al.*, 2000).

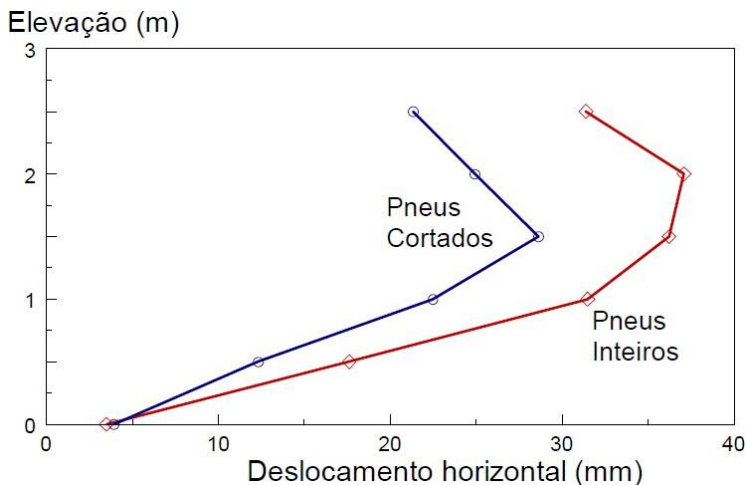


Figura 11 – Influência da remoção da banda lateral do pneu (Medeiros et al., 2000).

Comparando os dois tipos de amarração utilizados na construção do muro, notou-se que a amarração com corda, apesar de ser mais lenta, apresenta menor custo em relação a amarração com arame de gabião, apresentando-se como uma opção economicamente vantajosa (SIEIRA, 2001). Segundo Medeiros et al. (2000), o custo da corda é aproximadamente cinco vezes inferior ao arame. Apesar disto, a utilização da amarração com arame conferiu um pequeno aumento de rigidez ao muro de solo-pneus, conforme visto na Figura 12 (MEDEIROS *et al.*, 2000).

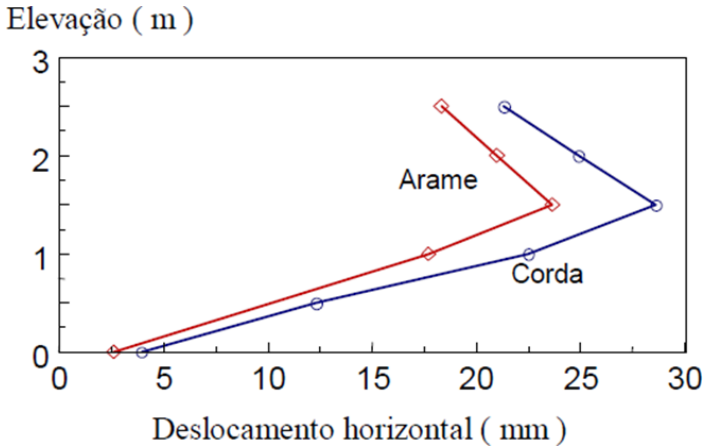


Figura 12 – Influência do tipo de amarração (Medeiros et al., 2000).

Os resultados da simulação numérica da construção do muro experimental demonstraram que muros de solo-pneus com geometria mais esbelta (seção D) são alternativas seguras para contenção de taludes. Observou-se que os  $s$  horizontais aumentaram consideravelmente quando a largura da base foi reduzida de 3 para 2 pneus, como visto na Figura 13 (Medeiros *et al.*, 2000). Além disso, determinou-se que a presença de pneus amarrados entre si no interior do muro certamente fornece ao conjunto uma resistência ao cisalhamento superior à do solo propriamente dito (LONG, 1990).

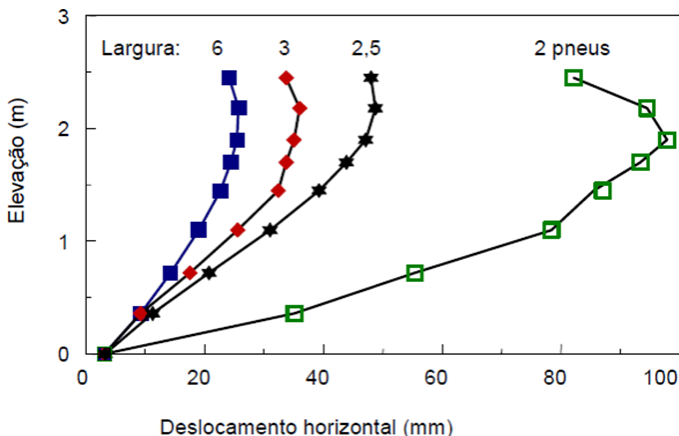


Figura 13 – Variação dos deslocamentos horizontais em função da largura do muro (Medeiros et al., 2000).

Apesar do estudo do muro experimental de solo-pneus ter sido iniciado nos anos 90, o processo construtivo ainda é estudado atualmente. Através do software PLAXIS foi possível realizar uma simulação numérica

atualizada a fim de comparar os resultados obtidos anteriormente em relação aos deslocamentos horizontais com a instrumentação de campo. Com a modelagem computacional, o processo executivo foi seguido com a construção do muro de solo-pneus e do retroaterro ao mesmo tempo.

Os resultados da simulação numérica foram comparados aos resultados da instrumentação de campo para a etapa final da construção e após a aplicação da sobrecarga. O *software* em questão faz uso do método dos elementos finitos e engloba modelos constitutivos diferentes, além de simular diversas condições de contorno e etapas construtivas.

Os resultados obtidos com o *software* PLAXIS no estudo realizado em 2018 foram semelhantes ao primeiro estudo realizado com o *software* GESSDA. A variação encontrada no módulo de deformabilidade foi resultado do efeito da compactação que foi modelado no estudo mais recente. Sendo assim, notou-se que a modelagem dos efeitos da compactação do solo indicou deslocamentos horizontais maiores e causou influência nas deformações pós construtivas (MUSSI et. al, 2018).

## CONCLUSÃO

O reaproveitamento de pneus na construção de muros de contenção mostra-se como uma técnica eficaz. O estudo de caso evidenciou que a reutilização de pneus em obras de contenção de taludes é uma boa alternativa tecnicamente e economicamente viável quando a comparamos com técnicas convencionadas de estabilização de encostas. Além disso, essa técnica é ecologicamente correta e contribui de maneira significativa na diminuição do passivo ambiental.

Na construção do muro, observou-se que a utilização de pneus cortados é bastante favorável por proporcionar maior rigidez e menos deformabilidade. Muros de solo-pneus apresentam boa resistência e flexibilidade, além de ser uma opção que não demanda mão de obra especializada e grandes maquinários para o processo construtivo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.N.C.- Associação Nacional de Cruzeiros (2003) – Homepage da Associação Nacional de Cruzeiros [www.edinfor.pt](http://www.edinfor.pt).

ACHCAR, Arine; OLIVEIRA, Cássia Geremias de. **Reutilização e Reciclagem de Resíduos na Construção Civil**. 2018.

AMARAL, Talita Ester Martins; KONARZEWSKI, Carmem. **Reutilização de materiais da construção civil**. Mostra Interativa da Produção Estudantil em Educação Científica e Tecnológica, 2018.

Bourscheid AB, Souza RL, **Resíduos de construção e demolição como material alternativo**. 1ª edição. Florianópolis: Publicações do IF-SC, 2010. 85 p.



BRASIL – Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA nº 301, de 21 de março de 2002 – In: Resoluções 2003. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br>> Acessado em: 20/03/2022.

CIMINO, Marly Alvarez; ZANTA, Viviana Maria. **Gerenciamento de pneumáticos inservíveis (GPI): análise crítica de ações institucionais e tecnologias para minimização**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 10, n. 4, p. 299-306, 2005.

DE FARIAS GUIMARÃES, Tereza Cristina et al. **MURO VIVO INTERACTIVE ALIVE WALL**. 2015.

**Estruturas em contenção**. Instituto Monte Pascoal. 17/06/2019. Disponível em:<<http://www.imontepascoal.com/noticias/17062019/estruturas-em-contencao/#:~:text=Muros%20s%C3%A3o%20estruturas%20corridas%20de,ou%20ainda%2C%20de%20elementos%20especiais>> Acessado em: 01/04/2022 FLORIANI, Marco Antonio; FURLANETTO, Vinicius Cadore; SEHNEM, Simone.

**Descarte sustentável de pneus inservíveis**. Navus-Revista de Gestão e Tecnologia, v. 6, n. 2, p. 37-51, 2016.

GERSCOVICH, DANZIGER E SARAMAGO. **Contenções: teoria e aplicações em obras**. 2ª ed. Oficina de Textos, 2016.

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

GIACOBBE, S. **Estudo do comportamento físico-mecânico do concreto de cimento portland com adição de borracha de pneus**. 2008. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

KAMIMURA, Eliane et al. **Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil**. 2002.

KAMIMURA, Eliane. **Potencial dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil**. 2004. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis.

LAGARINHOS, Carlos Alberto Ferreira; TENÓRIO, Jorge Alberto Soares. **Reciclagem de pneus: discussão do impacto da política brasileira**. Engevista, 2009.

Long, N.T. (1990) - “**The Pneusol**”. Publication GT44, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, France, 76p.

LONG, N.T. **Pneusol**, Tyresoil, Tiresoil. Colloque Routes et Development, Ecole National des Ponts et Chaussées, France, 17p, 1984.

MARÇAL, Vitor Hugo Silva; AMBIENTAL, CIVIL E. **Uso do bambu na construção civil. Projeto final em Engenharia Civil e Ambiental.** Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília, 2008.

MASSIMINO, Beatriz Mello et al. **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MURO DE CONTENÇÃO DO TIPO SOLO PNEU E GABIÃO.** In: Colloquium Exactarum. ISSN: 2178-8332. 2020. p. 18-29.

MEDEIROS, L.V. et al. **Reuso de Pneus em Geotecnia.** In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE REUSO/RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS. SMA/SP, 2000.

MEDEIROS, L.V.; SAYÃO, A.S.F.J.; GARGA, V.K.; ANDRADE, M.H.N. **Use of Scrap Tires in Slope Stabilization.** 2nd Panamerican Symposium on Landslides, ISSMGE, Rio de Janeiro, Brasil, vol. 2, p. 637-643, 1997

MEDEIROS, L.V.; SAYÃO, A.S.F.J.; GARGA, V.K.; ANDRADE, M.H.N. **Use of Scrap Tires in Slope Stabilization.** 2nd Panamerican Symposium on Landslides, ISSMGE, Rio de Janeiro, Brasil, vol. 2, p. 637-643, 1997.

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

MOTTA, Flávia Gutierrez. **A cadeia de destinação dos pneus inservíveis: o papel da regulação e do desenvolvimento tecnológico.** Ambiente & sociedade, v. 11, p. 167-184, 2008.

MUSSI, G. F. S. A. ; LOPEZ, D. S. ; LIMA, B. T. ; SIEIRA, A. C. C. F. ; SAYAO, A. S. F. J. . **Avaliação do Comportamento de Muros de Gravidade Construído com Solo-Pneus.** In: COBRAMSEG 2018 - XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica Geotecnia e Desenvolvimento Urbano, 2018, Salvador. COBRAMSEG 2018 - XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica Geotecnia e Desenvolvimento Urbano, 2018

RMA: Rubber Manufacturers Association. **Energy Recovery From Scrap Tires.** May, 2002. Disponível em: <<http://www.rma.org/scraptires/Energy.html>> Acessado em: 14/02/2022.

RMA: Rubber Manufacturers Association. **Scrap Tire Facts and Figures.** May, 2002. Disponível em: <[http://www.rma.org/scraptires/facts\\_figures.html](http://www.rma.org/scraptires/facts_figures.html)> Acessado em: 14/02/2022.

RMA: Rubber Manufacturers Association. **Scrap Tire Management Council 1990- 2000. Tem Years of Success.** Disponível em: <<http://www.rma.org/scraptires/pdf/brochure.pdf>> Acessado em: 14/02/2022.

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

SIEIRA, A. C. C. F. **Análise do comportamento de um muro de contenção utilizando pneus.** Rio de Janeiro, 1998.

SIEIRA, A. C. C. F. et al. **Simulação Numérica do Comportamento de um Muro de Pneus.** IV Seminário de Fundações Especiais e Geotecnia-SEFE, São Paulo, Brasil, Julho, pp532-540, 2000.

SIEIRA, Ana Cristina Castro Fontenela. **Geossintéticos e pneus: alternativas de estabilização de taludes.** Engevista, 2009.

SIEIRA, Ana Cristina CF et al. **Comportamento de um Muro de Pneus para Estabilização de Encostas.** Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia, v. 91, p. 39-55, 2001.

SILVA, Frederico Collazo; DOS SANTOS, Fladimir Fernandes; KLAMT, Rodrigo André. **Ações para o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos gerados na construção de edificações.** Revista Saúde e Meio Ambiente, v. 1, n. 1, p. 1-23, 2015.

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

SZPILMAN, M. **Reciclagem.** In: Instituto Ecológico AQUALUNG. Informativo n.º 23, jan/fev 1999. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2016/08/19/reciclagem-depneus>> Acessado em: 26/04/2022.

VIANA, Viviane Japiassú et al. **REUTILIZAÇÃO DE PNEUS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.** Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula, v. 4, n. 1, p. 63-74, 2021.