

Análise de Custo/Benefício de Muros de Gravidade Alternativos

Lúcio Flávio da Silveira Matos, Dr. Eng. Civil

Universidade Regional de Blumenau - FURB, Blumenau, Brasil, luciusmats@gmail.com

Abrahão Bernardo Röhden, Dr. Eng. Civil

Universidade Regional de Blumenau - FURB, Blumenau, Brasil, abrcivil@gmail.com

Danieli Cristina Rech, Eng. Civil

Universidade Regional de Blumenau - FURB, Blumenau, Brasil, danielirech@hotmail.com

RESUMO: Entre as várias estruturas de contenção menos onerosas certamente se contam os muros de arrimo, de diversos tipos, havendo hoje, para alturas inferiores a 5 metros, soluções alternativas de menor custo, tais como de concreto ciclópico, de pneus e de solo ensacado, todavia não existe na bibliografia disponível muita informação sobre a competitividade técnico-econômica de cada uma delas, sobretudo, numa perspectiva comparativa. O trabalho de pesquisa se pautou essencialmente por uma análise comparativa de custo/benefício de três muros de gravidade alternativos – de pneus, solo-cimento ensacado e concreto ciclópico – apresentando assim propostas econômicas no que diz respeito à execução desse tipo de obra. Incluiu três dimensionamentos de muros com alturas de 3, 4 e 5 metros, sendo que todas as características do solo foram mantidas em todas as situações estudadas; após o dimensionamento, as três soluções foram comparadas, em termos de desempenho de estabilidade e custos relativos aos materiais, incluindo o transporte, por valores praticados na Região do Médio Vale do Itajaí. Em termos de estabilidade ao deslizamento, verificou-se que o muro de concreto ciclópico é o que teve os resultados mais vantajosos com coeficiente de segurança compreendido entre 1,54 e 1,57, para as três alturas estudadas; o muro de pneus apresentou bons resultados mas, ao aumentar a altura do muro, o coeficiente de segurança caiu quase linearmente, desde 2,10 a 1,66; já o muro de sacos de solo-cimento teve valores de coeficiente de segurança de 2,14, 2,10 e 2,09, respectivamente, para alturas de 3, 4 e 5m. O coeficiente de segurança ao tombamento assumiu resultados muito acima do valor mínimo desejável de 1,50, tendo o muro de concreto ciclópico apresentado os menores resultados, muito próximos de 3, o muro de sacos de solo-cimento com valores entre 3,40 e 3,50, e o muro de pneus com números linearmente decrescentes de 4,10 a 3,10, para a variação da altura de 3 a 5m. A tensão máxima de contato na base é menor para o muro de concreto ciclópico, sendo maior, aproximadamente, 120% para o muro de pneus e 150% para o muro de solo-cimento ensacado. Quanto aos custos financeiros, os muros de concreto ciclópico e de solo-cimento ensacado têm valores muito próximos, com ligeiro ganho para o segundo, todavia o muro de pneus é o mais competitivo importando em cerca de metade das despesas.

PALAVRAS-CHAVE: contenção de taludes, muros de arrimo, muros alternativos, custo-benefício.

1 INTRODUÇÃO

A Região do Médio Vale do Itajaí, onde se encontra a cidade de Blumenau, sempre apresentou problemas com a instabilidade de encostas naturais, com o constante aumento da urbanização; o agravante de uma grande parte

do território ser de montanhas gera escassez de áreas urbanizáveis e grande valorização das áreas planas, assim, cada vez mais, a população de mais baixa renda vem ocupando as encostas, expondo-se aos riscos de escorregamentos que são potencializados pela falta de infraestrutura, principalmente, de estruturas de contenção,

disciplinamento de águas pluviais e esgoto sanitário.

Para prevenir esses escorregamentos é quase sempre necessário investir em obras para contenção de taludes artificiais ou de escavação. Essas contenções são onerosas o que as torna pouco acessíveis para os ocupantes de baixa renda, que não tem condições de arcar com os custos de estruturas de arrimo convencionais de concreto armado, gabiões, terra armada, etc. Por isso, muito se tem estudado a adoção de materiais alternativos de menor custo, mas que viabilizem a segurança.

Existem vários tipos de obras de contenção e dentre elas são muito populares os muros. Estes podem ser de gravidade ou de flexão, com ou sem contrafortes e com ou sem tirantes. Os de gravidade, sem armadura de aço, são os menos onerosos, mas só são viáveis para alturas de até cinco metros e normalmente requerem uma base de 40% a 60% de sua altura e podem ser construídos de diversos materiais como gabiões, alvenaria, concreto convencional, entre outros.

Estudos tem proporcionado a adoção de materiais alternativos como os pneus inservíveis (Medeiros et al., 2000; Kamimura, 2002; Sieira, 2009), que são preenchidos com solo local e amarrados uns aos outros formando um muro muito resistente, ainda os sacos de solo-cimento, que são empilhados com amarração adequada contendo uma mistura de solo arenoso e cimento, que depois endurece, e também o concreto ciclópico constituído de pedras de mão e concreto comum.

Na hora de escolher um muro muitos fatores são levados em conta. Deve-se estudar qual material terá o melhor custo, mas também verificar qual o espaço disponível para a construção, se há disponibilidade do material escolhido na região e se o solo suporta o muro selecionado.

O presente trabalho é essencialmente um estudo de viabilidade técnico-econômica que apresenta as soluções de projeto de três muros com materiais alternativos – pneus, sacos de solo-cimento e de concreto ciclópico – com as alturas de três, quatro e cinco metros – visando comparar objetivamente os coeficientes de estabilidade, as dimensões e os custos.

Em suma, a pergunta de pesquisa que norteou o estudo foi: qual das soluções de

muros de arrimo tipo gravidade com materiais alternativos – pneus, sacos de solo-cimento e concreto ciclópico – apresenta a melhor relação custo/benefício?

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização dos Materiais

Os pré-dimensionamentos dos muros de arrimo foram feitos levando-se em consideração os seguintes parâmetros relacionados aos materiais:

- Solo predominantemente arenoso;
- Peso específico do solo: $\gamma_s = 18 \text{ kN/m}^3$;
- Peso específico médio do material do muro de concreto ciclópico: $\gamma_m = 22 \text{ kN/m}^3$;
- Peso específico médio do material do muro de pneus: $\gamma_m = 16,4 \text{ kN/m}^3$;
- Peso específico do material do muro de sacos de solo-cimento : $\gamma_m = 20 \text{ kN/m}^3$;
- Ângulo de atrito interno do solo: $\varphi = 30^\circ$;
- Coesão do solo: $c = 0 \text{ kPa}$;
- Fator de atrito terras-muro: $\mu = 0,55$;
- Tensão admissível no solo de fundação: $\sigma_{adm} = 200 \text{ kPa}$.

O nível freático será admitido abaixo da camada de suporte dos muros, sendo assim, não foram consideradas poropressões atuantes no maciço de fundação.

2.2 Pré-Dimensionamento e Estabilidade

Com base nos conceitos apresentados na literatura especializada sobre o tema estudado, com destaque para Moliterno (1994), foram feitos os pré-dimensionamentos dos três tipos de obras de contenção estudados – muro de cimento ciclópico, muro de pneus e muro de sacos de solo-cimento – considerando uma situação ideal em que todas essas obras são possíveis de serem construídas no mesmo local e em igualdade de condições geotécnicas, possibilitando, dessa forma, uma análise comparativa mais direta de custos para três alturas de contenção: 3, 4 e 5 metros.

A verificação de estabilidade dos muros envolveu essencialmente o cálculo dos fatores de segurança ao tombamento e ao deslizamento,

que não devem ser inferiores a 2 e 1,5, respectivamente, a pressão de contato descarregada pelo muro na base que deve ser inferior à tensão admissível de suporte do solo de fundação, a estabilidade estrutural interna, que passa pela condição de não ocorrência de tensões de tração em qualquer ponto do tardo do muro e o fator de segurança global ao escorregamento, maior ou igual a 1,5, do conjunto muro de arrimo + maciço terroso, sendo este analisado através dos métodos convencionais de estabilidade de taludes com recurso ao software Geo-Slope.

2.3 Orçamentos

Após o pré-dimensionamento e verificação de estabilidade dos muros, foram elaborados os orçamentos, levando em consideração as singularidades de execução de cada um das soluções.

Os orçamentos foram realizados com base em pesquisa de mercado no Vale do Itajaí, quanto aos materiais, sem levar em conta os custos de mão de obra, contando que todos os muros foram executados por uma mesma equipe e com tempos de execução muito parecidos; e, também, não foram considerados os custos das obras de drenagem, corte e aterro, assumidos equivalentes para as três alternativas de contenção.

Para o muro de concreto ciclópico, considerou-se formas de madeira recuperáveis para a concretagem em camadas de um metro de altura, e que as pedras tipo rachão ocupavam 30% do volume, enquanto o concreto de 15 MPa correspondia aos restantes de 70%.

Para o muro de pneus, conforme pesquisa nas lojas da região, foram considerados pneus inservíveis obtidos por doação, portanto, o custo do produto ficou restrito ao custo do transporte. Como custo do transporte adotou-se o valor de frete de R\$ 250,00, para um caminhão que carrega 63 m³, contado que um pneu tem o volume de 0,045 m³ e uma perda para vazios de 20%, supõe-se que o caminhão carrega 1.120 pneus por viagem, o que dá um preço de R\$ 0,223 reais/pneu. Para a amarração considerou-se quatro metros de corda por pneu.

Quanto ao muro de sacos de solo-cimento, deve-se salientar que não foram encontrados

sacos de largura igual à metade do comprimento na região do Vale do Itajaí; assim, através de busca na internet, houve contato com um fornecedor de São Paulo que dispõe de sacos de aniagem de 30cmx60cm, cujo valor por milheiro foi acrescido do frete, para posterior determinação do custo da unidade. Para o cálculo dos custos do cimento e da areia, foi considerada a proporção de 1:15 (cimento: areia), portanto, para o volume de um saco de aniagem de 0,3mx0,6mx0,15m, ou seja, 0,027 m³, foram calculados 0,0025 m³ de cimento e 0,0245 m³ de areia.

Os orçamentos apresentados referem-se a uma extensão de 1 metro de muro.

3 SEÇÕES TRANSVERSAIS

O pré-dimensionamento dos muros teve como diretriz fundamental o menor gasto de materiais que levasse a satisfazer os limites dos critérios e coeficientes de segurança especificados.

As seções transversais dos muros de concreto ciclópico, de pneus e de sacos de solo-cimento estão representadas nas Figuras 1, 2 e 3, respectivamente.

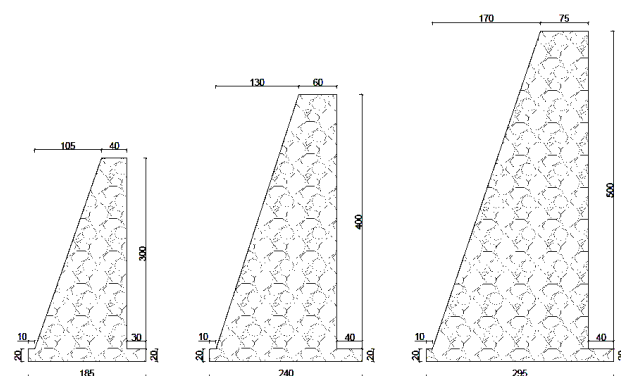


Figura 1. Seção do muro de concreto ciclópico.

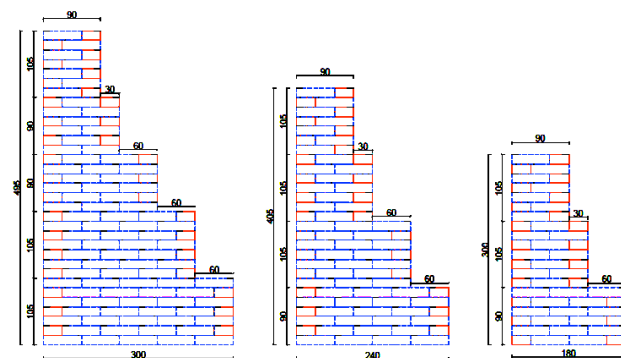


Figura 2. Seção do muro de pneus.

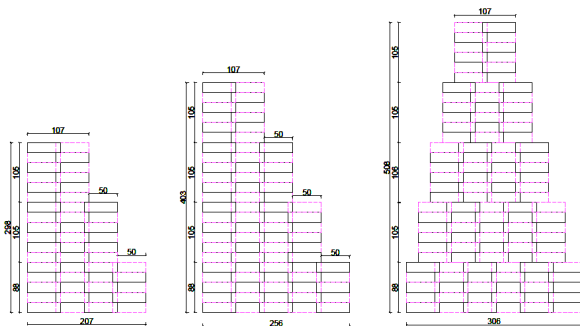


Figura 3. Seção do muro de sacos de solo-cimento.

Examinando as três figuras anteriores, verifica-se que, conforme se ilustra na Figura 4, em termos de proporção altura/base, não existe grande diferença entre as diversas seções dos muros alternativos estudados. O muro de pneus tem a maior base, mas apenas na altura de 3 metros essa diferença chega a 7% em relação ao concreto ciclópico e 9% em relação ao de solo-cimento ensacado.

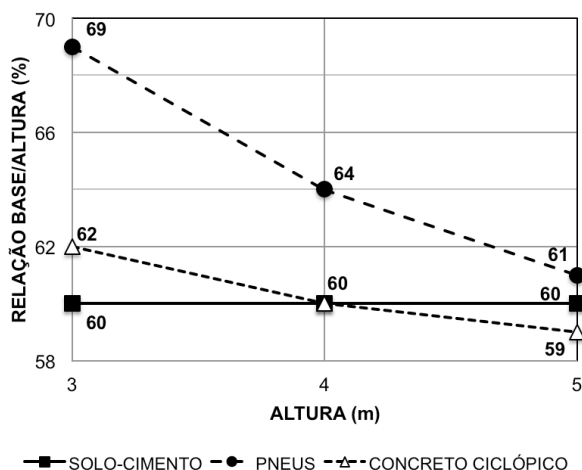


Figura 4. Percentagem base/altura dos muros.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estabilidade ao Tombamento

A Tabela 1 resume para os três muros os valores do coeficiente de segurança ao tombamento, FS_T . Na Figura 5 apresenta-se graficamente esses valores, para fins de comparação.

Tabela 1. Coeficientes de segurança ao tombamento.

Tipo de Muro	Altura (m)		
	3	4	5
Concreto ciclópico	3,00	2,98	2,94
Pneus	4,12	3,49	3,11
Sacos de solo-cimento	3,44	3,33	3,35

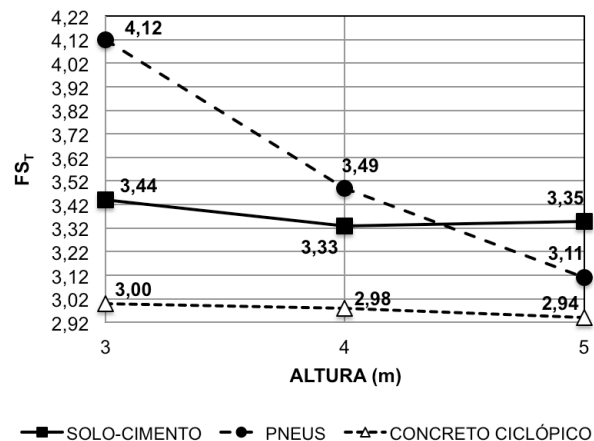


Figura 5. Coeficientes de segurança ao tombamento.

Considerando que o coeficiente de segurança ao tombamento deve ser maior ou igual a 2,0 todos os resultados encontrados neste gráfico foram bastante positivos; ainda assim, o muro de concreto ciclópico foi o que obteve os menores resultados e o muro de sacos de solo-cimento obteve resultados levemente acima. O muro de pneus teve os valores do coeficiente de segurança ao tombamento mais elevados para as alturas de 3 e 4 metros, mas, para alturas superiores, o coeficiente FS_T tende a cair significativamente com o aumento de altura.

4.2 Estabilidade ao Deslizamento

Na Tabela 2 e na Figura 6 apresenta-se os valores do coeficiente de segurança ao deslizamento, FS_D .

Os resultados do coeficiente de segurança ao deslizamento também cumpriram, para os três tipos de muros e nas três alturas, as especificações para este tipo de estabilidade.

Verifica-se que o muro de concreto ciclópico é que possui os resultados mais baixos e que o muro de pneus tem bons resultados, mas nota-se que ao aumentar a altura do muro o coeficiente de deslizamento cai consideravelmente. Já o muro de sacos de solo-cimento tem valores de FS_D próximos de 2,1 para as três alturas.

Tabela 2. Coeficientes de segurança ao deslizamento.

Tipo de Muro	Altura (m)		
	3	4	5
Concreto ciclópico	1,56	1,57	1,54
Pneus	2,14	1,98	1,67
Sacos de solo-cimento	2,14	2,10	2,09

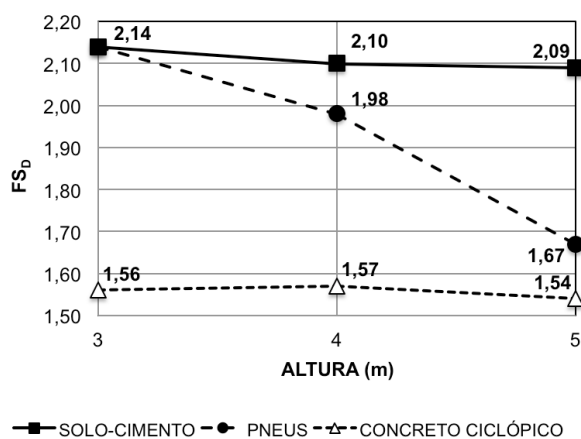


Figura 6. Coeficientes de segurança ao deslizamento.

4.3 Pressões de Contato na Base

Na Tabela 3 estão resumidos os valores máximos e mínimos das pressões de contato transmitidas ao solo de fundação.

Tabela 3. Pressões de contato na base.

Tipo de Muro	Pressões (kPa)	Altura (m)		
		3	4	5
Concreto ciclóptico	Máxima:	69,52	95,81	117,32
	Mínima:	22,80	28,66	35,20
Pneus	Máxima:	84,74	124,13	128,04
	Mínima:	15,21	11,80	23,88
Sacos de solo-cimento	Máxima:	111,23	151,54	181,57
	Mínima:	5,27	4,68	4,25

Na figura 7, abaixo, representa-se a evolução da pressão de contato máxima na base com a altura, para os três muros.

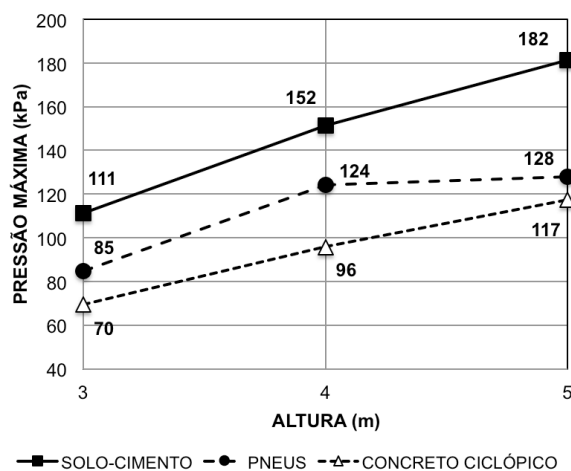


Figura 7. Pressão máxima na base.

Já na Figura 8, está representada a mesma evolução para a pressão de contato mínima.

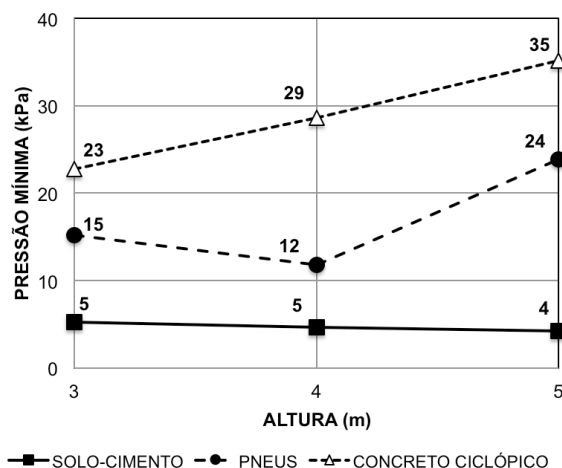


Figura 8. Pressão mínima na base.

Constatou-se que os melhores resultados foram os do muro de concreto ciclóptico, que manteve as pressões estáveis não se aproximando de nenhum extremo que na pressão máxima é 200 kPa e na mínima é 0 kPa. O muro de pneus teve resultados medianos. Já o muro de sacos de solo-cimento teve os piores resultados ficando muito próximo dos extremos de tensão máxima e mínima.

4.4 Orçamento

Na Tabela 4 e Figura 9 estão resumidos os custos por metro de muro, considerando apenas as quantidades de materiais para a execução.

Tabela 4. Custos por metro de muro.

Tipo de Muro	Altura H do Muro		
	H=3m	H=4m	H=5m
	R\$/m	R\$/m	R\$/m
Concreto ciclóptico	618,19	1056,26	1634,20
Pneus	334,08	527,85	761,70
Sacos de solo-cimento	600,05	981,25	1461,29

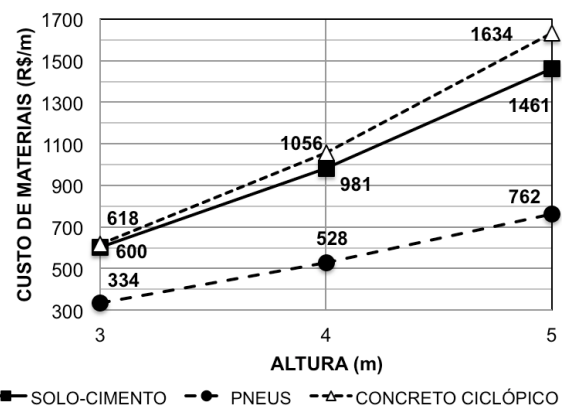


Figura 9. Comparação de custos de materiais por metro.

No muro de concreto ciclópico verificou-se que houve um aumento de 71% do custo da altura de 3 metros para a de 4 metros e 166% para 5 metros, concluindo-se que quanto mais alto menor competitividade econômica ele apresenta.

No muro de pneus, verificou-se que houve um aumento de 58% do custo do muro de 3 metros para o de 4 metros e 128% para um muro de 5 metros, concluindo-se que, além de ser o de menor custo, também, apresenta menor crescimento de custos com a altura.

No muro de sacos de solo-cimento, verificou-se que houve um aumento de 64% do custo do muro de 3 metros para o de 4 metros e 144% para um muro de 5 metros, concluindo-se que este tipo de muro apresenta uma taxa de crescimento de custos com a altura muito similar à do muro de concreto ciclópico.

Na comparação de custos unitários conclui-se que o muro de pneus é o mais vantajoso para o proprietário, traduzindo-se na menor despesa de compra de materiais, traduzindo-se num custo por metro que varia de 47% a 54% do muro de concreto ciclópico, que é o mais oneroso. Por sua vez, o muro de sacos de solo-cimento equivale a uma redução de 10% das despesas, no máximo, relativamente ao muro de concreto ciclópico.

A grande vantagem econômica dos muros de pneus também foi constatada por outros pesquisadores, principalmente, Souza (2002) e Baroni (2007).

Souza (2002) comparou os custos de seis muros, a saber: gabião, pedra arrumada, pedra argamassada, concreto ciclópico, concreto armado e pneus, com alturas variando metro a metro, entre 1m e 5m; concluiu que o muro de pneus tinha custos próximos do muro de pedra argamassada, um pouco acima do muro de pedra arrumada, porém ultrapassados sucessivamente pelo muro de concreto ciclópico, gabião e de concreto armado; para a altura de 5m, o muro de pneus apresentou um preço por metro igual a 44% do muro de concreto ciclópico, o que é um valor muito próximo da respectiva percentagem de 47%, atingida na presente pesquisa.

Por sua vez, Baroni (2007) apresenta um estudo sobre um muro de pneus de 2,60m de altura e 10,35m de comprimento, preenchido

com fragmentos de rocha basáltica; os estudos de custos realizados assumem a conclusão que o muro de pneus atingiria um preço total igual a 17% de um muro de flexão de concreto de armado, a construir no mesmo local. Baroni et al. (2012) corroboram as conclusões atingidas antes por Baroni (2007), quanto à enorme competitividade econômica dos muros de pneus frente aos de concreto armado e estendem o estudo a uma análise paramétrica de estabilidade para alturas variando entre 2m e 7m, com diretrizes muito úteis de pré-dimensionamento em termos da relação base/altura.

A competitividade do comportamento mecânico, isto é, quanto a resistência e deformações foi avaliada com resultados vantajosos por pesquisas realizadas desde 2000, com destaque para as descritas por Medeiros et al. (2000), Sieira (2009) e Magalhães (2014).

5 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que para as três situações apresentadas o muro de pneus é indubitavelmente o mais econômico, com uma redução de custos de materiais de 40% a 50%. Observando os outros aspectos calculados, esse muro ainda é o que proporciona o melhor custo/benefício, pois teve bons resultados em todas as verificações de estabilidade.

O muro de pneus ainda tem como grande benefício a reutilização de pneus descartados, contribuindo para a sustentabilidade ambiental. Também apresenta bons resultados das verificações de tombamento, deslizamento, pressões máximas e mínimas no solo e o fato de ter o melhor preço por metro, tornando-se assim o de melhor custo/benefício. Todavia, analisou-se que quando se aumenta a altura, os coeficientes de deslizamento e tombamento decrescem com uma intensidade exagerada, provando que o muro é mais recomendado para alturas até cinco metros. Este tipo de muro também possui desvantagens como a maior largura da base e a necessidade de um espaço a mais para uma possível deformação. Outra desvantagem é a possibilidade de vandalismo, por exemplo, a queima desse muro causaria uma fumaça tóxica muito perigosa, além da

queima das cordas de amarração, portanto recomenda-se a proteção superficial do mesmo com algum tipo de vegetação.

O muro de sacos de solo-cimento tem a vantagem de ter a menor base para a altura de 3 metros e continua vantajoso nas outras alturas; também, é um tipo de obra que pode ser considerada sustentável, pois inclui grande quantidade de solo. Ainda, obteve ótimos coeficientes de estabilidade ao tombamento e ao deslizamento, porém teve o pior desempenho em termos de pressões sobre o solo de fundação. Tem a desvantagem de não haver fornecedor de sacos de aniagem com as dimensões mais adequadas na região do Vale do Itajaí e também o fato do solo da região ser pouco granular e mais siltoso, não sendo possível utilizar o solo do local da obra, como no caso do muro de pneus, assim, sendo necessário comprar um solo mais arenoso, com custo adicional do transporte, o que aumenta o custo final. Conclui-se que o muro de sacos de solo-cimento não tem um custo/benefício muito bom para a região do Vale do Itajaí, mas que deve ser melhor estudado em regiões com solos predominantemente arenosos.

O muro de concreto ciclópico é o mais indicado entre os três para locais com menor disponibilidade de espaço, pois além das bases menores é o único que não terá deformação visível. Esse muro tem como vantagem a melhor estética e o fato de passar mais confiança ao cliente. A desvantagem é que ele possui o maior custo dentre os muros estudados e apesar de não incluir armadura de aço, ainda assim, é o muro menos sustentável dos três, devido ao maior gasto de cimento Portland.

Em conclusão final, como foi objetivamente evidenciado pelo presente estudo, deve-se salientar que a escolha do material adequado é de suma importância e merece um cuidadoso estudo na fase de projeto.

REFERÊNCIAS

- Baroni, M. (2007). *Estudo da Viabilidade do Aproveitamento de Pneus Inservíveis como Material de Construção de Estruturas de Contenção Arrimadas*, Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Tecnologia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 114 p.
- Baroni, M.; Specht, L.P.; Pinheiro, R.J.B. (2012). Construção de Estruturas de Contenção Utilizando Pneus Inservíveis: Análise Numérica e Caso de Obra, *Revista Escola de Minas*, Escola de Minas, Ouro Preto, Brasil, Vol. 65, n. 4, p. 449-457.
- Kamimura, E. (2002). *Potencial de Utilização dos Resíduos de Borracha de Pneus pela Indústria da Construção Civil*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 128 p.
- Magalhães, A.F.C. (2014). *Estruturas de Suporte de Terras Executadas com Pneus – Modelo à Escala Reduzida*, Dissertação de Mestrado, Engenharia Civil – Ramo de Estruturas, Instituto Politécnico do Porto, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 153 p.
- Medeiros, L.V.; Sayão, A.S.F.J.; Gerscovich, D.M.S.; Sieira, A.C.C.F. (2000). *Reuso de Pneus em Geotecnia*. Seminário Nacional sobre Reuso/Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais, Fiesp/Ciesp, São Paulo, CD-ROM, 19 p.
- Moliterno, A. (1994). *Cadernos de muros de arrimo*. Editora Edgard Blücher, São Paulo, SP, 2a. ed. Revista, 208 p.
- Sieira, A.C.C.F. (2009). Geossintéticos e Pneus: Alternativas de Estabilização de Taludes, *Engevista*, Vol. 11, n. 1. p. 50-59.
- Souza, A.N. (2002). *Muro de Contenção Utilizando Pneus: Análise e Alguns Comparativos de Custos*, Dissertação de Mestrado Profissionalizante, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 121 p.
- Baroni, M. (2007). *Estudo da Viabilidade do Aproveitamento de Pneus Inservíveis como Material de Construção de Estruturas de Contenção Arrimadas*, Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Tecnologia,