

Construção de estruturas de contenção utilizando pneus inservíveis: análise numérica e caso de obra

Construction of earth retaining structures using scrap tires: numeric analysis and case study

Magnos Baroni

Prof. M.Sc., Professor Assistente,
Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA
magnosbaroni@unipampa.edu.br

Luciano Pivoto Specht

Prof. Dr., Professor Adjunto,
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
luspecht@ufsm.br

Rinaldo José Barbosa Pinheiro

Prof. Dr., Professor Associado,
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
rinaldo@ufsm.br

Resumo

O uso de carcaças de pneus, na engenharia civil, envolve diversas soluções criativas e aplicações diversificadas. O presente artigo apresenta análises paramétricas baseadas em ensaios laboratoriais com diferentes tipos de pneumáticos, altura dos muros, materiais de preenchimento, níveis de água e ângulos de atrito interno do solo. Realizou-se o pré-dimensionamento de estruturas de contenção arrimadas para 376 diferentes combinações. Foi feita, também, uma análise estatística da influência que cada variável utilizada, na análise paramétrica, exerce sobre a base das estruturas pré-dimensionadas. Por fim, é relatada uma experiência realizada com a construção de um muro de arrimo composto por pneus preenchidos com agregados, para contenção de uma encosta localizada à margem do arroio Barreiro, no interior do Município de Ijuí – RS, comparando seu custo a uma tradicional estrutura de concreto armado.

Palavras-chave: Estruturas de contenção, muro de pneus, reutilização de pneus.

Abstract

The use of scrap tires in civil engineering involves creative solutions and diversified applications. The present paper presents parametric analyses based on laboratory data with different tires, wall heights, filling materials, water levels and soil friction angles. A design draft for 376 different earth retaining structures (combining all variables) was made and a statistical analysis performed to study the effect that each variable had on the base value. Finally, a case study is presented of a tire wall construction near Ijuí City – RS. The cost of this solution is given in comparison with the traditional concrete ones.

Keywords: Earth retaining structures, tire walls, tires reuse.

1. Introdução

Inúmeras vezes não se dispõe de espaço suficiente para se fazer uma transição gradual das elevações de um terreno, no qual se queira implantar uma determinada obra. Nesses casos, os taludes necessários podem ser suficientemente altos ou inclinados, de modo que sua estabilidade não é assegurada a longo prazo. As estruturas de contenção são projetadas para prover suporte para essas massas de solo não estáveis (Lambe e Whitman, 1979).

Essas estruturas proporcionam uma grande redução, no volume de movimentação de terra, e um expressivo ganho de área útil. Porém as tradicionais soluções em concreto armado e em muros de gravidade convencionais, geralmente, se apresentam muito onerosas (Lambe e Whitman, 1979; Ehrlich, 1990; Machado e Machado, 1997).

Simples, na aparência, os pneus são, na realidade, um produto com

plexo, que apresenta uma variedade de materiais, tais como: reforços metálicos e têxteis, borracha natural e sintética, elementos de reforço, agentes de vulcanização e de proteção, etc. (Lund, 1993; Epps, 1994; Specht, 2004).

O uso de carcaças de pneus, na engenharia civil, envolve diversas soluções criativas e aplicações diversificadas; não existe, ainda, uma tecnologia ideal, pois a definição do processo depende de fatores como: volume de pneus, proximidade de mercado, tipo de consumidores, investimento necessário, além de incentivos fiscais e financeiros. Para o desenvolvimento e avanço das tecnologias voltadas para a reutilização e a reciclagem de pneus, é necessário um esforço conjunto de empresas, governo e sociedade (Siera, 1998; Grippi, 2001; Specht, 2004).

Diante deste contexto, o presente artigo apresenta a possibilidade de se utilizarem pneus descartados em

estruturas de arrimo. Com base em ensaios laboratoriais, é apresentada uma análise paramétrica com diferentes tipos de pneumáticos, altura dos muros, materiais de preenchimento, níveis de água e ângulos de atrito interno do solo, realizando, assim, o pré-dimensionamento de estruturas de contenção arrimadas para 376 diferentes combinações; apresenta-se, também, uma análise estatística da influência que cada variável utilizada exerce sobre a formação dos valores de base das estruturas pré-dimensionadas.

Por fim, é relatada uma experiência realizada com a construção de um muro de arrimo composto por pneus preenchidos com agregados, comparando-se seu custo a uma estrutura tradicional de concreto armado. Este muro foi utilizado para contenção de uma encosta localizada à margem do arroio Barreiro, no interior do Município de Ijuí – RS.

2. Metodologia

Análise Paramétrica

Foram realizados estudos com o intuito de se obter o peso específico dos diferentes conjuntos, conjuntos estes com

postos por materiais de preenchimento/pneus a serem utilizados no dimensionamento das estruturas de contenção arri-

madas. As variáveis utilizadas são apresentadas na Tabela 1.

Variáveis	Níveis utilizados
Tipo de pneus	Veículos comerciais e passeio
Tipo de material de enchimento	Solo, PM e RCD
Altura do muro (m)	2, 3, 4, 5, 6 e 7
Nível da água (NA)	0 h, ½ h e h
Ângulo de atrito (ϕ)	25, 30 e 35°

Nota:

PM = Pedra de mão; RCD = Resíduo de construção e demolição; h = altura do muro.

Foram utilizados dois tipos de pneus: veículos de passeio (Figura 1), com volume considerado de 0,032 m³, e veículos comerciais (Figura 2), com volume considerado = 0,191m³. Os pneus

foram preenchidos com solo residual de basalto (descrito em Diemer et al., 2008), pedra de mão (PM) e Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Os referidos pneus foram pesados para obtenção do

$$\gamma = \frac{P}{V} \quad (1)$$

Onde:

γ = Peso específico.

P = Peso do conjunto material de enchimento/pneu.

V = Volume do pneu.

O procedimento foi repetido três vezes, para o solo e para a pedra de mão (PM), e cinco vezes, para os resíduos de

Tabela 1

Variáveis elencadas.

seu peso específico, o que possibilita o pré-dimensionamento de estruturas de contenção a partir da expressão:

construção e demolição (RCD), para se obterem a média e o desvio-padrão do conjunto.

Figura 1
Pneumático de um veículo comercial
preenchido com pedra de mão (PM).

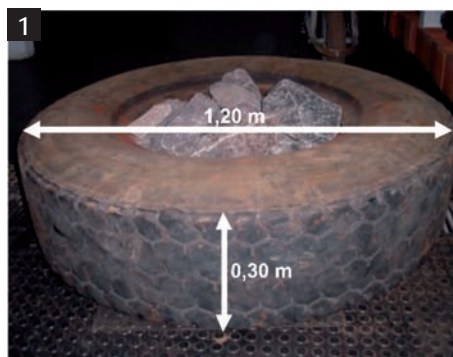
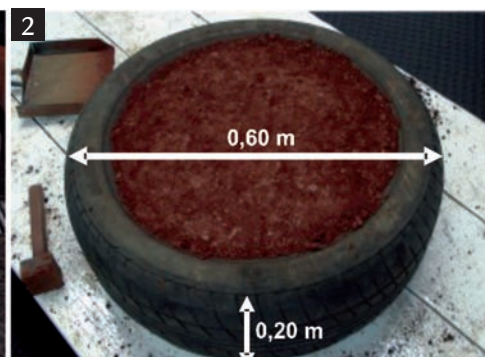


Figura 2
Pneumático de um veículo de passeio
preenchido com solo.



Análise estatística

A partir das informações obtidas na análise paramétrica, foi procedida uma análise estatística e formulado um modelo, para determinação do valor da variável-base (B = base da estrutura de arrimo). O conjunto de variáveis independentes adotado, no modelo de regressão, foi: NA = ní-

vel de água; γ = peso específico dos conjuntos materiais de enchimento/pneus; θ = ângulo de atrito interno do solo e h = altura do muro.

Os valores das variáveis independentes foram colocados em intervalos de -1 até 1. Com essa escala todas as variáveis independentes ficam

no mesmo intervalo numérico, sendo possível comparar os coeficientes do modelo gerado. Para a análise do modelo, foi utilizado o método de análise de variância – ANOVA. Maiores detalhes podem ser encontrados em Montgomery (1984) e Nanni e Ribeiro (1987).

Construção do muro de arrimo

Através de uma parceria entre a Secretaria Municipal de Agricultura e Desenvolvimento Rural – SMADER do Município de Ijuí/RS e a Universidade

Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, foi proposto o estudo para construção de uma estrutura experimental de contenção composta por

pneus descartados, que possuísse um menor custo frente às tradicionais estruturas de arrimo e concreto armado.

3. Resultados

Peso específico agregados/pneus

A Tabela 2 apresenta os pesos específicos obtidos no laboratório. Percebe-se que o conjunto solo/pneu apresentou um maior valor, seguido pelo conjunto PM/pneu e RCD/pneu. Esses valores se ex-

pressam, tanto para veículos comerciais, quando para veículos de passeio. Dividindo os conjuntos em veículos de passeio e comerciais, em todos os casos, os veículos de passeio apresentam um maior

peso específico (γ). Esse fato ocorre devido o pneu de veículos de passeio apresentar uma menor borda, facilitando o seu preenchimento e diminuindo os índices de vazios do conjunto.

Materiais de enchimento	Pneus	Peso específico γ (kN/m ³)
Solo	Veículos comerciais	14.95
	Veículos passeio	16.63
PM	Veículos comerciais	13.32
	Veículos passeio	15.76
RCD	Veículos comerciais	10.96
	Veículos passeio	13.00

Tabela 2
Peso específico dos conjuntos.

Nota:

PM = Pedra de mão; RCD = Resíduo de Construção e Demolição; h = altura do muro.

Dimensionamento das estruturas e análise paramétrica

Deve-se, sob a ação do empuxo (E), garantir a estabilidade ao deslizamento, tombamento, capacidade de carga e evitar a ruptura global, conforme ilustra a Figura 3 (Lambe e Whitman, 1979, Clayton et al., 1993; Ehrlich, 1999).

Para a determinação dos empuxos que o solo exerce sobre o muro, é possível adotar as teorias clássicas fundamenta-

das no equilíbrio-limite. Muitos autores recomendam a utilização da formulação de Coulomb, admitindo-se o atrito entre o muro e o terreno como equivalente ao ângulo de atrito interno do solo no estado crítico. Entretanto há autores que consideram a mobilização de atrito improvável, uma vez que o muro composto por pneus não se comporta como um bloco

rígido. Admitindo tal hipótese a teoria de Rankine torna-se mais realista e os empuxos ativos seriam paralelos à superfície do terreno (Lambe e Whitman, 1979, Clayton et al., 1993; Ehrlich, 1999).

A verificação da estabilidade pode ser realizada através da adoção de fatores de segurança globais. As estruturas foram calculadas considerando a resistên-

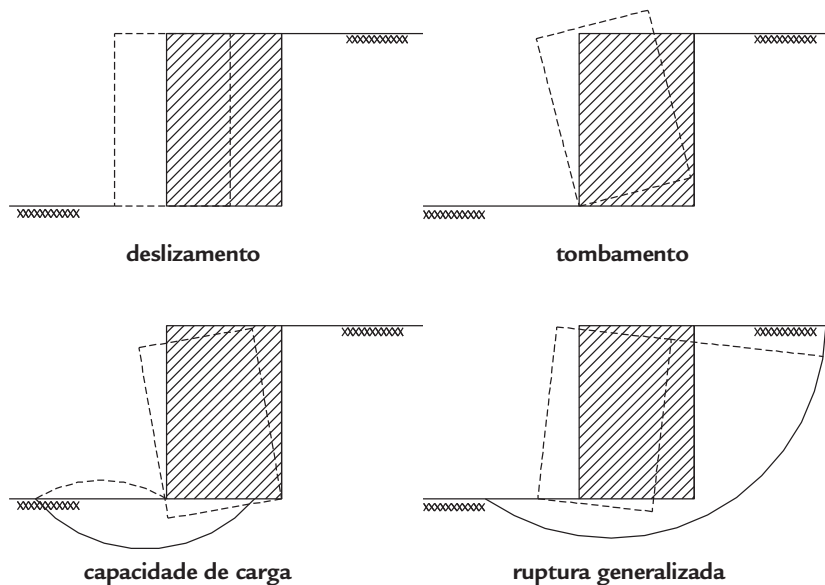


Figura 3
Análise da estabilidade.

cia ao deslizamento e ao tombamento (fator de segurança $FS = 2$) (Clayton et al., 1993; Ehrlich, 1999; Elias et al., 2001). A capacidade de carga no solo de fundação bem como a estabilidade global não fo-

ram verificadas, pois, nesse caso, a base foi executada sobre alteração de rocha.

O dimensionamento foi efetuado a partir das combinações das variáveis adotadas (Tabela 1), totalizando 376

diferentes condições de projeto. A metodologia de cálculos utilizada foi baseada na teoria de Rankine (1857), descrita a seguir:

$$K_a = \tan^2(45 - \phi/2) \quad (2)$$

onde: K_a = Coeficiente de empuxo ativo

ϕ = Ângulo de atrito

$$E_a = \frac{K_a \cdot h^2 \cdot \gamma}{2} \quad (3)$$

onde: E_a = Empuxo ativo

h = Altura

γ = Peso específico

$$FS_t = \frac{R_v \cdot d_{Rv}}{E_a \cdot d_{Ea}} \quad (4)$$

FS_t = Fator de segurança ao tombamento.
 R_v = Reação vertical.

d_{Rv} = Distância do ponto de aplicação da reação vertical até o centro de giro.

d_{Ea} = Distância do ponto de aplicação do empuxo ativo até o centro de giro.

$$FS_d = \frac{R_v \cdot \tan \phi}{E_a} \quad (5)$$

FS_d = Fator de segurança ao deslizamento.

A Figura 4 apresenta as relações-base *versus* altura da estrutura de contenção composta por pneus de veículos de passeio preenchidos com solo residual de basalto. O dimensionamento de todas as estruturas está disponível em Baroni (2007). Em

geral, é possível dizer que os ângulos de atrito utilizados possuem influência direta sobre o valor das forças horizontais (empuxo ativo), podendo-se perceber que, quanto maior o ângulo de atrito do solo, menor será o empuxo ativo, logo menor

será a necessidade de peso da estrutura. Para ângulos de atrito baixos ($\phi \approx 25^\circ$), a estrutura apresenta deficiência à resistência ao escorregamento. Assim necessita de bases maiores para a sua estabilização apresentando um maior volume.

Análise estatística

A análise de variância mostrou que todas as variáveis indicadas no item 2 se mostraram suficientemente importantes

na formação da variável de resposta-base (B) analisada. A análise de regressão múltipla indicou o modelo apresentado

na Equação 6 para representar a relação entre as variáveis independentes (NA, g, ϕ , h) e a variável dependente (B).

$$B = 7,077 + 4,25 \cdot Na - 2,24 \cdot \gamma - 2,15 \cdot \phi + 1,48 \cdot h \quad (6)$$

$$R^2 = 0,61\% \quad e \quad \epsilon_p = 0,176m$$

Como demonstrado na Equação 6 (pelos coeficientes de cada variável), a variável independente que possui a maior influência sobre a variável dependente B é o nível de água (NA), seguido pelo peso específico do material (γ), pelo ângulo de atrito (ϕ) e pela altura da estrutura (h).

Para realizar o cálculo da base da estrutura segundo a Equação 6, é necessário que os valores do NA, γ , ϕ , h estejam no intervalo numérico de -1 até 1, pois o modelo foi gerado nessa escala.

O Coeficiente de Determinação (R^2) define o percentual de dados que é explicado pelo modelo de regressão,

tendo um sentido físico, numérico. No presente caso, o $R^2 = 0,61$. Esse valor de 61% ocorre devido à necessidade de se adotarem modulações constantes na base do muro, o que faz com que o modelo não seja linear. Essa modulação é necessária devido ao formato padronizado dos pneumáticos.

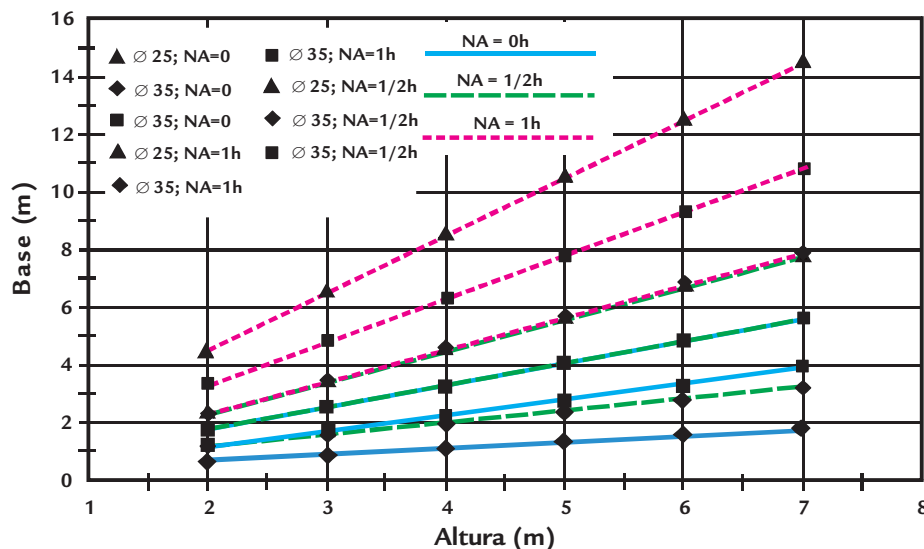


Figura 4
Relação-base versus altura para veículo de passeio preenchido com solo.

4. Execução de uma estrutura arrimada composta por pneus

Materiais

O solo utilizado nos ensaios foi extraído do talude as margens do arroio Barreiro, localizado no Distrito de Barreiro, interior do Município de Ijuí/RS, local onde se realizou o experimento. Tal estrutura tornou-se necessária para preservação do capitel dedicado a Nossa Senhora da Conceição (primeira capela do Município de Ijuí/RS), onde se realizam procissões e encontros da comunidade local em homenagem à santa.

As propriedades físicas médias do solo estão apresentadas na Tabela 3. Os

ensaios de cisalhamento direto realizados para a obtenção da coesão (c) e do ângulo de atrito interno (ϕ) do solo foram realizados na condição inundada, com velocidade de 0,03 mm/mim e tensões normais de 30, 60, 100 e 200 kPa.

A Figura 5 apresenta a distribuição granulométrica, obtida para o solo residual. Verifica-se que o material é composto por 48,85 % de argila (<0,002 mm), 29,10 % de silte (0,002 - 0,06 mm), 9,82% de areia fina (0,06 - 0,2 mm), 4,32 % de areia média (0,2 - 0,6 mm), 5,78 %

de areia grossa (0,6 - 2,0 mm) e 2,12 % de pedregulho. O solo é classificado, segundo a classificação unificada (Unified Classification System ou ASTM), como uma argila de alta plasticidade (CH) e segundo a classificação do HRB (Highway Research Board ou AASHTO), como A-7-6. Observando o índice de consistência e o índice de atividades calculados, este solo se enquadra como de consistência dura e de atividade normal.

O material pétreo utilizado, para o preenchimento dos pneus, foi fornecido

Propriedades	Valores Médios
Limite de liquidez (LL)	71 %
Limite de plasticidade (LP)	23 %
Índice de plasticidade (IP)	48 %
Massa espec. real dos grãos (G (G))	2,830 g/cm ³
Massa específica natural (g _n)	15,0 kN/m ³
Umidade in situ (w)	5,54 %
Índice de Atividade (I _a)	0,97
Índice de Consistência (IC)	1,36
Ângulo de Atrito (ϕ)	25,1°
Coesão (c)	18,3 kPa

Tabela 3
Propriedades físicas médias do solo.

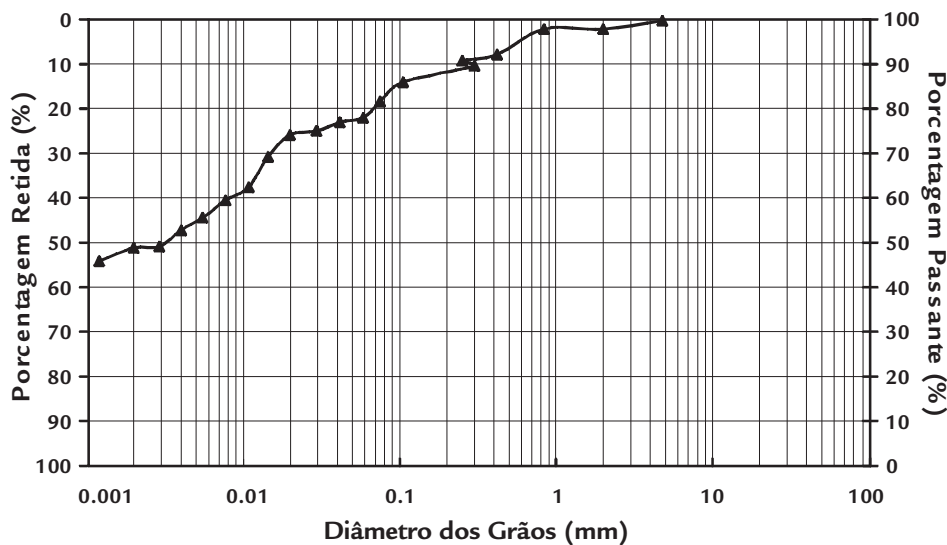


Figura 5
Distribuição granulométrica do solo.

pela empresa Pedreira Tabille S.A, de sua unidade industrial na cidade de Coronel Barros/RS. É uma rocha basáltica básica da Formação Serra Geral, semelhante à encontrada em outros pontos do Estado e considerada a mais representativa dessa região do país. O derrame basáltico cobre, aproximadamente, 54% do terri-

tório gaúcho. Segundo ABGE (1998), os basaltos são as rochas ígneas vulcânicas mais abundantes e sua maior ocorrência é na forma de derrames. No Brasil, constituem a Formação Serra Geral da bacia do Paraná, onde perfazem mais de 90% das rochas vulcânicas aí existentes. A mineralogia essencial é plagioclásio cálc-

cico (labradorita) (35 - 50 %), augita (20 - 40 %), magnetita ou ilemita (5 - 15 %) e quantidades muito variáveis de matriz vítrea. A textura é afanítica, microgranular, por vezes amigdaloidal.

Os pneumáticos utilizados foram de veículos comerciais (volume = 0,191 m³), apresentados na Figura 1.

Dimensionamento do muro de arrimo

O dimensionamento foi efetuado conforme descrito no item 3, sendo adotado Fatores de Segurança globais

(FS=2), para a verificação da estabilidade ao tombamento e deslizamento, desconsiderando-se as tensões na fundação e a

estabilidade global (estrutura executada sobre alteração de rocha).

Execução da estrutura de arrimo

O muro foi executado junto ao talude na margem norte do arroio Barreiro. Inicialmente, foram executados a limpeza e o nivelamento do terreno, sendo aberta vala nas dimensões desejadas até se encontrar alteração na rocha. Foram cravados piquetes na face externa, delimitando a área de implantação, e sobre ela foi colocada manta geotêxtil, elemento filtrante do possível fluxo de água proveniente do talude.

Os pneumáticos foram dispostos em duas camadas de forma a cobrir a largura especificada do projeto, sendo

lançados diretamente no substrato em camadas distintas “N” e “N1”, em uma distribuição ortorrômbica. Com isso, os centros dos pneus entre as camadas consecutivas devem ficar desalinhados de forma a garantir o melhor entrosamento entre eles. Os pneumáticos foram amarrados entre si com arame galvanizado nº 16 e preenchidos com rocha basáltica irregular (pedra de mão), devido à possibilidade de erosão interna causada pelo fluxo da água do arroio. As Figuras 6 e 7 indicam em planta e em corte transversal a proposta de estrutu-

ra estudada e executada.

Posteriormente, foi executado um retro-aterro constituído de solo local. As Figuras 8 a 15 demonstram o processo.

A altura média do muro foi de 2,60 m, com uma espessura de 2,30 m até os primeiros 2,08 m e 1,15 m nos 0,51 m superficiais e comprimento de 10,35 m.

A estrutura foi de fácil execução com volume total de 58,60 m³. A mão de obra foi composta por um mestre de obra e três serventes durante o período de três dias (jornada diária de 8 horas).

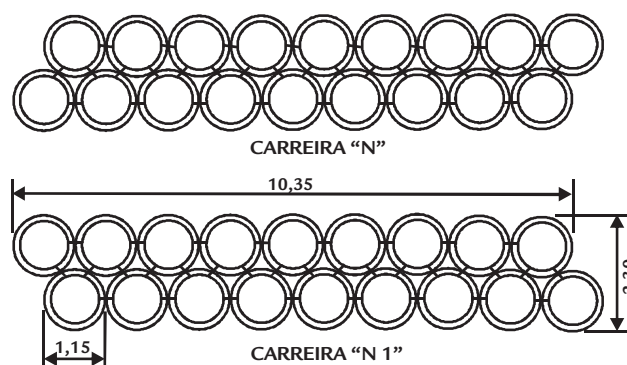


Figura 6
Planta baixa - muro de pneus.

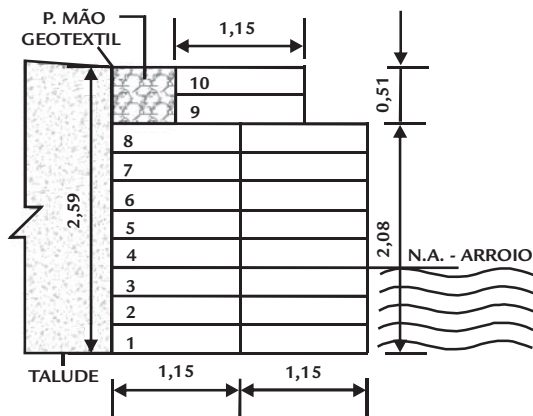


Figura 7
Corte transversal - muro de pneus.



Figura 8
Talude erodido.



Figura 9
Abertura da vala.



Figura 10
Muro em execução.



Figura 11
Estrutura de pneus executada.



Figura 12
Detalhe do preenchimento e da amarração.



Figura 13
Estrutura de pneus, novembro 2005.



Figura 14
Estrutura em março 2007.



Figura 15
Estrutura em julho de 2008.

5. Análise dos custos

Muro de Pneus

Foram utilizados, no experimento, 55 m³ de rocha basáltica irregular, 35 m² de geotêxtil Bidim OP 20 e 21 kg de arame galvanizado nº16, licitados pela Coordenadoria de Compras do Município de Ijuí - Poder Executivo, de acordo com a Lei nº 8666/93, ao custo de 1,78 CUBs (correspondente a R\$1915,97 para o CUB/RS de janeiro 2009 – R\$ 1.075,83),

e 162 pneus de veículos pesados coletados em depósito de empresa particular (sem custo).

A mão de obra necessária para a execução foi contratada através de licitação pela Coordenadoria de Compras do Município de Ijuí - Poder Executivo, de acordo com a Lei nº 8666/93 e a proposta vencedora apresentou um custo global de

1,03 CUBs (R\$1.108,10). Além desse valor, adicionam-se os valores referentes ao transporte dos pneus, à abertura da vala e do retro-aterro correspondendo a 0,56 CUBs (R\$ 600,00), aproximadamente.

Foram executados 58,60m³ de estrutura com um custo total de 3,37 CUBs (R\$3.625,54), o que equivale a 0,058 CUBs/m³ (R\$62,39/m³) do experimento.

Muro de concreto armado

Foi dimensionada uma estrutura em concreto armado para as mesmas necessidades de projeto. Tal escolha foi feita devido ser esta a solução de projeto usualmente adotada pela prefeitura de Ijuí/RS para situações semelhantes. A marcha de cálculos é a seguinte: a) definição das dimensões; neste caso, após várias tentativas, a base ficou com 2,00m de largura e espessura entre 20 e 30cm, a espessura da estrutura ficou ente 30 e 40cm; b) verificação da estabilidade do conjunto (tombamento e deslizamento);

c) cálculo dos esforços internos solicitantes no muro e dimensionamento das armaduras (o muro foi calculado como uma laje em balanço, engastada na sapata); d) cálculo dos esforços internos solicitantes na sapata e dimensionamento das armaduras. O peso específico aparente do concreto armado foi considerado (γ) = 27,3 kN/m³.

Em relação aos quantitativos, a estrutura em C.A possuiu 15,75 m³ de concreto armado. O custo do m³ de concreto armado, fck=15 MPa, com

formas, segundo o programa Franarin (PLEO), utilizado pela Prefeitura Municipal de Ijuí/RS, é de 1,26 CUBs/m³ (R\$1.355,55), sendo assim o custo para execução da estrutura em concreto armado seria de, aproximadamente, 19,74 CUBs (R\$21.236,88).

A Tabela 4 resume os custos das duas estruturas projetadas. É possível perceber que o custo da estrutura em concreto armado dimensionada para as mesmas necessidades de projeto ficaria, aproximadamente, seis vezes mais.

Estrutura	Volume (m ³)	Custo CUBs/m ³	Custo total em CUBs
Muro experimental pneus/pedra de mão	58,60	0,058	3,37
Muro tradicional de concreto armado	15,75	1,26	19,74

Tabela 4
Comparativo entre os custos das duas estruturas projetadas.

6. Conclusões

Os pneus de veículos de passeio apresentam uma menor relação (base versus altura) que os pneus de veículos comerciais. Esse fato ocorre devido ao maior peso específico encontrado no conjunto material de enchimento/pneus em veículos de passeio. Desta forma, pode-se afirmar que a utilização de pneus de veículos de passeio resulta em estruturas menos volumosas.

O conjunto solo/pneus veículos de passeio apresentou a estrutura com maior peso específico (γ = 17,98 kN/m³), sendo, entre as possibilidades analisadas, a solução mais esbelta para a realização

das estruturas de contenção arrimadas.

Nas combinações das variáveis onde estão presentes os níveis de água de ½h e 1h, há um considerável aumento na relação (base x altura) necessária para a estabilidade da estrutura. Isso ressalta a necessidade de um sistema de drenagem eficaz, para que se possa aliviar a pressão neutra ocasionada pela pressão da água sobre a estrutura de arrimo. Deve-se salientar, também, que a estrutura agregados/pneus é bastante permeável, auxiliando na drenagem do solo adjacente.

Quanto à estabilidade da estrutura,

o muro executado, com seção transversal de 2,30 m, apresentou-se como uma alternativa segura para a contenção do talude de 2,60 m de altura e esforços horizontais de 20,28 kN/m;

Além da economia, esse tipo de muro apresenta uma solução ambiental para pneus que ficam acumulados nos aterros sanitários, em terrenos baldios ou às margens dos rios, apresentando-se, então, como boa solução de contenção em locais onde haja possibilidade da construção de uma base compatível com a altura do muro a construir.

7. Agradecimentos

O segundo autor agradece ao CNPq pela bolsa PQ 302860/2011-8.

8. Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. *Geologia de Engenharia*. Associação de Brasileira de Geologia de Engenharia. p.13-38.1998.

- BARONI, M. *Estudo da viabilidade do aproveitamento de pneus inservíveis como material de construção de estruturas de contenção arrimadas*. Ijuí/RS: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ., 2007. (Trabalho de Conclusão de Curso).
- CLAYTON, C. R. I., MILITITSKY, J., WOODS, R. I. *Earth pressure and earth retaining structures. Blackie academic and professional*. 2 ed. 1993. 398p.
- DIEMER, F., RAMBO, D., SPECHT, L. P., POZZOBON, C. Propriedades geotécnicas do solo residual de basalto da região de Ijuí/RS. *Teoria e Prática na Engenharia Civil (Online)*, v.12, p.25-36, 2008
- ELIAS, V., CHRISTOPHER, B. R., BERG, R. R. *Mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes - Design and construction guidelines*. Federal Highway Administration Rep. No. FHWA/NHI-00-043, Washington, D.C. 2001.
- EHRlich, M. *Análise de muros e taludes de solos reforçados*. Keynote Lecture, Proc. Ist. South American Symp. On Geosynthetics, Rio de Janeiro, p. 73-84, 1999.
- EPPS, J. A. *Uses of recycled rubber tires in highways*. National Cooperative Highway Research Program. Synthesis of Highway Practice 198, Transportation Research Board, Washington, 1994. 161p.
- GRIPPI, S. *Lixo, reciclagem e sua história: guia para prefeituras brasileiras*. Rio de Janeiro: Interciência, 2001. 134p.
- LAMBE, T., WHITMAN, R. V. *Soil Mechanics, SI version*. New York: John Wiley & Sons Inc, 1979. 553p.
- LUND, H. *The McGraw Hill recycling handbook*. New York: Mc Graw Hill. 1993.
- MACHADO, S. L., MACHADO, M. F. *Mecânica dos solos II: conceitos introdutórios*. Salvador, 1997.
- MONTGOMERY, D. C. *Design and analysis of experiments*. 2ed. New York: John Wiley and Sons. 1984.
- NANNI, L. F., RIBEIRO, J. L. *Planejamento e avaliação de experimentos*. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1987. (Caderno de Engenharia).
- RANKINE, W. On the stability of loose earth. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, v. 147, 1857.
- SIEIRA, F. A. *Análise do comportamento de um muro de contenção de encostas utilizando pneus*. Rio de Janeiro: PUC-RIO, 1998. (Dissertação de Mestrado).
- SPECHT, L. P. *Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus*. Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 2004. 279p. (Tese de Doutorado).

Artigo recebido em 20 de janeiro de 2010. Aprovado em 08 de julho de 2012.