

# As Ciências Exatas e da Terra no Século XXI

**Alan Mario Zuffo  
Jorge González Aguilera  
(Organizadores)**

Alan Mario Zuffo  
Jorge González Aguilera  
(Organizadores)

# As Ciências Exatas e da Terra no Século XXI

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Profª Drª Antonella Carvalho de  
Oliveira Diagramação: Lorena Prestes  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof.<sup>a</sup> Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.<sup>a</sup> Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
C569	As ciências exatas e da terra no século XXI [recurso eletrônico] / Organizadores Alan Mario Zuffo, Jorge González Aguilera. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-351-4 DOI 10.22533/at.ed.514192405  1. Ciências exatas e da terra – Pesquisa – Brasil. I. Zuffo, Alan Mario. II. Aguilera, Jorge González.  CDD 507
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

A obra “As Ciências Exatas e da Terra no Século XXI” aborda uma publicação da Atena Editora, apresenta, em seus 18 capítulos, conhecimentos tecnológicos aplicados às Ciências Exatas.

Este volume dedicado à Ciência Exatas traz uma variedade de artigos alinhados com a produção de conhecimento na área de Matemática, ao tratar de temas como aritmética multidimensional RDM, a teoria da complexidade no estudo de atividade cerebral e o ensino da matemática e sua contribuição no desenvolvimento da consciência ambiental de estudantes. Na área da Mecânica traz trabalhos relacionados com uso do sensor de vibração piezo e a placa BlackBoard V1.0, como ferramenta para avaliar a conservação de casas e prédios qualificados como históricos ou com valor cultural à sociedade. Estudos de adição de nanotubos de carbono no concreto convencional também são abordados. Na área de Agronomia são abordados temas inovadores como a identificação de doenças com técnicas de visão computacional, emprego da técnica de espectroscopia e a calibração por regressão linear múltipla na determinação de misturas com óleos vegetais de oliva, entre outros temas.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos nas Ciências Exatas, os agradecimentos dos Organizadores e da Atena Editora. Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias para a área da Física, Matemática, Mecânica e na Agronomia e, assim, contribuir na procura de novas pesquisas e tecnologias que possam solucionar os problemas que enfrentamos no dia a dia.

Alan Mario Zuffo  
Jorge González Aguilera

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE NUMÉRICA DOS DIFERENTES PROCESSOS DA MULTIPLICAÇÃO INTERVALAR	
Alice Fonseca Finger	
Aline Brum Loreto	
Dirceu Antonio Maraschin Junior	
Lucas Mendes Tortelli	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5141924051</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>10</b>
APLICAÇÃO DA TEORIA DA COMPLEXIDADE AO ESTUDO DE ATIVIDADE CEREBRAL REGISTRADA EM DADOS DE EEG (ELETROENCEFALOGRAMA)	
Sanielen Colombo	
Eduardo Augusto Campos Curvo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5141924052</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>24</b>
APRIMORAMENTO DO BANCO DE METABÓLITOS SECUNDÁRIOS PARA AUXÍLIO NA BIOPROSPECÇÃO DIRECIONADOS A ESTUDOS QUIMIOTAXONÔMICOS E DE TRIAGEM VIRTUAL DE ESTRUTURAS COM POTENCIAL ATIVIDADE ANTIPROTOZOÁRIA	
Bianca Guerra Tavares	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5141924053</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>29</b>
AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS POR PESTICIDAS UTILIZADOS NO CULTIVO DA SOJA EM TRÊS MUNICÍPIOS DA REGIÃO OESTE DO PARÁ	
Joseph Simões Ribeiro	
Alessandra de Sousa Silva	
Ronison Santos da Cruz	
Bianca Larissa de Mesquita Sousa	
Ruy Bessa Lopes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5141924054</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>36</b>
DANOS OCASIONADOS EM RESIDÊNCIAS HISTÓRICAS POR VIBRAÇÕES	
Jussiléa Gurjão de Figueiredo	
Louise Aimeé Reis Guimarães	
Ylan Dahan Benoliel Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5141924055</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>44</b>
DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DA PLANTA ALIMENTÍCIA NÃO CONVENCIONAL (PANC) ORA-PRO-NÓBIS PARA O DESENVOLVIMENTO DE UMA RAÇÃO ENRIQUECIDA COM <i>Tenebrio molitor</i> PARA GALINÁCEOS	
Gabriel José de Almeida	
Jorge Luís Costa	
Maira Akemi Casagrande Yamato	
Mariana Souza Santos	
Vitoria Rodilha Leão	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5141924056</b>	

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>57</b>
DUAS PARTÍCULAS NUM BILHAR QUÂNTICO	
Pedro Chebensi Júnior	
Hércules Alves de Oliveira Junior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5141924057</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>64</b>
ELABORAÇÃO DE ATLAS AMBIENTAL DIGITAL PARA A MICRORREGIÃO DE FOZ DO IGUAÇU/PR	
Vinícius Fernandes de Oliveira	
Samuel Fernando Adami	
Giovana Secretti Vendruscolo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5141924058</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>72</b>
ESTUDO DO AQUECIMENTO DE UM <i>RASPBERRY PI 3</i> EM MANIPULAÇÃO DE IMAGEM E IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA TÉRMICO	
Daniel Rodrigues Ferraz Izario	
Yuzo Iano	
Bruno Rodrigues Ferraz Izario	
Carlos Nazareth Motta Marins	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5141924059</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>83</b>
ESTUDO LABORATORIAL DE PROPRIEDADES MECÂNICAS E DE FLUIDEZ A PARTIR DA ADIÇÃO DE NANOTUBOS DE CARBONO NO CONCRETO CONVENCIONAL	
Késsio Raylen Jerônimo Monteiro	
Pedro Bonfim Segobia	
Peter Ruiz Paredes	
Simone Ribeiro Lopes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.51419240510</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>95</b>
EVOLUÇÃO DA COMPUTAÇÃO AUTONÔMICA E ADOÇÃO DO MODELO MAPE-K: UMA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	
Rosana Cordovil da Silva	
Renato José Sassi	
<b>DOI 10.22533/at.ed.51419240511</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>109</b>
FLUXO DE ATAQUE DPA/DEMA BASEADO NA ENERGIA DE TRAÇOS PARA NEUTRALIZAR CONTRAMEDIDAS TEMPORAIS NAS ARQUITETURAS GALS4	
Rodrigo Nuevo Lellis	
Rafael Iankowski Soares	
Vitor Gonçalves de Lima	
<b>DOI 10.22533/at.ed.51419240512</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>115</b>
O ENSINO DA MATEMÁTICA E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA CONSCIÊNCIA AMBIENTAL DOS ESTUDANTES DA EDUCAÇÃO BÁSICA	
Cláudio Cristiano Liell	
Arno Bayer	
<b>DOI 10.22533/at.ed.51419240513</b>	

<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>130</b>
OS DESAFIOS ENFRENTADOS PELA COMUNIDADE ESCOLAR AO LIDAR COM ALUNOS COM TDAH EM PEDRO LEOPOLDO/MG	
Aurea Helena Costa Melo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.51419240514</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>143</b>
PDI SOFTWARE: IDENTIFICAÇÃO DE FERRUGEM EM FOLHAS DE SOJA COM TÉCNICAS DE VISÃO COMPUTACIONAL	
Hortência Lima Gonçalves Gabriel Rodrigues Pereira Rocha George Oliveira Barros Cássio Jardim Tavares	
<b>DOI 10.22533/at.ed.51419240515</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>148</b>
PERCEÇÃO DA GESTÃO GEOLÓGICA E AMBIENTAL NA PREFEITURA DE SANTA CRUZ DO SUL, RIO GRANDE DO SUL	
Cândida Regina Müller Thays França Afonso Luciano Marquette Verônica Regina de Almeida Vieira Luis Eduardo Silveira da Mota Novaes Leandro Fagundes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.51419240516</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>154</b>
PROCESSAMENTO DE IMAGENS PARA A DETECÇÃO DE PLACAS VEICULARES NO CONTROLE DE ACESSO EM ÁREAS RESTRITAS	
Yan Patrick de Moraes Pantoja Bruno Yusuke Kitabayashi Rafael Fogarolli Vieira Raiff Smith Said	
<b>DOI 10.22533/at.ed.51419240517</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>163</b>
DO PROPOSTA DE ARQUITETURA DE REDE NEURAL CONVOLUCIONAL INTERVALAR PARA O PROCESSAMENTO DE IMAGENS INTERVALARES	
Ivana P. Steim Lucas M. Tortelli Marilton S. Aguiar Aline B. Loreto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.51419240518</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>173</b>
QUANTIFICAÇÃO DE AZEITE DE OLIVA EM MISTURAS COM ÓLEOS VEGETAIS UTILIZANDO FTIR E CALIBRAÇÃO POR REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA	
Lucas Wahl da Silva Clayton Antunes Martin	
<b>DOI 10.22533/at.ed.51419240519</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>177</b>
QUANTIFICAÇÃO DE PARTÍCULAS POR ESPALHAMENTO DE LUZ E DETERMINAÇÃO DA COR	

DE ÁGUAS

David Antonio Brum Siepmann  
Ricardo Schneider  
Alberto Yoshihiro Nakano  
Paulo Afonso Gaspar  
Antonio Cesar Godoy  
Felipe Walter Dafico Pfrimer

**DOI 10.22533/at.ed.51419240520**

**CAPÍTULO 21 ..... 193**

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE MUROS DE GRAVIDADE CONSTRUÍDO COM SOLO-PNEUS**

Guilherme Faria Souza Mussi de Andrade  
Daniel Silva Lopez  
Bruno Teixeira Lima  
Ana Cristina Castro Fontenla Sieira  
Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão

**DOI 10.22533/at.ed.51419240521**

**SOBRE OS ORGANIZADORES..... 208**

## AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE MUROS DE GRAVIDADE CONSTRUÍDO COM SOLO-PNEUS

### **Guilherme Faria Souza Mussi de Andrade**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro - Rio de Janeiro

### **Daniel Silva Lopez**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro - Rio de Janeiro

### **Bruno Teixeira Lima**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro e  
Universidade Federal Fluminense  
Rio de Janeiro – Rio de Janeiro

### **Ana Cristina Castro Fontenla Sieira**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro – Rio de Janeiro

### **Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão**

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro – Rio de Janeiro

**RESUMO:** O presente trabalho apresenta um estudo do comportamento de um muro de gravidade experimental construído com pneus reaproveitados preenchidos por solo. Esta pesquisa foi desenvolvida na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, e culminou na construção do primeiro muro de solo-pneus experimental do Brasil (Sieira, 1998). Nas análises apresentadas neste trabalho, será considerada a influência das tensões induzidas pela compactação do solo, buscando-se reproduzir o comportamento

ocorrido no campo. Os deslocamentos horizontais previstos numericamente foram comparados aos resultados da instrumentação de campo, com o objetivo de obter os parâmetros de deformabilidade do material. Dentre as principais conclusões, pode-se ressaltar que o processo de compactação diminuiu as deformações pós construtivas sofridas pelo muro. O programa adotado foi capaz de reproduzir satisfatoriamente o comportamento do muro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Muros de Gravidade, Modelagem Computacional, Muro de Solo-Pneus, Compactação.

**ABSTRACT:** This article presents a study of the behavior of an experimental gravity wall constructed with reused tires filled by soil. It was developed at the Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, and culminated in the construction of the first experimental soil-tire wall in Brazil (Sieira, 1998). In the analysis presented in this research, the influence of the stresses induced by soil compaction will be considered, in order to reproduce the behavior occurring in the field. The numerically predicted horizontal displacements were compared to the field instrumentation results, in order to obtain the deformability parameters of the material. Among the main conclusions, it can be emphasized that the compacting process decreased the post-

constructional deformations suffered by the wall. The program adopted was able to reproduce satisfactorily the behavior of the wall.

**KEYWORDS:** Gravity Walls, Computational Modeling, Soil-Tire Wall, Compaction.

## 1 | INTRODUÇÃO

A estabilidade de taludes naturais é um tema de grande interesse ao engenheiro geotécnico, face às significativas perdas econômicas, e até mesmo humanas, resultantes da ruptura dos mesmos. Estima-se que a deflagração de escorregamentos já provocou milhares de mortes, e dezenas de bilhões de dólares em prejuízos anuais no mundo inteiro (Brabb, 1991).

Problemas de instabilidade de taludes são comuns em áreas onde predominam climas tropicais, caracterizados por terem chuvas abundantes no verão, e constituídos por solo residual. Essa questão se torna maior em regiões montanhosas, urbanas e densamente povoadas, como as do Rio de Janeiro, onde as encostas são inapropriadamente utilizadas para moradia e comércio. Nesses locais o escorregamento de um maciço de solo leva a inúmeras fatalidades, além de ter amplo destaque nos meios de comunicação, como nos ocorridos na Região Serrana do Rio de Janeiro (Nova Friburgo, Teresópolis, Petrópolis e Sumidouro) em 2011 e no Maciço da Tijuca nos meses de março e abril de 2010, segundo levantamento da Fundação Instituto de Geotécnica – Geo – Rio.

É função do engenheiro geotécnico criar um projeto que garanta a estabilidade do talude e que seja economicamente viável. O surgimento de novos materiais e a execução e obras de estabilização com materiais não convencionais tem despertado o interesse de engenheiros e pesquisadores ao redor do mundo.

Sieira (1998) analisou o comportamento de um muro de gravidade composto de solo e pneus reutilizados. Além de se tratar do reaproveitamento de um lixo urbano, que se acumula em grandes quantidades, aproveita-se a eficiência mecânica e o baixo custo dos pneus.

Este trabalho consiste na simulação numérica do processo executivo do muro, comparando os resultados de deslocamentos horizontais previstos com a instrumentação de campo, com o objetivo de obter parâmetros de deformabilidade do material solo-pneus e do solo do retroaterro. Para tal, será utilizado o *software* PLAXIS, o qual faz uso do método dos elementos finitos, tendo a capacidade de englobar modelos constitutivos distintos, simular variadas condições de contorno e etapas construtivas.

Com intuito de simular fielmente o processo executivo do muro, serão considerados os efeitos da compactação do aterro. Dependendo da magnitude das tensões induzidas pelo processo de compactação, as tensões horizontais residuais na massa de solo podem ser bem maiores que aquelas de origem geostática. Em consequência desta indução de tensões, a estrutura se torna menos sensível aos

movimentos pós-construção. As tensões induzidas durante o processo de compactação do solo também podem ser maiores do que as tensões causadas por cargas adicionais (Ehrlich e Mitchell, 1995; Ehrlich *et al.*, 2012).

## 2 | MURO DE SOLO-PNEUS

O projeto do primeiro muro experimental solo-pneus construído no Brasil envolveu a participação da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, da Universidade de Ottawa, Canadá, e da Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, Geo-Rio, e contou com o apoio do *International Development Research Centre* (Canadá). Este projeto se tratou da construção e análise de um muro de solo-pneus localizado em Jacarepaguá, Rio de Janeiro (Sieira, 1998, Sayao et al, 2002). Na execução do muro foram reutilizados pneus usados, dando destino a um indesejável lixo urbano que normalmente se torna ambiente de proliferação de doenças, além do perigo de incêndios. O projeto visava uma técnica de estabilização de taludes com a construção do muro de arrimo instrumentado. Os pneus foram dispostos horizontalmente e amarrados com arame ou corda. Após esta etapa, os pneus eram preenchidos com solo compactado.

O campo experimental localiza-se a jusante de uma encosta que demonstrava características de instabilidade. O muro foi executado com 4,0 m de altura e 60,0 m de comprimento, e reaproveitou aproximadamente 15.000 pneus. O muro experimental foi dividido em 4 seções transversais de 15,0 m de comprimento (A, B, C, D) com configurações distintas. Os pneus utilizados eram típicos de veículos de passeio, apresentando 0,2 m de largura de banda de rolamento e 0,6 m de diâmetro. Atrás do muro, foi executado um retroaterro com o mesmo material utilizado para complementar os pneus, e após a execução foi acrescentada uma sobrecarga de solo com 2,0 m de altura. Segundo Sieira (1998), o material compactado utilizado como retroaterro foi classificado como um solo areno-siltoso proveniente do intemperismo de rocha gnáissica local.

O objetivo de Sieira (1998) consistiu em analisar a viabilidade do muro como uma técnica de estabilização de encostas, comparando o comportamento de 4 seções transversais do muro de pneus, as quais possuíam diferentes geometrias e características (pneus cortados ou pneus inteiros, Figura 1, e amarração com corda ou arame). As análises buscaram a obtenção dos parâmetros de deformabilidade e resistência para o material solo-pneus. É importante salientar que nas seções do muro com pneus cortados, após a retirada da banda lateral dos pneus, a mesma era introduzida no interior do pneu para evitar rejeitos secundários e auxiliar no enrijecimento radial.



Figura 1. Pneus: inteiros e cortados (Sieira,2000)

A construção do muro foi considerada simples sem a necessidade de mão de obra especializada, e com maquinário leve. Inicialmente, realizou-se a limpeza e o nivelamento do terreno para em seguida lançar a primeira camada de pneus (Figura 2).



Figura 2. Lançamento da primeira camada de pneus na superfície (Sieira, 1998)

As camadas seguintes foram executadas de forma a garantir um maior preenchimento dos espaços vazios, sendo colocado de forma descasada (Figura 3). Posteriormente, foi feita a amarração dos pneus, que dependendo da seção transversal, era com nó do tipo “marinheiro” ou arame. O processo construtivo finalizou com o lançamento de solo compactado para complementar o interior dos pneus (Figura 4).

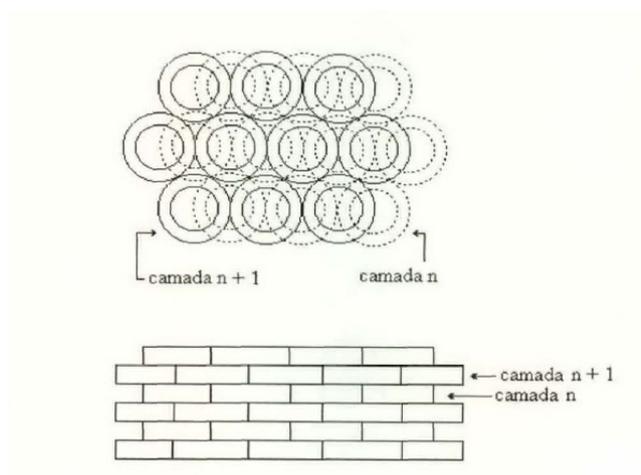


Figura 3. Arrumação dos pneus no muro experimental (Sieira, 1998)



Figura 4. Muro de solo-pneus executado e inclinômetros aparentes na face do talude (Sieira, 2001)

O presente trabalho aborda as seções transversais B e C, que apresentam a mesma geometria (6 pneus na base e 4 pneus no topo) e configuração dos pneus (cortados), e diferem apenas com relação à amarração. Na seção B, os pneus foram amarrados com corda de polipropileno, e na seção C a amarração foi realizada com arame de gabiões, protegido contra corrosão por uma cobertura plástica de PVC. As seções B e C foram escolhidas para as análises por serem as duas seções com pneus cortados e pôde-se buscar uma comparação entre os módulos de deformabilidade de ambas.

### 3 | INSTRUMENTAÇÃO GEOTÉCNICA

O muro de solo-pneus foi instrumentado com inclinômetros, extensômetros magnéticos e células de pressão, com a finalidade de se verificar seu comportamento e eficácia. Os inclinômetros foram instalados com objetivo de acompanhar os movimentos horizontais da massa de solo, permitindo a identificação de um possível escorregamento de taludes. Segundo Sieira (1998), foram tomadas algumas medidas para manter a integridade da instrumentação como por exemplo: os instrumentos foram instalados a medida que o muro era construído, os pneus próximos aos inclinômetros foram posicionados para permitir a verticalidade dos tubos, além da sinalização e proteção do local onde foram instalados os instrumentos para evitar danos durante a construção. Sieira (1998) também afirma que durante a construção do muro, os inclinômetros surgiram na face externa ficando descobertos quando o muro atingiu 3,0 metros de altura.

As Figuras 5 e 6 mostram as leituras dos inclinômetros para as seções transversais B e C nas etapas de “final de construção”, “final da sobrecarga” (após a construção de aterro com 2,0 m de altura) além de outras leituras posteriores. Apesar de ambas as seções possuírem a mesma geometria, maiores deslocamentos ocorreram na seção

transversal B em decorrência do tipo de amarração. A amarração com arame de gabião (seção C) tornou o muro de solo pneus mais rígidos, permitindo assim menores deslocamentos horizontais.

#### 4 | PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DO MURO

Para analisar o comportamento tensão-deformação e a estabilidade do muro de pneus são necessários o peso específico e o módulo de deformabilidade do material solo-pneus. É necessária uma avaliação destes parâmetros para garantir que os resultados da análise numérica representem o comportamento do muro de gravidade.

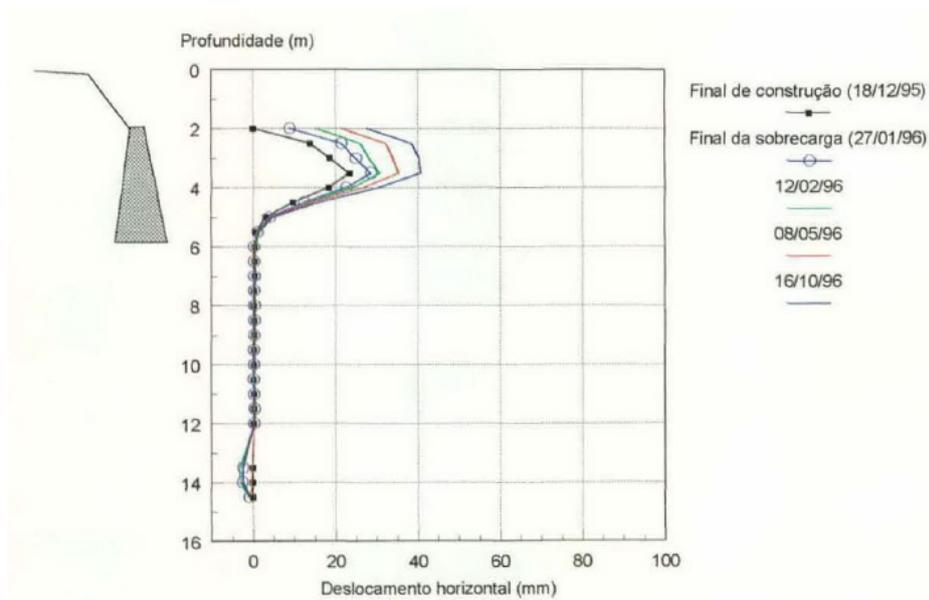


Figura 5. Resultados do inclinômetro instalado no interior da seção B (adaptado de Sieira, 1998)

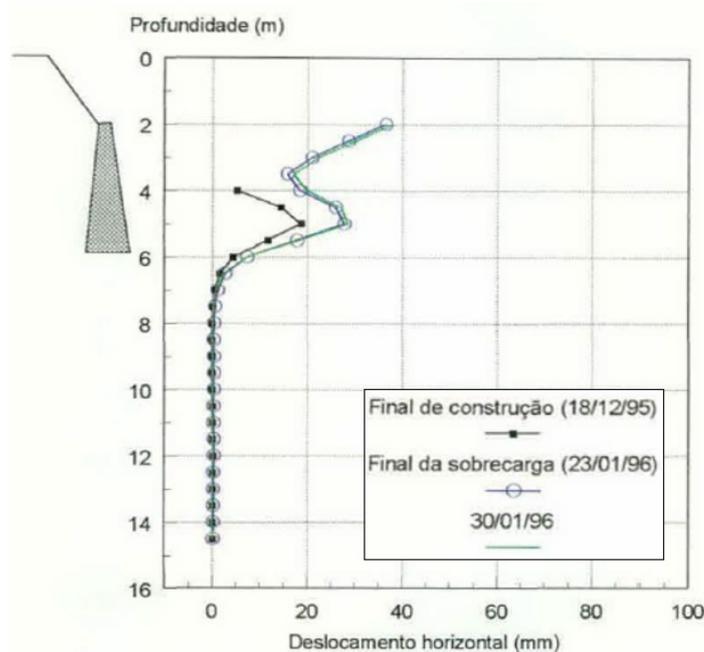


Figura 6. Resultados do inclinômetro instalado no interior da seção C (adaptado de Sieira,

Ensaio de densidade no campo (Figura 7) foram executados com a finalidade de obter o peso específico do material solo-pneus. Estes ensaios consistiram, primeiramente, na construção de uma cava, em forma de paralelogramo com volume bem definido, e em seguida foram introduzidos os pneus preenchidos com solo compactado. A geometria da cava garantiu que todo seu volume fosse ocupado pelos pneus. Os resultados destes ensaios levaram a uma variação do peso específico do conjunto solo-pneus. Os ensaios realizados com pneus inteiros indicaram um peso específico de  $15,5 \text{ kN/m}^3$ , enquanto os realizados com pneus cortados apresentaram um valor de  $16,2 \text{ kN/m}^3$ . Conclui-se que a remoção da banda lateral do pneu produz um material mais denso, pela maior facilidade de compactação do solo (Sieira, 1998).



Figura 7. Cava executada para ensaio de densidade in situ (Sieira, 1998)

Para obtenção do módulo de deformabilidade ( $E$ ) do retroaterro foram realizados ensaios laboratoriais, como o triaxial drenado (CD), e ensaios de campo como, os dilatométricos e os pressiométricos. Segundo Fontes (1997), os valores do parâmetro  $E$  obtidos a partir dos ensaios de campo ( $E = 6 \text{ MPa}$ ) forneceram valores superiores aos obtidos pelos ensaios triaxiais ( $E = 2 \text{ MPa}$ ). O autor atribui esta diferença à anisotropia do solo e às diferenças nas trajetórias de tensão impostas pelos ensaios.

A oscilação dos valores do módulo de deformabilidade, obtidos pelos ensaios de campo e laboratório, e a falta de parâmetros de deformabilidade do conjunto solo-pneus, indicaram a necessidade de uma análise numérica a partir de um *software* de elementos finitos. Essas análises foram realizadas comparando os deslocamentos horizontais previstos numericamente com os medidos em campo pela instrumentação geotécnica (inclinômetros).

## 5 | MODELAGEM COMPUTACIONAL DO MURO DE SOLO-PNEUS

O objetivo da simulação numérica do caso abordado, realizada com o *software* PLAXIS, foi a obtenção de parâmetros de deformabilidade do material solo-pneus, e para isso confrontaram-se os resultados de deslocamentos horizontais com os obtidos pela instrumentação de campo.

O *software* PLAXIS consiste em um programa que utiliza o Métodos de Elementos Finitos (MEF), desenvolvido para realização de análises de deformações e estabilidade de obras geotécnicas. As análises podem considerar a condição de deformação plana ou de axissimetria (Brinkgreve, 2002). A malha de elementos finitos é gerada automaticamente pelo *software*, optando-se por elementos triangulares formados por 6 ou 15 nós, podendo ser refinada de forma global ou localizada. Geralmente, quanto mais refinada a malha de elementos finitos mais acurados são os resultados das análises.

Para representação do comportamento tensão vs deformação do material solo-pneus utilizou-se o modelo elástico linear. A camada foi simulada com um peso específico de 16,2 kN/m<sup>3</sup> e coeficiente de Poisson  $\nu = 0,35$ . O valor do módulo de deformabilidade  $E$  será variado nas simulações numéricas (análise paramétrica), e comparado aos valores propostos por Sieira (1998).

O solo do retroaterro foi representado pelo modelo elasto-plástico perfeito (*Mohr Coulomb*). A camada foi definida com peso específico de 17,0 kN/m<sup>3</sup>, intercepto coesivo nulo, ângulo de atrito  $\phi = 29^\circ$ , módulo de deformabilidade  $E = 3,0$  MPa e coeficiente de Poisson  $\nu = 0,35$  (Fontes, 1997).

A largura do retroaterro adotada na simulação foi definida, de forma que não interferisse nos resultados de deslocamentos previstos. Segundo Sieira (1998), a largura do retroaterro a partir da qual não há mais influência na magnitude dos deslocamentos horizontais é de 11,0 metros, conforme verificado na Figura 8.

A sobrecarga executada após a construção do retroaterro foi representada por um carregamento uniformemente distribuído de 34,0 kN/m<sup>2</sup>, correspondendo a uma altura de 2,0 m de solo. Não foi encontrado nível d'água no local da obra. A modelagem computacional seguiu o processo executivo de campo, com a construção do muro de solo pneus e do retroaterro simultaneamente. Foram realizadas as comparações entre os resultados da simulação numérica e a instrumentação de campo para as etapas de “final de construção” e após a “aplicação da sobrecarga”.

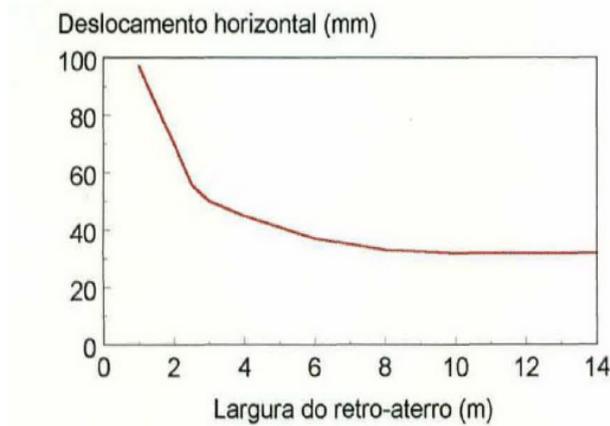


Figura 8. Influência da largura do retro-aterro nos deslocamentos horizontais previstos (Sieira, 1998)

Para representar o efeito da compactação no retroaterro, foi utilizado o método proposto por Mirmoradi e Ehrlich (2018). Os autores apresentaram diferentes maneiras para modelar a compactação, que gera tensões induzidas no muro, e sugerem que na modelagem sejam aplicadas cargas distribuídas ( $q_c$ ) no topo e na base de cada camada de solo. Os autores também afirmam que a modelagem da compactação é melhor representada por apenas um ciclo de carregamento e descarregamento para cada camada de solo.

Sieira (1998) reporta que a compactação foi realizada utilizando-se um compactador hidráulico manual (“sapo”). Por falta de informações sobre as características do equipamento de compactação, foi utilizado o proposto por Mirmoradi e Ehrlich (2018) como referência para a compactação do solo, com cargas uniformemente distribuídas de  $55 \text{ kN/m}^2$  no topo e na base de cada camada de solo compactada (Figura 9).

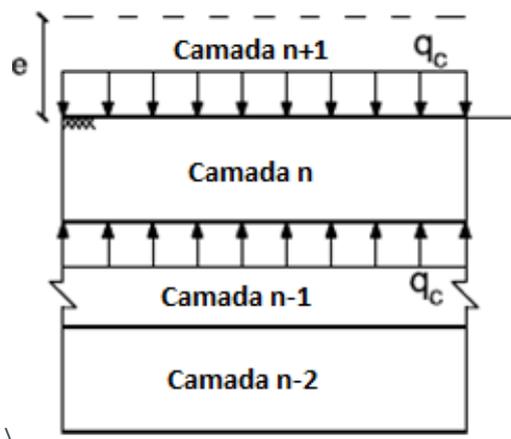


Figura 9. Representação da modelagem de compactação da camada n (adaptado de Mirmoradi e Ehrlich, 2018)

## 6 | GEOMETRIA DA MODELAGEM

Para a obtenção dos parâmetros de deformabilidade do muro de solo pneus foram confrontados os resultados dos deslocamentos horizontais previstos nas análises numéricas com os resultados obtidos por meio dos inclinômetros em campo.

Nas análises das seções transversais B e C (Figuras 10 e 11), os deslocamentos sofridos pelo muro de solo-pneu foram estudados em dois tipos: (1) com compactação das camadas de solo (~30 cm); (2) sem compactação das camadas de solo. No ‘tipo 1’, as camadas do muro foram divididas em vários segmentos para considerar a compactação, enquanto no ‘tipo 2’ a modelagem só considerou as alturas de cada trecho do muro (6 pneus, 5 pneus e 4 pneus de altura).

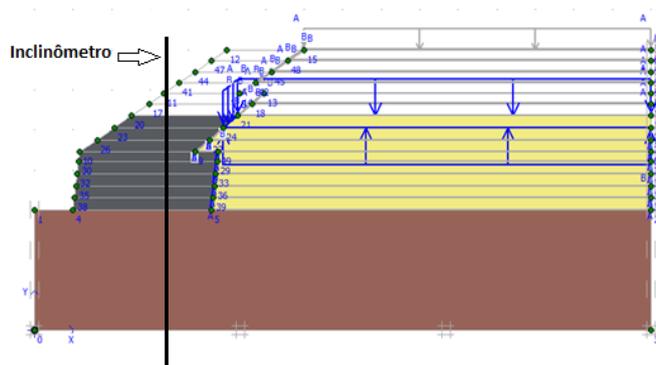


Figura 10. Geometria da seção transversal, mostrando a etapa de compactação de uma das camadas – ‘tipo 1’.

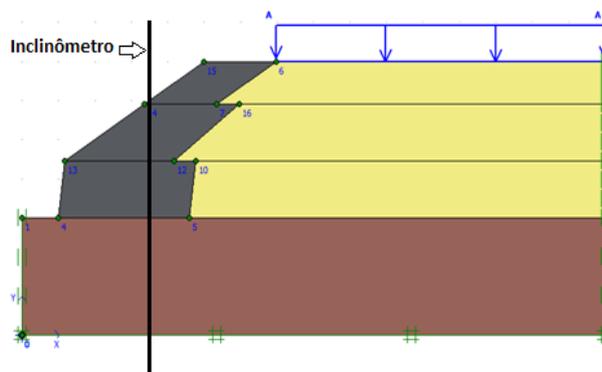


Figura 11. Geometria da seção transversal – ‘tipo 2’.

## 7 | RESULTADOS DA MODELAGEM

### 7.1 Efeito da Compactação

As Figuras 12 e 13 apresentam as distribuições dos deslocamentos horizontais ao longo da elevação do muro, para as fases de final de construção e após a aplicação da sobrecarga. Ressalta-se que no “tipo 1” é considerado o efeito da compactação, e

no “tipo 2”, este efeito é desprezado na simulação. Para ambos tipos, foi considerado o mesmo módulo de deformabilidade  $E$  do muro de solo-pneus ( $E = 3,0 \text{ MPa}$ ), para que apenas o efeito da compactação influenciasse as deformações do muro.

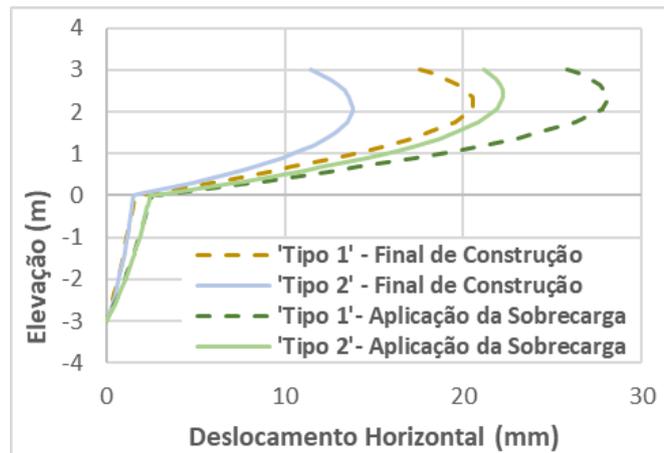


Figura 12. Efeito da Compactação Seção B

Os resultados sugerem que a compactação do solo induziu deformações ao longo do muro que não são consideradas no modelo sem compactação. Os deslocamentos obtidos no ‘tipo 1’ são superiores aos do ‘tipo 2’, chegando a diferenças de aproximadamente 8 mm (~36%) no deslocamento máximo horizontal na seção B. O mesmo comportamento pode ser observado nas análises realizadas para seção transversal C.

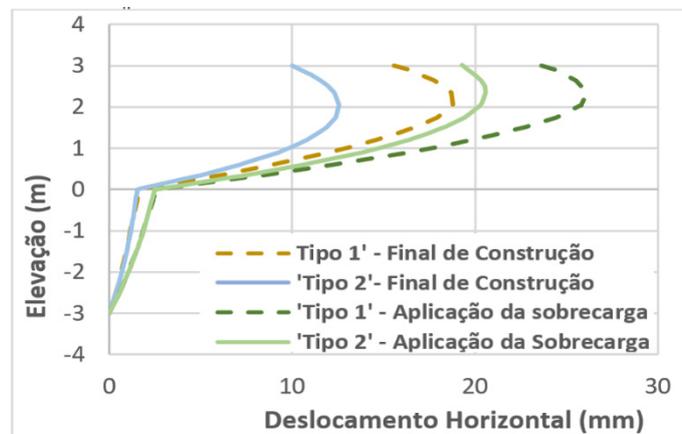


Figura 13. Efeito da Compactação Seção C

As Tabelas 1 e 2 reúnem os valores de deslocamentos horizontais máximos obtidos para as seções B e C, respectivamente, onde se observa o efeito da compactação para ambas as seções em estudo. Nestas tabelas, também são apresentados os valores de deslocamentos que ocorrem entre o final de construção e o final da aplicação da sobrecarga. É interessante notar, para a seção B, que nas simulações onde não foi avaliada a compactação, os deslocamentos horizontais após a construção do muro foram de aproximadamente 8,5 mm. Considerando-se os efeitos da compactação, a diferença entre os deslocamentos nas distintas etapas diminuiu para 7,45 mm.

Comportamento semelhante ocorreu na seção transversal C, sugerindo que o efeito da compactação diminuiu os deslocamentos pós construtivos, comprovando o estudo de Mirmoradi e Ehrlich (2018), apesar da pequena diminuição na magnitude dos deslocamentos (cerca de 1,0 mm).

Etapa	Sem compactação	Com Compactação
Final de Constr.	13,80 mm	20,55 mm
Aplic. da Sobrecarga	22,30 mm	28,00 mm
Diferença	8,50 mm	7,45 mm

Tabela 1. Deslocamentos Horizontais – Seção B

## 7.2 Efeito do Módulo de Deformabilidade

Após verificar a influência da compactação, foi analisada a influência do parâmetro E do muro de solo-pneus nos deslocamentos horizontais das duas seções transversais. Para tanto, foi realizada uma análise paramétrica, variando-se o valor de 2,0 MPa a 3,0 MPa ( $E = 2,0$  MPa; 2,2 MPa; 2,4 MPa e 3,0 MPa). A Figura 14 compara os resultados das análises paramétricas com as leituras do inclinômetro da seção B.

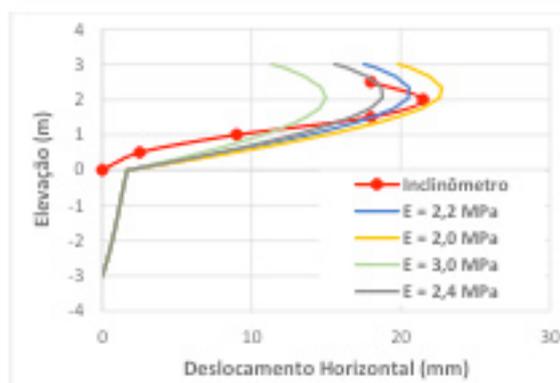


Figura 14. Análise paramétrica – seção B - etapa “final de construção”.

Pode-se observar que os resultados obtidos com  $E = 2,2$  MPa são os que melhor reproduzem as leituras do inclinômetro, tanto em relação ao comportamento da curva quanto à magnitude dos deslocamentos horizontais. O deslocamento horizontal máximo medido no inclinômetro mostrou-se 0,4 m abaixo dos previstos numericamente.

A Figura 15 apresenta os resultados para a etapa após a “aplicação da sobrecarga” utilizando o módulo de deformabilidade igual a 2,2 MPa. Observa-se uma boa aproximação com os resultados da instrumentação, como observado para a etapa de final de construção.

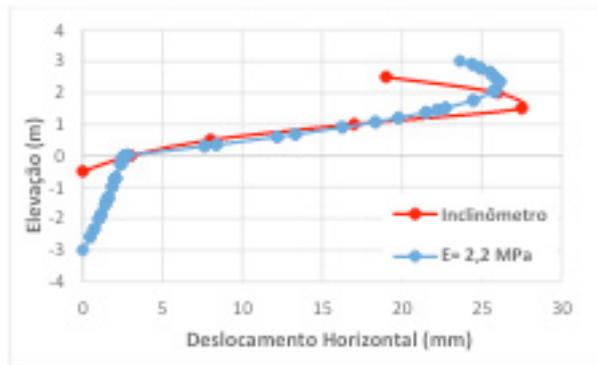


Figura 15. Análise paramétrica – seção B – etapa após “aplicação da sobrecarga”

O mesmo procedimento foi realizado para seção C comparando as leituras do inclinômetro instalado nesta seção com os resultados previstos para os diferentes valores de E. Nota-se pelas Figuras 16 e 17 que o  $E = 2,4$  MPa conseguiu reproduzir de forma mais satisfatória o comportamento e a magnitude dos deslocamentos horizontais do muro. Observa-se nesta seção que a elevação dos deslocamentos horizontais máximos obtido pelos resultados das análises numéricas se aproximou mais da leitura da instrumentação, ficando 0,3 m acima dos resultados de campo.

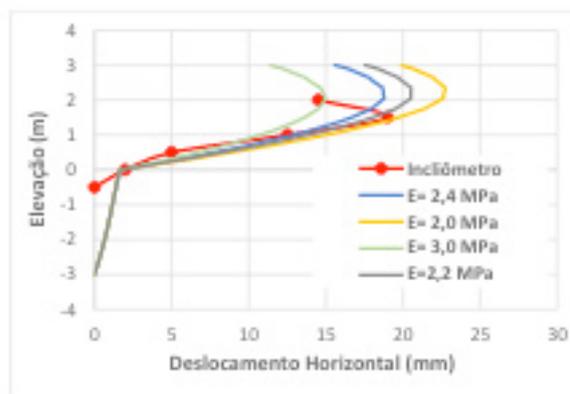


Figura 16. Análise paramétrica do E – seção C - etapa “final de construção”.

A simulação numérica mostrou-se coerente com o comportamento observado no campo. A seção C foi executada com pneus cortados amarrados com arame e apresenta um comportamento mais rígido do que a seção B, amarrada com corda de polipropileno, justificando maiores valores de E. Sieira (1998) chegou a valores semelhantes com módulos de deformabilidade iguais a 2,5 MPa, para a seção B e 3,0 MPa, para a seção C. A autora, no entanto, não considerou o efeito da compactação nas análises numéricas, o que pode justificar as pequenas diferenças nos resultados.

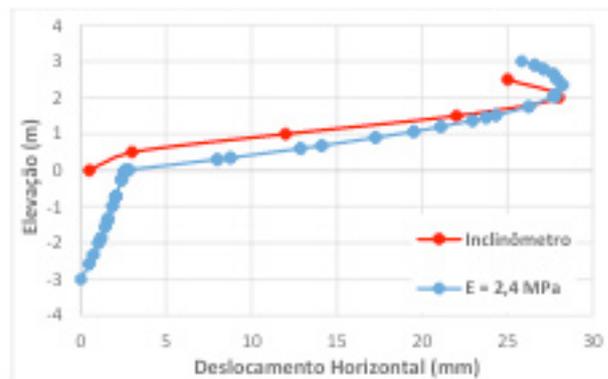


Figura 17. Seção C – etapa após “aplicação da sobrecarga”.

## 8 | CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou a simulação numérica do processo construtivo de um muro experimental de pneus. As análises foram executadas com o programa PLAXIS, de elementos finitos, e procuraram incorporar os efeitos da compactação do solo do retroaterro. Os resultados mostraram que a modelagem dos efeitos da compactação forneceu maiores deslocamentos horizontais e influenciou nas deformações pós construtivas.

Comparando as seções B e C que possuem a mesma geometria e a mesma característica de pneus cortados, conclui-se que valores do módulo de deformabilidade E entre 2,2 MPa e 2,4 MPa, constantes ao longo do muro de solo-pneus, reproduzem de forma satisfatória o comportamento e a magnitudes dos deslocamentos horizontais medidos no campo.

## REFERÊNCIAS

- Brabb, E.E. **World Landslide Problem**. CR3.1 - CRID - Centro Regional de Información sobre Desastres para América Latina y el Caribe. Episodes;14(1):52-61, 1991.
- Brinkgreve, R.B.J. **Finite Element code for Soil and Rock Analysis - PLAXIS 2D user's manual**. Rotterdam, 2002.
- Ehrlich, M., Mirmoradi, S.H., Saramago, R.P. **Evaluation of the effect of compaction on the behavior of geosynthetic-reinforced soil walls**. J. Geotextile Geomembr. 34, 108–115, 2012.
- Ehrlich, M., Mitchell, J.K. **Working stress design method for reinforced soil walls - closure**. J. Geotech. Eng. ASCE 121 (11), 820–821, 1995.
- Fontes, A.E.B. **Ensaio de campo e laboratório no retro-aterro do muro experimental de pneus**. Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado – PUC-Rio, 1997, 126pp.
- Mirmoradi, S.H, Ehrlich, M. **Numerical simulation of compaction-induced stress for the analysis of RS walls under working conditions**. Geotextiles and Geomembranes 46 (2018) 354–365, 2018.

Sayão, A. S. F. J.; Sieira, A. C. C. F.; Gerscovich, D. M. S.; Medeiros, L. V.; Garga, V. **Retaining Walls Built With Scrap Tires**. Institution of Civil Engineers - Geotechnical Engineering, Inglaterra, v. 155, n.4, p. 217-219, 2002.

Sieira, A. C. C. F. **Análise do Comportamento de um Muro de Contenção Utilizando Pneus**. Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado – PUC-Rio, 1998, 110 p.

Sieira, A. C. C. F.; Sayão, A.S.F.J; Gerscovich, D.M.S.; Medeiros, L.V. **Simulação Numérica do Comportamento de um Muro de Pneus**. IV Seminário de Fundações Especiais e Geotecnia - SEFE, São Paulo, Brasil, pp. 532-540, jul. 2000.

Sieira, A. C. C. F.; Sayão, A. S. F. J.; Medeiros, L. V. & Gerscovich, D. M. S. **Reuso de Pneus em Geotecnia**. Seminário Nacional sobre Reuso/Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais - São Paulo, Brasil, 19 pgs, ago. 2000.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**JORGE GONZÁLEZ AGUILERA** Engenheiro Agrônomo (Instituto Superior de Ciências Agrícolas de Bayamo (ISCA-B) hoje Universidad de Granma (UG)), Especialista em Biotecnologia pela Universidadde Oriente (UO), CUBA (2002), Mestre em Fitotecnia (UFV/2007) e Doutorado em Genética e Melhoramento (UFV/2011). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) no Campus Chapadão do Sul. Têm experiência na área de melhoramento de plantas e aplicação de campos magnéticos na agricultura, com especialização em Biotecnologia Vegetal, atuando principalmente nos seguintes temas: pre-melhoramento, fitotecnia e cultivo de hortaliças, estudo de fontes de resistência para estres abiótico e biótico, marcadores moleculares, associação de características e adaptação e obtenção de vitroplantas. Tem experiência na multiplicação “on farm” de insumos biológicos (fungos em suporte sólido; Trichoderma, Beauveria e Metharrizum, assim como bactérias em suporte líquido) para o controle de doenças e insetos nas lavouras, principalmentede soja, milho e feijão. E-mail para contato: [jorge.aguilera@ufms.br](mailto:jorge.aguilera@ufms.br)

**ALAN MARIO ZUFFO** Engenheiro Agrônomo (Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/2010), Mestre em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal do Piauí –UFPI/2013), Doutor em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal deLavras – UFLA/2016). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal doMato Grosso do Sul – UFMS no Campus Chapadão do Sul. Tem experiência naárea de Agronomia – Agricultura, com ênfase em fisiologia das plantas cultivadas e manejo da fertilidade do solo, atuando principalmente nas culturas de soja, milho, feijão, arroz, milheto, sorgo, plantas de cobertura e integração lavoura pecuária. E-mail para contato: [alan\\_zuffo@hotmail.com](mailto:alan_zuffo@hotmail.com)

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-351-4

