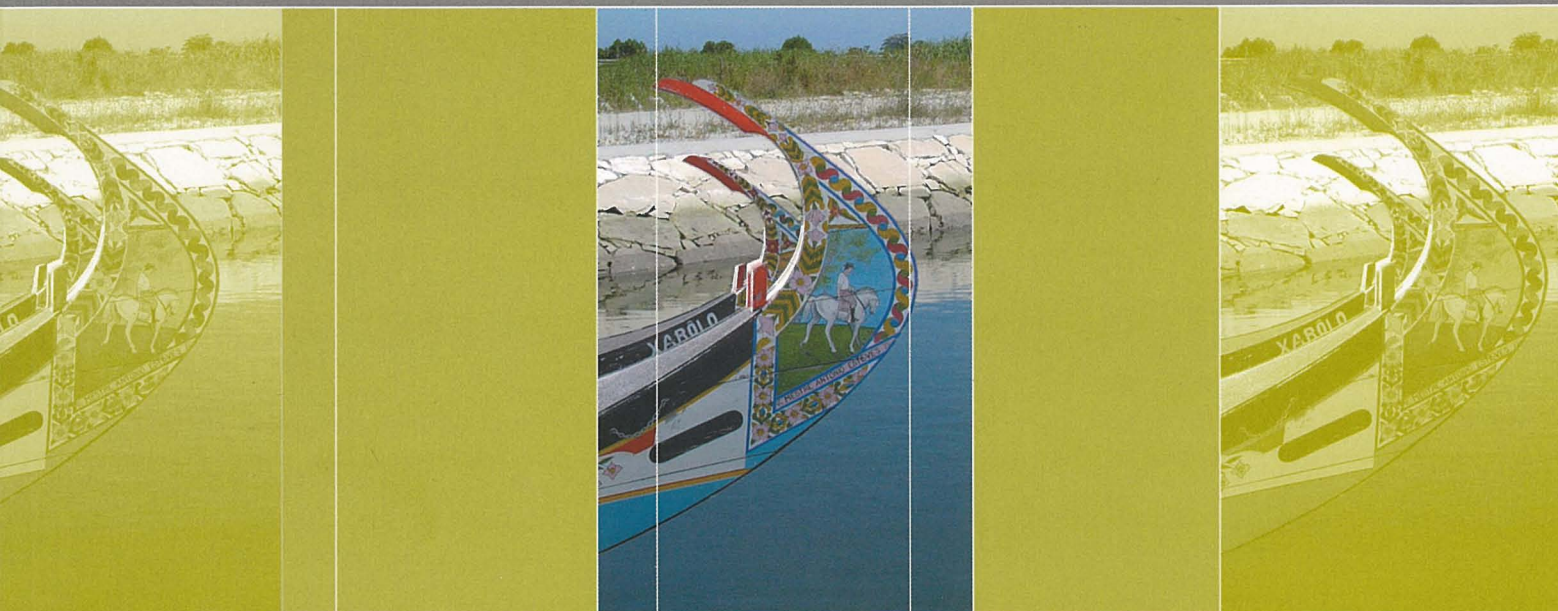




9.º Congresso Nacional de Geotecnia

20-23 de Abril de 2004 | Aveiro – Portugal

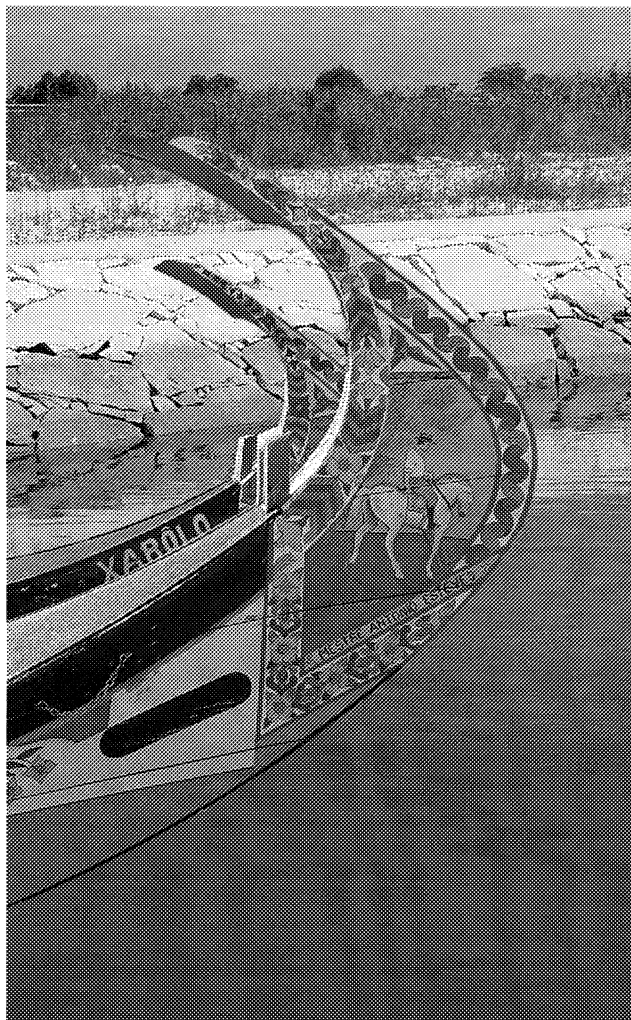


Passado, Presente e Futuro da Geotecnia

ACTAS Modelação e Segurança

VOL. II

9.º Congresso Nacional de Geotecnia



Aveiro, 20-23 de Abril de 2004

Sociedade Portuguesa de Geotecnia
Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
Secção Autónoma de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Ficha Técnica

TÍTULO

VOL II – 9.º Congresso Nacional de Geotecnia
ACTAS – Modelação e Segurança

COORDENADORES

Claudino Cardoso
Luís Ribeiro e Sousa

EDIÇÃO

Universidade de Aveiro
Campus Universitário de Santiago
3810-193 Aveiro

ARTES GRÁFICAS E SERVIÇOS DE PRÉPRESS

Gabinete de Imagem A040/04
Fundação João Jacinto de Magalhães

DATA

Abril de 2004

TIRAGEM

700 Exemplares

ISBN

972-789-116-0

Organização

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

Patrocínio

Universidade de Aveiro

Comissão Organizadora

Presidente

CLAUDINO CARDOSO (UA)

Agostinho da Benta (UA)

Fernando Bonito (UA)

Fernando Pardo de Santayana (LNEC)

Fernando Rocha (UA)

João Marcelino Silva (LNEC)

Jorge Almeida e Sousa (FCTUC)

José Couto Marques (FEUP)

Margarida Pinho Lopes (UA)

Comissão Científica

Presidente

CELSO GOMES (UA)

António Correia Mineiro (UNL)

António Gomes Correia (UM)

António Pires Carreto

António Silva Cardoso (FEUP)

Carlos Dinis da Gama (IST)

Emanuel Maranha das Neves (IST)

José Ferreira Lemos (FEUP)

João Monteiro (Normetro)

Joaquim Barreto (Metropolitano de Lisboa)

José Delgado Rodrigues (LNEC)

José Luís Machado Vale (Tecnasol-FGE, SPG)

José Mateus de Brito (Cenorgeo, SPG)

Luís Leal Lemos (FCTUC)

Luís Ribeiro e Sousa (LNEC, FEUP)

Manuel Matos Fernandes (FEUP)

Pedro Sêco e Pinto (LNEC, FCTUC)

Ricardo Oliveira (COBA, UNL)

Rui M. Correia (LNEC)

Índice Geral

VOL I | ACTAS – Prospecção e Caracterização de Maciços e Materiais Geotécnicos

A INSTABILIZAÇÃO DO TALUDE DAS FONTAÍNHAS (MIRANDA DO CORVO – PORTUGAL CENTRAL). INFLUÊNCIA DA COMPARTIMENTAÇÃO Melo, Paula Cristina Carvalhal; Araújo, Rita Abreu; Saraiva, António Luís Almeida	1
ANÁLISE BIDIMENSIONAL DO ACOPLAMENTO FLUXO-DEFORMAÇÃO EM MEIOS GEOTÉCNICOS SATURADOS Acerbi, Joaquim Mario Caleiro; Miranda, Ricardo Fortes; Biage, Milton	11
APLICAÇÃO DE MODELOS ANALÓGICOS EM REGIME FRÁGIL NO DOMÍNIO DA GEOLOGIA APLICADA: EXPERIÊNCIAS RECORRENDO A CAIXA DE DEFORMAÇÃO DE AREIAS Fonseca, Paulo E.; Caranova, Ricardo; Pinto Ribeiro, Luisa; Chaminé, Helder I.; Almeida, Pedro Gabriel Espinha Marques, Jorge; Afonso, Maria José C.; Gomes, Alberto; Teixeira, José Araújo, Maria Assunção; Marques, José Manuel, Pinto de Jesus, Ary, Gama Pereira, L. C. Rocha, Fernando T., Carvalho, José Martins; Sodré Borges, Frederico	21
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE AMOSTRAGEM EM CAMPOS EXPERIMENTAIS DE SOLOS RESIDUAIS DE GRANITO DO PORTO Ferreira, Cristiana; Mendonça, António Ananias; Viana da Fonseca, António	27
AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS EVOLUTIVAS DOS PELITOS DO TRIÁSSICO EM COIMBRA Quinta Ferreira, Mário; Velho, José A.L.; Pereira, Luís F.M.	39
CARACTERIZAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ALTERAÇÃO DE ROCHAS METAMÓRFICAS SOBRE SUAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA Sossai, Fabiano Jerônimo Moreira; Marques, Eduardo Antonio Gomes	51
CARACTERIZAÇÃO DE MACIÇOS TERROSOS A PARTIR DA UTILIZAÇÃO CONJUNTA DE ENSAIOS DMT E CPT(U) Cruz, N., Mota-Engil; Viana da Fonseca, A.	59
CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE UM MACIÇO CONSTITUÍDO POR ROCHAS VULCÂNICAS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL Pinheiro, Rinaldo J. B.; Bica, Adriano V.D.; Bressani, Luis A.; Flores, Juan A.	69
CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DA ARGILA POROSA DE BRASÍLIA ATRAVÉS DE ENSAIOS DE LABORATÓRIO Marques, Fernando; Almeida e Sousa, Jorge; Assis, André	79
CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA EXPEDITA DO GRANITO DO PORTO PARA FINS DE ESCAVAÇÃO DE TÚNEIS Dinis da Gama, Carlos; Reis e Sousa, Manuel	91
COMPARAÇÃO ENTRE RECALQUES CALCULADOS ATRAVÉS DE ENSAIOS DE CAMPO E LABORATÓRIO COM VALORES DE RECALQUES DETERMINADOS EM CAMPO Seixas, Nilene Janini de Oliveira	101
CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DO LANÇO DA VIA RÁPIDA MACHICO-CANIÇAL Rosa, Sérgio P.Parada; Brito, José A. Mateus; Baião, Carlos J. Oliveira; Rodrigues, Vitória da Conceição	111
CONSIDERAÇÕES SOBRE A DEFORMABILIDADE DE UMA DIACLASE ARTIFICIAL EM GRANITO PORFIRÓIDE Leal Gomes, Manuel J. A.	123

CORRELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA AO CISLHAMENTO NÃO DRENADA E A RELAÇÃO “w/LL” DE ARGILAS SATURADAS DA REGIÃO DE CAMPINAS, SP, BRASIL Cavicchia, Luiz Roberto	131
CORRELAÇÃO ENTRE O COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS E DAS ROCHAS ORIGINAIS Conde, M. Carmo; Dinis da Gama, C.; Lopes, M. G.	141
CORRELAÇÃO ENTRE O ENSAIO DE PENETRAÇÃO DINÂMICA SUPER PESADO (DPSH) E O ENSAIO DE PENETRAÇÃO DINÂMICA NORMALIZADO (SPT) EM SOLOS GRANÍTICOS DA COVILHÃ Cavaleiro, V. M. P.; Ferreira Gomes, L. M.; Rodrigues-Carvalho, J. A.	151
CORRELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E À TRACÇÃO DE ROCHAS Mesquita Soares, Sofia; Dinis da Gama, Carlos; Cardoso, Claudino	157
DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS GEOMECÂNICOS EM FORMAÇÕES GRANÍTICAS ATRAVÉS DE UM SISTEMA BASEADO EM CONHECIMENTO Miranda, Tiago; Gomes Correia, António; Ribeiro e Sousa, Luís	165
DMR (ADAPTADO DO RMR), UMA NOVA CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA PARA USAR NAS FUNDAÇÕES DE BARRAGENS Romana, Manuel	175
EFEITO DA ALTERAÇÃO NA RESISTÊNCIA E NO COMPORTAMENTO DA DEFORMAÇÃO DO GRANITO DA GUARDA Antão, A.M.M.C.; Quinta Ferreira, M.	189
ENSAIOS FÍSICOS NA AVALIAÇÃO DO ESTADO DE ALTERAÇÃO DAS ROCHAS Pinho, António B.; Rodrigues-Carvalho, J. A.; Gomes, Celso F.	199
EQUIPAMENTOS PARA EXPERIÊNCIAS PEDAGÓGICAS NO ENSINO DA MECÂNICA DOS SOLOS Cardoso, Rafaela; Gomes, Rui Carrilho; Santos, Jaime; Sena Costa, Vítor; Caetano, João Pedro	209
INFLUÊNCIA DA TRAJECTÓRIA DE TENSÕES NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE SOLOS DE UM SAPRÓLITO GRANÍTICO DA GUARDA Rodrigues, Carlos; Lemos, Luís	219
INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E MINERALÓGICAS NO COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO DE DOIS SOLOS RESIDUAIS GRANÍTICOS Duarte, Isabel M.R.; Ladeira, Fernando L.; Gomes, Celso S.F.	229
INTERPRETAÇÃO DO ENSAIO DE CARGA DINÂMICO EM ESTACAS ATRAVÉS DE ANÁLISES TIPO CAPWAP Gouveia Pereira, José Jorge; Santos, Jaime Alberto dos; Gomes Correia, António; Simões, Teresa Nogueira	239
LIMITAÇÕES DOS APARELHOS NUCLEARES NO CONTROLO DE QUALIDADE DE ATERROS Quinta Ferreira, Mário; Dias, José Feiteira	249
O ENSAIO CPT NA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE LIQUEFAÇÃO O CASO DA NOVA PONTE SOBRE O TEJO NA A10 Correia, Jorge	259
O ENSAIO DE DURABILIDADE COMO ÍNDICADOR EXPEDITO DA ESTABILIDADE DA SUPERFÍCIE ROCHOSA DAS ARRIBAS COSTEIRAS Falcão Neves, Paula;	269

O MÉTODO DAS ONDAS SÍSMICAS SUPERFICIAIS NA CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA – CASO DE ESTUDO Lopes, Isabel; Santos, Jaime A.; Almeida, Isabel; Brito, Tiago	277
O SUBSTRATO E AS FUNDAÇÕES PARA AS ESTRUTURAS DAS ZONAS URBANA E SUBURBANA DA REGIÃO DE AVEIRO Ferreira Gomes, L.M.; Ladeira, F.	287
PRESSÍOMETROS AUTOPERFURADOR E MÉNARD: CONTRIBUIÇÃO PARA UM ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DOS SOLOS MIOCÉNICOS DE LISBOA E LOURES Ludovico Marques, Marco António; Sousa Coutinho, António G. F.	299
SOBRE O USO DE ENSAIOS DE PIEZOCONO NO APROFUNDAMENTO DOS CONHECIMENTOS DAS ARGILAS MARINHAS DE SANTOS, BRASIL Faíçal Massad	309
SOLOS RESIDUAIS DOS GRANITOS DO PORTO – CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA A PARTIR DE DADOS DISPERSOS Ernesto, André; Guimarães, Sofia; Gomes, Cristina	319
SOLOS TROPICAIS COMPACTADOS EM BARREIRAS IMPERMEÁVEIS: AVALIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA Macambira, Indira Queiroz; Vilar, Orenco Monje	329
UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA EM ESTUDOS DA REDE DE FRACTURAÇÃO: APLICAÇÃO À ÁREA DE INFLUÊNCIA DA FALHA DA VILARIÇA (MACIÇO DA SERRA DA ESTRELA, PORTUGAL CENTRAL) Almeida, Pedro Gabriel; Espinha Marques, Jorge; Fonseca, Paulo E.; Sodré Borges, Frederico; Samper, Javier; Carvalho, José Martins; Marques, José Manuel; Aires-Barros, Luís; Cavaleiro, Victor; Gomes, Alberto; Rocha, Fernando T.; Teixeira, José; Afonso, Maria José; Chaminé, Helder I.	339

VOL II | ACTAS – Modelação e Segurança

A IMPORTÂNCIA DA FREQUÊNCIA DAS VIBRAÇÕES, COM ORIGEM EM ACTIVIDADES GEOTÉCNICAS, NOS CRITÉRIOS DE DANO ESTRUTURAL Bernardo, Pedro	1
A INFLUÊNCIA DA LARGURA DE UMA VALA NA DETERMINAÇÃO DO EMPUXO PASSIVO Aun, Giovana Vivolo; Gonçalves, Heloisa Helena Silva	11
ACIDENTES NAS OBRAS MODELO CAUSAL E RECOMENDAÇÕES Flor, António Tavares; Valadares Tavares, Luís; Santos Pereira, Carlos	21
ANÁLISE DA RUPTURA DE TALUDES NA RODOVIA ROTA DO SOL, BRASIL Nummer, Andréa Valli; Nunes, Anna Laura L.S.; Aguiar, Vinícius R.; Bressani, Luiz A.	31
ANÁLISE DE RISCOS INERENTES ÀS VIBRAÇÕES TRANSMITIDAS ÀS ESTRUTURAS Longo, Simone; Dinis da Gama, Carlos	41
ANÁLISE ESPACIAL DO MACIÇO DE SOLOS DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO (BRASIL) PARA IMPLANTAÇÃO DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS Mendes, Rodolfo M.; Lorandi, Reinaldo	51
ANÁLISE TRIDIMENSIONAL DE ESTRUTURAS REFORÇADAS UTILIZANDO O MÉTODO DA RIGIDEZ EMBUTIDA Durand, R.D.F.; Farias, M.M.	61
ANÁLISE TRIDIMENSIONAL DO COMPORTAMENTO DE UM TÚNEL SUPERFICIAL EM MEIO URBANO Martins, Francisco F.; Valente, Bruno; Almeida e Sousa, Jorge	71

ANÁLISES DA ESTABILIDADE NAS CAVIDADES DISSOLVIDAS DA MINA DE SAL DE QIAOHOU Yu, Xianbin; Dinis da Gama, Carlos	83
APLICAÇÃO DE UM MODELO CONSTITUTIVO DE DESCONTINUIDADE COM ENFRAQUECIMENTO NA ANÁLISE DE FUNDAÇÕES DE BARRAGENS DE BETÃO Resende, Ricardo; Vieira de Lemos, José; Borges Dinis, Pedro	91
AVALIAÇÃO DE RISCO DE ENCOSTAS POR PREVISÃO DE MORTALIDADE Pinhel, André; Pacheco, Marcus	101
COMPORTAMENTO DE ESTACAS CRAVADAS COM BASE EM RESULTADOS DE ENSAIOS DE CARGA DINÂMICOS EM PORTUGAL Nogueira Simões, Teresa; Rodrigues, Filipe	111
DANOS EM EDIFÍCIOS INDUZIDOS POR ESCAVAÇÕES Portugal, João; Santo, Acácio; Portugal, Alexandre	123
DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE TROÇOS DE ESTRADAS Oliveira, Henrique; Caeiro, José	133
EHSMS (ENVIRONMENTAL, HELATH AND SAFETY MANAGEMENT SYSTEM) EM OBRAS SUBTERRÂNEAS Navarro Torres, Vidal; Dinis da Gama, Carlos	143
EQUAÇÕES GOVERNATIVAS DO TRANSPORTE DE FLUIDOS CONTAMINADOS ATRAVÉS DE BARREIRAS EM CIMENTO-BENTONITE Lucas, Francisco José	153
ESTAÇÃO DO MARQUÊS EM POÇO NO METRO DO PORTO: MODELAÇÃO E SEGURANÇA Franco, Sérgio G.; Andrade, José Carlos; Campanhã, Carlos A.; França, Pedro T.	163
ESTAÇÃO SALGUEIROS EM POÇO NO METRO DO PORTO: MODELAÇÃO E SEGURANÇA França, Pedro T.; Franco, Sérgio G.; Andrade, José Carlos; Campanhã, Carlos A.	173
ESTUDOS DE RETROANÁLISE DO DESLIZAMENTO DE TALUDES OCORRIDO NUMA PEDREIRA DE CALCÁRIO Dinis da Gama, Carlos; Sousa, Ascencion	183
INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DA PARTÍCULA NA FRACTURA DO BETÃO COM UM MODELO DE ELEMENTOS DISCRETOS Monteiro Azevedo, N.; Vieira de Lemos, J.	193
LIQUEFAÇÃO DE MACIÇOS GRANULARES UNIFORMES E SATURADOS INDUZIDA POR ACÇÕES SÍSMICAS: UM ESTUDO ATRAVÉS DE MODELAÇÃO FÍSICA NA CENTRIFUGADORA Coelho, Paulo A.L.F.; Haigh, Stuart K.; Madabhushi, S.P. Gopal	203
MÉTODOS RÍGIDO-PLÁSTICOS E MÉTODOS ELÁSTICOPERFEITAMENTE PLÁSTICOS PARA OBTENÇÃO DO COEFICIENTE DE SEGURANÇA NA AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DE TALUDES Martins, Francisco F.; Martins, Júlio B.	213
MODELAÇÃO EM CENTRIFUGADORA DE SISTEMAS DE SOLO REFORÇADO COM GEOGRELHAS Mendonça, Agostinho; Lopes, Maria de Lurdes; Portugal, João	221
MODELAÇÃO FÍSICA DE UM MACIÇO DE FUNDAÇÃO REFORÇADO POR ESTACAS RÍGIDAS Orianne, Jenck; Daniel, Dias; Richard, Kastner	231
MODELAÇÃO NA CENTRIFUGADORA DO COMPORTAMENTO DE MACIÇOS GRANULARES SATURADOS SOB ACÇÕES DINÂMICAS: A EXPERIÊNCIA DO SCHOFIELD CENTRE, CAMBRIDGE UNIVERSITY, UK Coelho, Paulo A.L.F.; Haigh, Stuart K.; Madabhushi, S.P. Gopal	239

UTILIZAÇÃO DE PLATAFORMAS SIG NA GESTÃO E DISPONIBILIZAÇÃO DE DADOS DE OBRAS GEOTÉCNICAS. i-SIM, UM CASO PRÁTICO DE APLICAÇÃO Machado Vale, José Luís; Neves, Jorge Nelson; Lopes, Pedro; Santos, Jorge; Silva, João	547
ESCAVAÇÃO DE TÚNEIS DO METROPOLITANO DE LISBOA NA FROMAÇÃO DE BENFICA. ANÁLISE DOS ASSENTAMENTOS E AFERIÇÃO DE PARÂMETROS Melâneo, Frederico; Jorge, Carla; Diniz Vieira, Gonçalo	553

Índice Autores

VOL I | ACTAS – Prospecção e Caracterização de Maciços e Materiais Geotécnicos

Acerbi, Joaquim Mario Caleiro	11
Afonso, Maria José C	21, 339
Aires-Barros, Luís	339
Almeida e Sousa, Jorge	79
Almeida, Isabel	277
Almeida, Pedro Gabriel	21, 339
Antão, A.M.M.C.	189
Araújo, Maria Assunção	21
Araújo, Rita Abreu	1
Assis, André	79
Baião, Carlos J. Oliveira	111
Biage, Milton	11
Bica, Adriano V.D.	69
Bressani, Luis A.	69
Brito, José A. Mateus	111
Brito, Tiago	277
Caetano, João Pedro	209
Caranova, Ricardo	21
Cardoso, Claudino	157
Cardoso, Rafaela	209
Carvalho, José Martins,	21, 339
Cavaleiro, V. M. P.	151
Cavaleiro, Victor	339
Cavicchia, Luiz Roberto	131
Chaminé, Helder I.	21, 339
Conde, M. Carmo	141
Correia, Jorge	259
Cruz, N., Mota-Engil	59
Dias, José Feiteira	249
Dinis da Gama, Carlos	91, 141, 157
Duarte, Isabel M.R.	229
Ernesto, André	319
Espinha Marques, Jorge	21, 339
Faiçal Massad	309
Falcão Neves, Paula	269
Ferreira Gomes, L. M.	151, 287
Ferreira, Cristiana	27
Flores, Juan A.	69
Fonseca, Paulo E.	21, 339
Gama Pereira, L. C.	21

Gomes Correia, António	165, 239
Gomes, Alberto	21, 339
Gomes, Celso S. F.	199, 229
Gomes, Cristina	319
Gomes, Rui Carrilho	209
Gonçalves, Heloisa Helena Silva	101
Gouveia Pereira, José Jorge	239
Guimarães, Sofia	319
Ladeira, F.	287
Ladeira, Fernando L.	229
Leal Gomes, Manuel J. A.	123
Lemos, Luís	219
Lopes, Isabel	277
Lopes, M. G.	141
Ludovico Marques, Marco António	299
Macambira, Indira Queiroz	329
Marques, Eduardo Antonio Gomes	51
Marques, Fernando	79
Marques, José Manuel	21, 339
Melo, Paula Cristina Carvalhal	1
Mendonça, António Ananias	27
Mesquita Soares, Sofia	157
Miranda, Ricardo Fortes	11
Miranda, Tiago	165
Pereira, Luís F.M.	39
Piedade Júnior, Célio Roberto Campos	329
Pinheiro, Rinaldo J. B.	69
Pinho, António B.	199
Pinto de Jesus, Ary	21
Pinto Ribeiro, Luisa	21
Quinta Ferreira, Mário	39, 189, 249
Reis e Sousa, Manuel	91
Ribeiro e Sousa, Luís	165
Rocha, Fernando T.	21, 339
Rodrigues, Carlos	219
Rodrigues, Vitória da Conceição	111
Rodrigues-Carvalho	151, 199
Romana, Manuel	175
Rosa, Sérgio P. Parada	111
Samper, Javier	339
Santos, Jaime A.	209, 239, 277
Saraiva, António Luís Almeida	1
Seixas, Nilene Janini de Oliveira	101
Sena Costa, Víctor	209
Simões, Teresa Nogueira	239
Sodré Borges, Frederico	21, 339
Sossai, Fabiano Jerônimo Moreira	51
Sousa Coutinho, António G. F.	299
Teixeira, José	21, 339
Velho, José A.L.	39
Viana da Fonseca, António	27, 59
Vilar, Orencio Monje	329

VOL II | ACTAS – Modelação e Segurança

Aguiar, Vinícius R.	31
Almeida e Sousa, Jorge	71
Andrade, José Carlos	163, 173
Aun, Giovana Vivolo	11
Benatia, Younes	317
Bernardo, Pedro	1
Bicalho, Kátia Vanessa	325
Borges Dinis, Pedro	91
Bressani, Luiz A.	31
Caeiro, José	133
Caldeira, Laura	249
Campanhã, Carlos A	163, 173
Castello, Reno Reine	325
Cavassani, Marita Raquel Paris	325
Chiriotti, Elena	259
Coelho, José	334
Coelho, Paulo A. L. F.	203, 239
Costa e Silva, Maria Matilde	269
Daniel, Dias	231
Dinis da Gama, Carlos	41, 83, 143, 183, 277, 297, 307
Durand, R.D.F.	61
Farias, M.M.	61
Flor, António Tavares	21, 334
França, Pedro T.	163, 173
Franco, Sérgio G.	163, 173
Gaj, Filippo	259
Garcia Miguel, Hélder	285
Giacomin, Giovanni	259
Gomes Correia, António	317
Gonçalves, Heloisa Helena Silva	11
Grasso, Piergiorgio	259
Haigh, Stuart K.	203, 239
Longo, Simone	41
Lopes, Maria de Lurdes	221, 249
Lorandi, Reinaldo	51
Lucas, Francisco José	153
Madabhushi, S. P. Gopal	203, 239
Marques, Alfredo	317
Martins, Francisco F.	71, 213
Martins, Júlio B.	213
Mendes, Rodolfo M.	51
Mendonça, Agostinho	221
Monteiro Azevedo, N.	193
Navarro Torres, Vidal	143, 277
Nogueira Simões, Teresa	111
Nummer, Andréa Valli, Dr.	31
Nunes, Anna Laura L.S.	31
Oliveira, Henrique	133
Orianne, Jenck	231
Pacheco, Marcus	101
Paneiro, Gustavo André	297
Pinhel, André	101
Portugal, Alexandre	123
Portugal, João	123, 221

Resende, Ricardo	91
Richard, Kastner	231
Rodrigues, Filipe	111
Roque, António José	333
Santo, Acácio	123
Santos Pereira, Carlos	21, 334
Schmidt, Robert	317
Sousa, Ascencion	183
Valadares Tavares, Luís	21, 334
Valente, Bruno	71
Vieira de Lemos, José	91, 193
Vieira, Castorina Silva	249
Yu, Xianbin	83, 307

VOL III | ACTAS – Casos de Obra

Alexandre Pinto	497
Almeida e Sousa, Jorge	475
Almeida, Carlos A	255
Almeida, Francisco Ferreira Novaes	145
Amaral, Ana Raquel	487
Ambrósio, António Carlos	285
Ana Quintela	345
Andrade, José Carlos	135, 225, 235, 245, 255
António Nazareth	527
Aparício, António Morgado	427
Azenha, Paulo	453
Azevedo, João F.R.	29
Baião, Carlos	225
Baião, Carlos J. Oliveira	265, 397, 439
Barata, Carlos	487
Barata, José	205
Bento, Jorge	331
Bicalho, Kátia Vanessa	177
Bonito, Fernando	363
Brito, José A. Mateus	265, 285, 373, 397, 439
Camara, José	197
Camilo, Filipa	407
Campanhã, Carlos A	135, 225, 245, 255
Cardoso Simões, Benjamin	427
Cardoso, António S.	475
Cardoso, Claudino	363
Carvalho, Ana Teresa	1, 91, 197
Carvalho, David	145
Carvalho, Mariana dos A. Rodrigues	385
Castello, Reno Reine	177
Cebola, Duílio	205, 509, 517
Conceição, Miguel F. Menezes	439
Costa, André	487
Costa, Cláudia Maria Cunha	277
Cravidão, José Prates	427
Cristóvão, António	417
Dias, João	217
Diniz Vieira, Gonçalo	319, 553
Durão, João	487

MODELAÇÃO EM CENTRIFUGADORA DE SISTEMAS DE SOLO REFORÇADO COM GEOGRELHAS

CENTRIFUGE MODELLING OF SOIL REINFORCED SYSTEMS WITH GEOGRIDS

Mendonça, Agostinho, *Soares da Costa, SA, Porto, Portugal,*

ammendonca@mail.telepac.pt

Lopes, Maria de Lurdes, *Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal,*

lcosta@fe.up.pt

Portugal, João, *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal*

RESUMO

Neste trabalho estuda-se o comportamento de um muro e de um talude reforçados com geogrelhas através de modelação física com centrifugadora. O equipamento de ensaio e os sistemas de reforço modelados são descritos. As características físicas e mecânicas dos materiais (solo e reforços) são mencionadas, bem como os procedimentos de construção dos modelos e as técnicas de controlo adoptadas. Os procedimentos de ensaio e de instrumentação são referidos e os resultados obtidos são analisados. As deformações medidas nos ensaios de modelação física em centrifugadora são comparados com os observados em obra e com os obtidos através de modelação numérica.

ABSTRACT

In this paper the behaviour of a wall and a steep slope reinforced with geogrids will be analysed based on the results of centrifuge modelling. The centrifuge apparatus will be described, as well as the reinforced systems to be modelled. Physical and mechanical characteristics of the materials will be referred, as well as models construction procedures and control techniques adopted. Test and monitoring procedures will be described and the results obtained will be analysed. The deformations measured in the centrifuge tests will be compared with the registered by site monitoring and with that calculated by numerical modelling.

1. INTRODUÇÃO

O estudo que se apresenta de seguida tem como objectivo principal realçar as potencialidades da modelação física em centrifugadora de sistemas de solo reforçado com geossintéticos. Para tal, optou-se por comparar as deformações observadas nos ensaios de centrifugação realizados com as calculadas numericamente e as resultantes da monitorização de um aterro reforçado real. Para esse fim usaram-se duas estruturas: i) um muro de face vertical; (ii) um talude inclinado a 60°.

O muro de face vertical tem 6m de altura e foi analisado através do método dos elementos finitos por [1], e posteriormente modelado através do programa FLAC (versão 3.30) por [2] e por [3]. O talude inclinado a 60° corresponde ao aterro com taludes reforçados construído e instrumentado no lanço Régua/Reconcos do Itinerário Principal 3 (IP3), com uma altura máxima da estrutura reforçada de cerca de 20m modelado numericamente através do programa FLAC (versão 4.00) por [3]. As Figuras 1 e 2 representam esquematicamente o muro e o talude reforçado, respectivamente.

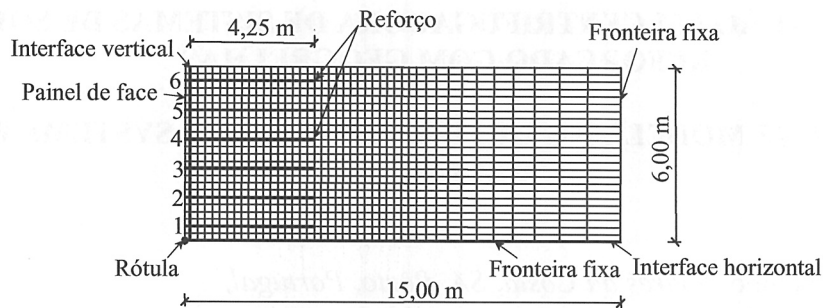


Figura 1 – Muro reforçado – malha de elementos finitos.

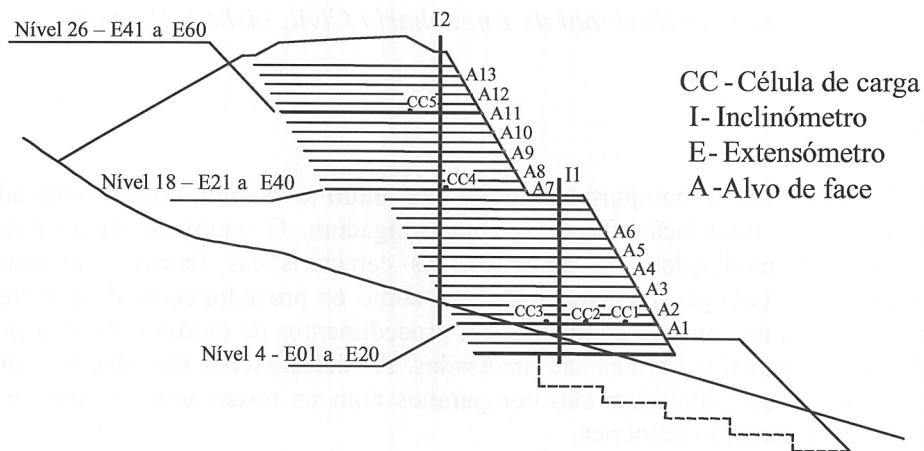


Figura 2 – Talude reforçado – localização da instrumentação [4].

2. CENTRIFUGADORA

O equipamento de centrifugação usado no trabalho experimental foi a centrifugadora do LNEC. Este equipamento, do tipo Acutronic 661, está representado na Figura 3. É constituído por uma estrutura piramidal metálica, ligada rigidamente à laje de soleira da câmara, que suporta um braço giratório e um motor trifásico de accionamento. O braço giratório comporta numa das extremidades uma cesta basculante na qual é introduzida a carga modelo e na outra, um contrapeso ajustável para equilibrar o conjunto. O raio médio de giração é de 1,80m na plataforma de montagem e de 1,55m no centro geométrico da cesta. As dimensões máximas da carga embarcável são de 500mm x 700mm x 500mm, sendo o seu peso máximo função da aceleração a atingir - 4kN para acelerações até 100g, decrescendo linearmente até 2kN para acelerações até 200g (correspondente à velocidade de rotação máxima de 345rpm) [5].

A cesta basculante é dotada de uma câmara de vídeo ligada a um monitor que se encontra na sala de comando que permite o acompanhamento visual, em tempo real, do comportamento dos modelos durante a centrifugação.

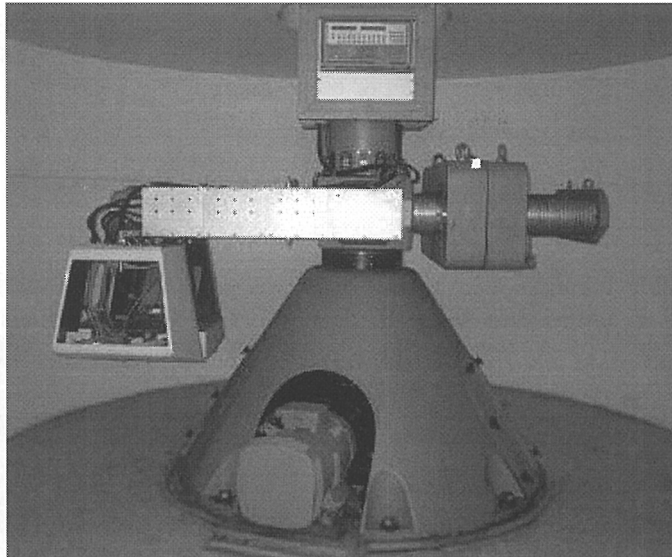


Figura 3 – Alçado lateral da centrífugadora do LNEC.

3. MODELAÇÃO EM CENTRIFUGADORA DE SISTEMAS DE SOLO REFORÇADO COM GEOGRELHAS

O solo utilizado nos ensaios foi uma areia de Fontainebleau branca (Ref. sable NE 25/34) virgem. Na Figura 4 apresenta-se a curva granulométrica da areia e no Quadro 1 resume-se as características principais do material.

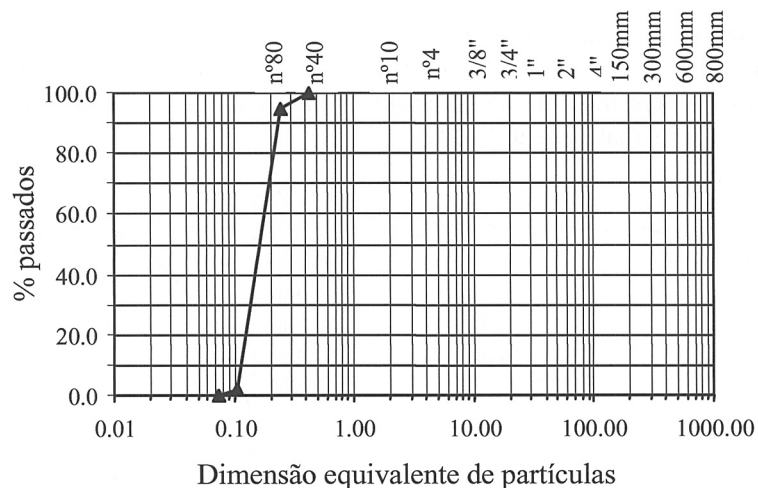


Figura 4 – Curva granulométrica da areia de Fontainebleau.

Quadro 1 – Características principais da areia de Fontainebleau.

γ_s (kN/m ³)	$\gamma_{d,min}$ (kN/m ³)	$e_{máx}$	$\gamma_{d,máx}$ (kN/m ³)	e_{min}	D ₅₀ (mm)	Cu D ₆₀ /D ₁₀	Cc (D ₃₀) ² /(D ₁₀ x D ₆₀)
26,00	14,10	0,844	17,03	0,527	0,167	1,57	0,64

Os maciços de solo foram construídos recorrendo à técnica de pluviação a seco por recurso a um dispositivo de pluviação (chuveiro de areia) constituído por um depósito fixo e uma tremonha basculante, que se desloca automaticamente por cima do contentor a encher.

3.1 Reforços

As malhas plásticas seleccionadas para a simulação dos reforços são apresentadas na Figura 5. Procurou-se seleccionar malhas com dimensão de aberturas e rigidez distintas.

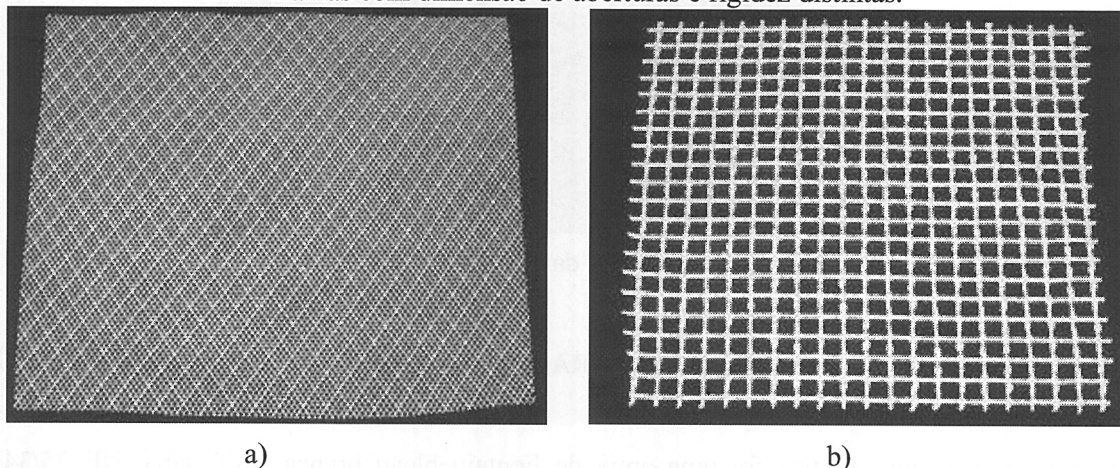


Figura 5 - Malhas usadas para simulação dos reforços nos ensaios em centrífuga: a) malha 1; b) malha 2.

O comportamento tracção-extensão das malhas foi estudado através da realização de ensaios de tracção, de acordo com a EN ISO 10319. A Figura 6 mostra as curvas tracção-extensão, correspondentes aos valores médios, na direcção de fabrico (DF) e na direcção normal à de fabrico (DPF), para os dois materiais utilizados.

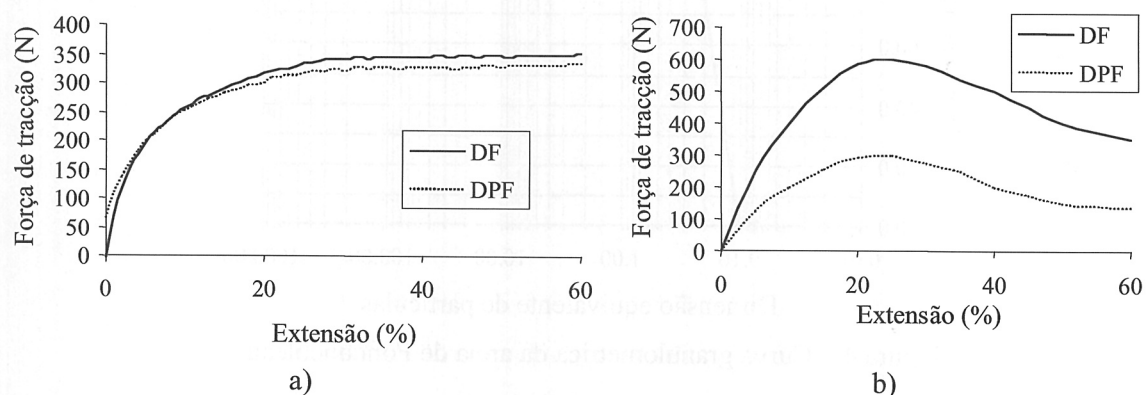


Figura 6 - Curvas tracção-extensão dos materiais de reforço: a) malha 1; b) malha 2.

De acordo com os resultados dos ensaios de tracção, verifica-se que a malha 1 apresenta um comportamento semelhante nas direcções de fabrico e perpendicular a esta, enquanto que a malha 2 evidencia um comportamento muito díspar nas duas direcções de ensaio. Por outro lado, constata-se um comportamento tracção-extensão distinto das duas malhas, apresentando a malha 2 um comportamento mais frágil.

Concluiu-se, ainda, que as duas malhas apresentam deformações, para a resistência máxima, semelhantes entre si e nas duas direcções de ensaio.

3.2 Procedimentos de ensaio e monitorização

Terminada a construção do maciço arenoso por pluviação, a caixa transparente (*liner*) foi pesada e cuidadosamente acondicionada no interior do contentor rectangular metálico. Em seguida, o conjunto foi transportado para a plataforma da centrifugadora, cujo braço foi equilibrado em função do peso total a embarcar. Na Figura 7 apresentam-se fases do procedimento seguido na execução dos ensaios.

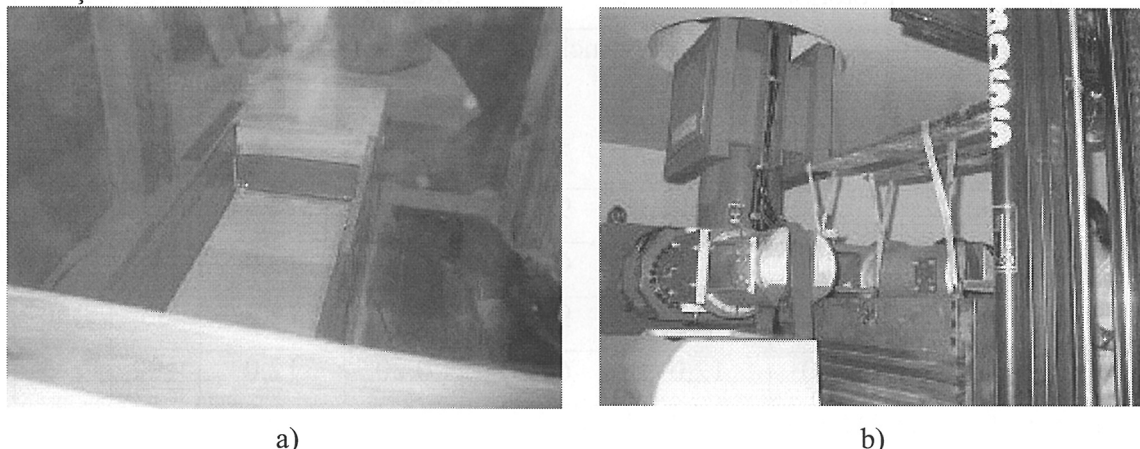


Figura 7 - Procedimentos de ensaio: a) pluviação; b) colocação do contentor metálico na centrifugadora.

Aferido o posicionamento correcto do conjunto embarcado, procedeu-se à ligação dos cabos dos transdutores de deslocamento ao sistema de aquisição de dados. Simultaneamente, foram instaladas a câmara de vídeo e a lâmpada fluorescente que asseguraram o contacto visual com o modelo durante a execução do ensaio. Após a inspecção visual da câmara de centrifugação iniciou-se a sequência de ensaio previamente definida.

Na construção dos modelos recorreu-se a elementos em esferovite, com espessura variável, para execução da face. Esses elementos foram colocados nas camadas de areia previstas e imediatamente antes da pluviação destas. Após a conclusão da construção do modelo, os elementos de “cofragem”, usados na execução da face, foram retirados por aspiração, após a colocação do *liner* no interior do contentor metálico.

As deformações da face da estrutura de suporte modelo foram monitorizadas recorrendo a dois transdutores de 25mm, um deles (LVDT) posicionado próximo do topo da face do modelo e o outro (potenciómetro) colocado próximo da base. Ambos os sensores foram suportados por uma viga metálica montada sobre o contentor metálico. Os pontos de leitura foram materializados através de duas marcas semi-rígidas coladas à face do talude.

A aquisição e controlo de dados foi feita utilizando “software” específico que permite o tratamento da informação recolhida e o acompanhamento, em tempo real, das relações deslocamento-tempo.

3.3 Programa de ensaios

O programa de ensaios desenvolvido apresenta-se no Quadro 2. Nos ensaios 1 e 2 usou-se a malha 1 como elemento de reforço, enquanto nos ensaios 3 e 4 foi utilizada a malha 2. Os ensaios 1 e 3 referem-se ao muro reforçado, enquanto que os ensaios 2 e 4 correspondem ao aterro com o talude inclinado a 60° do IP3 modelado para a sua inclinação média.

Na Figura 8 apresentam-se os esquemas de montagem de cada um dos modelos ensaiados e na Figura 9 mostra-se um dos modelos instalado na centrífuga.

Quadro 2 – Programa de ensaios.

Ensaio	Protótipo			Modelo			N	rpm*
	Inclinação (°)	Altura (m)	Comp. Reforços (m)	Inclinação (°)	Altura (m)	Comp. Reforços (cm)		
1	90,0	6,0	4,5	90,0	0,18	14,0	33	140
2	60,0	20,0	12,0	60,0	0,20	12,0	100	245
3	90,0	6,0	4,5	90,0	0,18	14,0	33	140
4	60,0	20,0	12,0	60,0	0,20	12,0	100	245

* para a centrífuga do LNEC: $R=1,80\text{m}$, $h_m=0,28$; $R_e=1,52\text{m}$; $g=9,81\text{m/s}^2$.

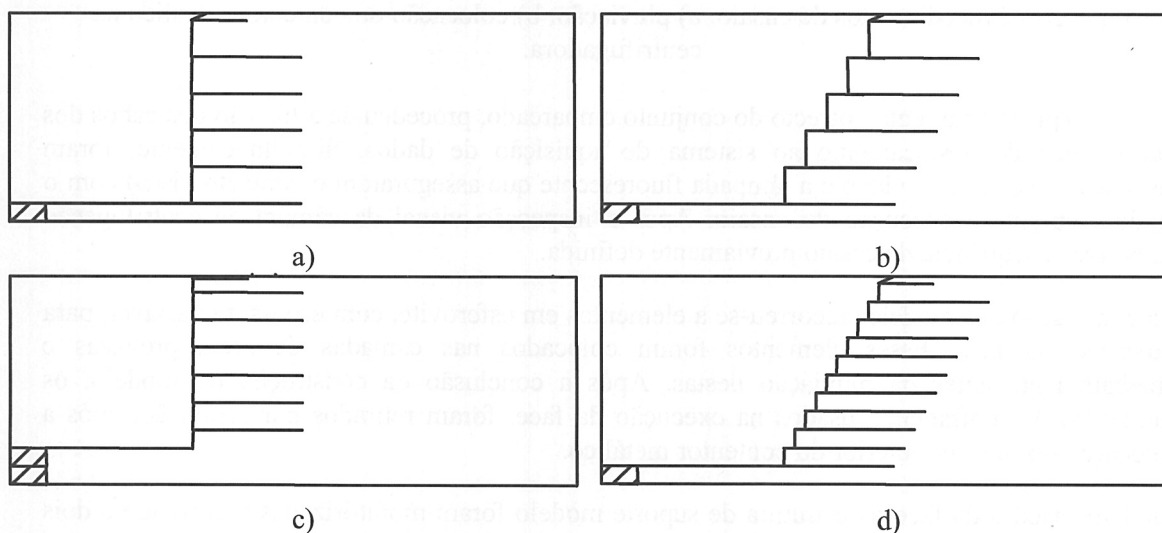


Figura 8 – Modelos ensaiados na centrífuga: a) ensaio 1; b) ensaio 2; c) ensaio 3; d) ensaio 4.

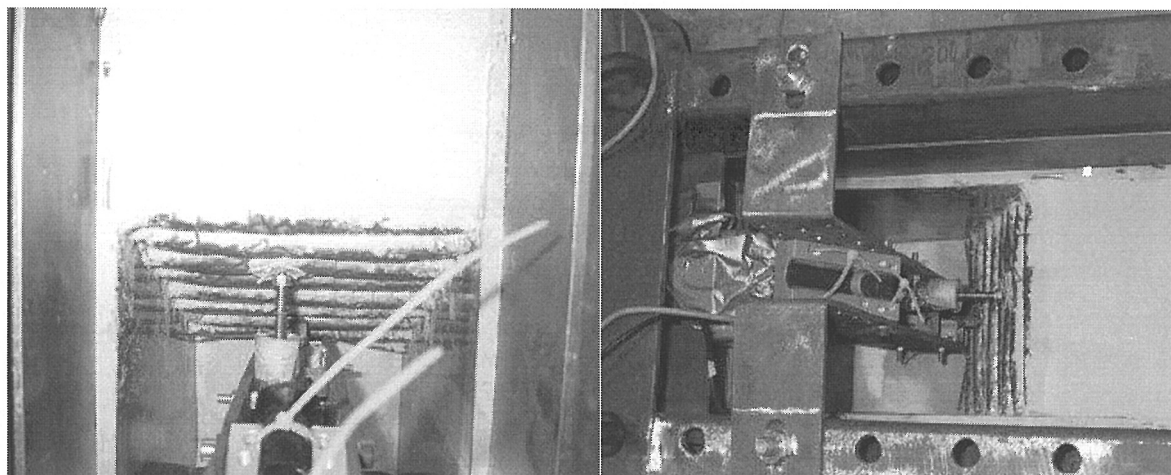


Figura 9 – Modelo instalado na centrífuga.

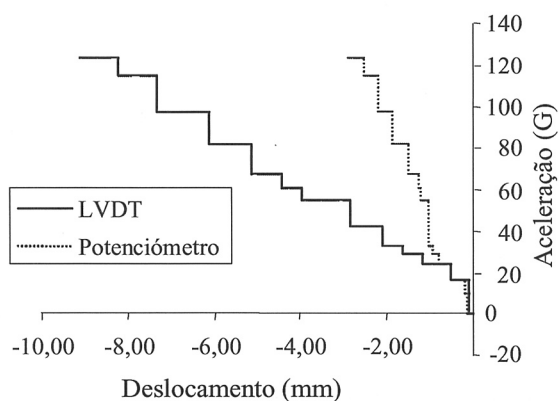
3.4 Resultados dos ensaios

Após a centrifugação os modelos foram retirados da centrífuga e observadas as suas deformadas por comparação com uma malha desenhada na face do *liner*. Posteriormente, os modelos foram saturados, cortados e o seu comportamento analisado.

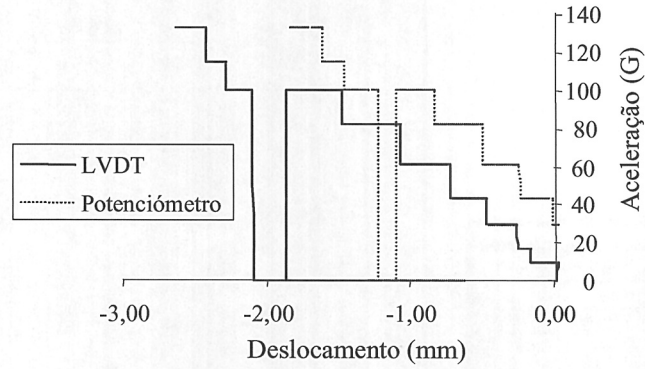
O Quadro 3 apresenta os deslocamentos característicos registados nos ensaios 1 e 2. Por outro lado, na Figura 10 representam-se graficamente os resultados obtidos na monitorização dos modelos dos ensaios 3 (Figura 10a) e 4 (Figura 10b).

Quadro 3 - Resultados dos ensaios 1 e 2.

Ensaio	Semelhança		Deslocamentos (cm)		Observações
	N	Rpm	Meia altura	Topo	
1 (muro)	33	140	2,00	3,50	Rotura a 160rpm (43g)
2 (talude)	100	245	0,80	0,30	Assentamento na crista de cerca de 4mm sem ocorrer rotura até 300rpm (153g)



a)

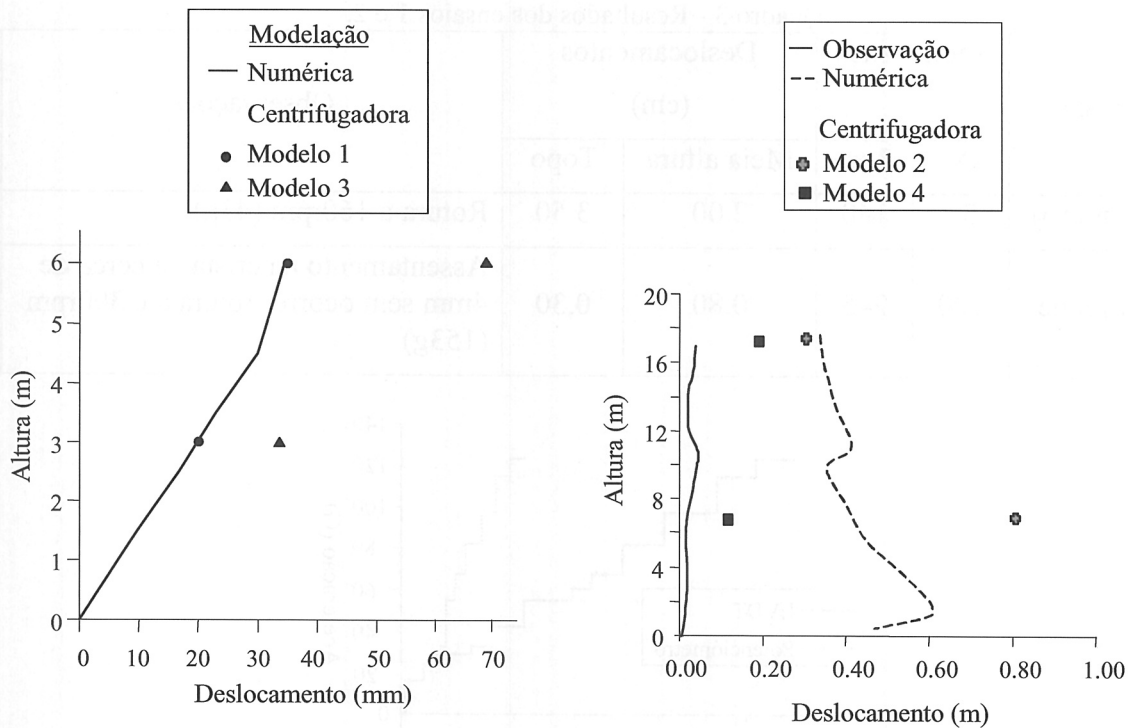


b)

Figura 10 – Resultados de ensaios em centrífugadora: a) ensaio 3; b) ensaio 4.

Nos ensaios realizados em centrífugadora apenas se observou rotura no modelo do ensaio 1, os restantes modelos apresentaram deformações dentro de limites aceitáveis até ao final do ensaio que coincidiu com o limite das acelerações permitido pelo desequilíbrio da centrífugadora.

Na Figura 11a compara-se os valores dos deslocamentos da face do muro com 6m de altura obtidos numericamente e através dos ensaios em centrífugadora 1 e 3. A figura mostra uma aproximação perfeita entre as duas modelações para o modelo do ensaio 1. Porém, para o ensaio 3 os deslocamentos registados no modelo físico são muito superiores aos obtidos na modelação numérica. De notar que o modelo do ensaio 1 considera 5 níveis de reforço, simulados pela malha 1, enquanto o modelo do ensaio 3 adopta, tal como o protótipo, 6 níveis de reforço, simulados pela malha 2. Por outro lado, enquanto que na modelação física do modelo do ensaio 1 se observou rotura na modelação numérica do mesmo modelo não se detectou rotura.



a)

b)

Figura 11 – Deslocamentos da face – modelações numérica e em centrífugadora: a) ensaios 1 e 3; b) ensaio 2 e 4.

A Figura 11b compara os deslocamentos horizontais da face do talude do aterro reforçado do IP3 monitorizados na obra real e definidos através da modelação numérica e da modelação física em centrífugadora nos ensaios 2 e 4. A figura mostra que a modelação numérica e física do modelo do ensaio 2 (5 níveis de reforço – malha 1) conduz a resultados próximos na parte superior do talude, afastando-se os resultados das duas modelações na parte inferior da estrutura.

Os resultados da modelação em centrífugadora do modelo do ensaio 4 (10 níveis de reforço – malha 2) são qualitativamente semelhantes aos registados durante a observação da obra, contudo de maior magnitude. Por outro lado, os resultados da modelação física são significativamente menores do que os registados na modelação numérica, em especial na parte inferior do talude.

Os resultados da modelação em centrífugadora realçam a importância do material usado para a simulação dos reforços. Com efeito, embora a malha 2 apresente maior rigidez tangente inicial do que a malha 1 (Figura 12a), quando a extensão das malhas se inicia a rigidez secante da malha 1 torna-se superior à da malha 2 (Figura 12b). Por esta razão a restrição das deformações da face dos modelos é mais eficaz quando os reforços são simulados com a malha 1 (ver Figura 11a).

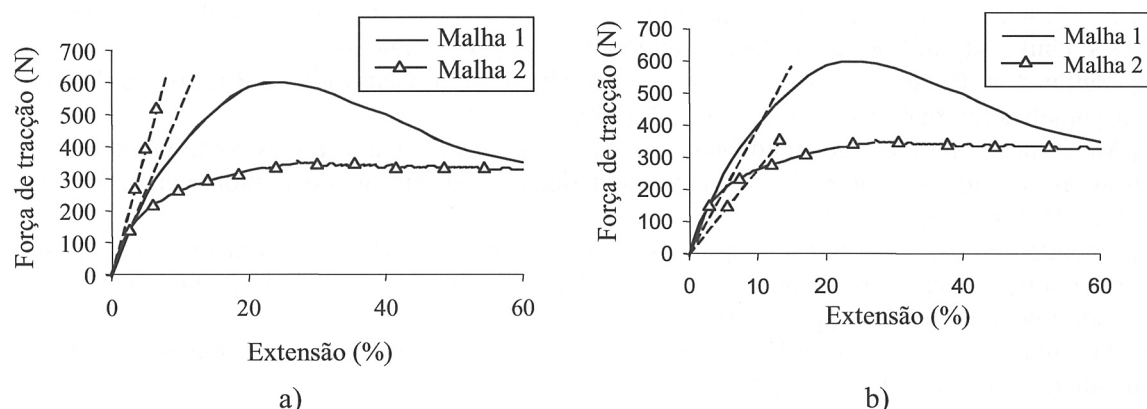


Figura 12 – Rigidez à tracção (na direcção de fabrico) das malhas 1 e 2: a) rigidez tangente inicial; b) rigidez secante a 10% de extensão.

De realçar que a modelação em centrífugadora não considera a influência nos deslocamentos da face da metodologia de construção incremental usada para o talude reforçado, o que justifica, pelo menos em parte, as diferenças observadas entre a modelação numérica e a modelação em centrífugadora do modelo do ensaio 2. Por outro lado, os valores reduzidos dos deslocamentos observados resultam da impossibilidade do seu registo desde o início da construção do talude, em virtude da metodologia de construção incremental adoptada (Mendonça *et al.*, 2003).

4. CONCLUSÕES

Embora o trabalho apresentado seja apenas uma avaliação preliminar das potencialidades da modelação física em centrífugadora do comportamento de sistemas de solo reforçado com geogrelhas entende-se possível, com base nos resultados obtidos, formular algumas conclusões consideradas relevantes, nomeadamente:

- que as características do comportamento tensão-extensão das malhas utilizadas para simular os reforços desempenham papel relevante nos resultados, em particular no que concerne à rigidez à tracção para pequenas deformações;

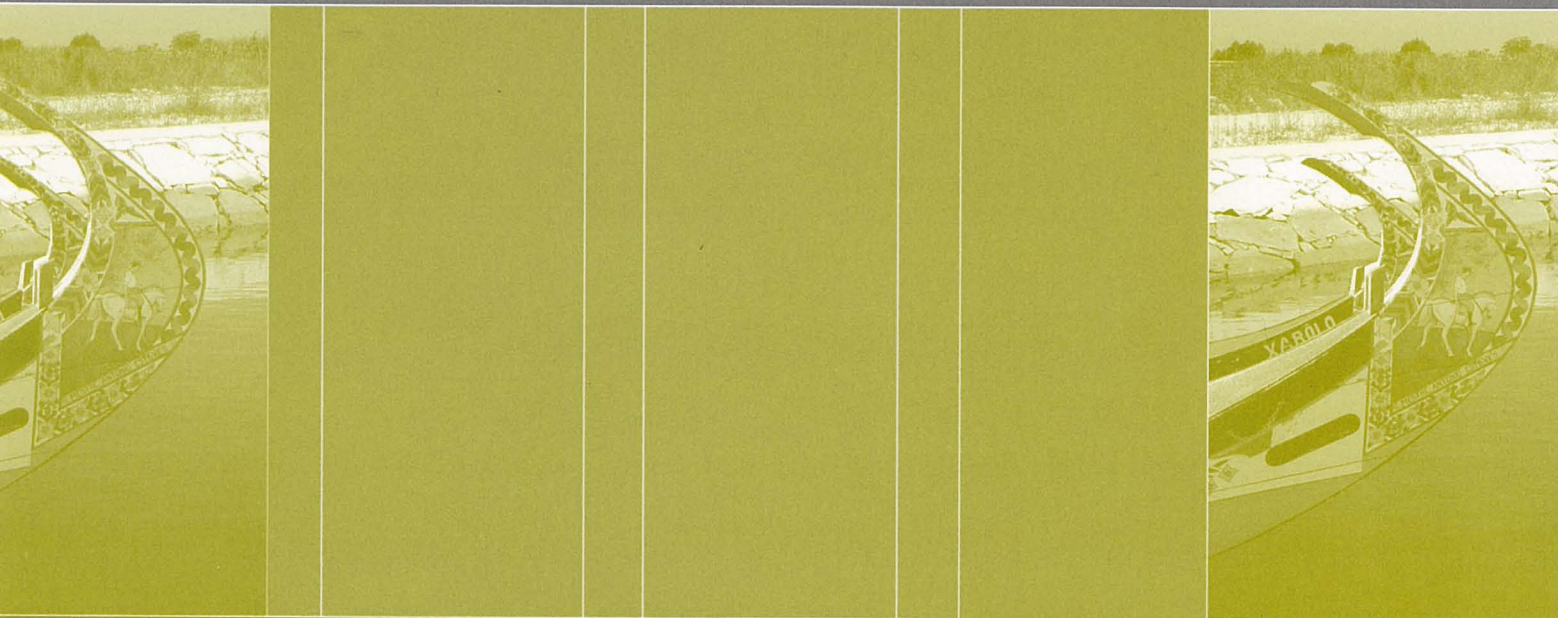
- a dificuldade de modelar os efeitos da construção incremental do aterro levam a que a modelação em centrifugadora de sistemas de solo reforçado que utilizem esta técnica construtiva tenha aplicação limitada, ao contrário do que sucede no caso do método construtivo ser o de construção escorada;
- os ensaios em centrifugadora dos modelos de taludes não evidenciaram rotura, mesmo para acelerações elevadas;
- apesar da necessidade de um estudo mais profundo e rigoroso, em particular no que se refere à modelação da construção incremental, a modelação em centrifugadora oferece potencialidades inequívocas, merecedoras de maior aprofundamento, para aplicação ao estudo do comportamento de sistemas de solo reforçado com geossintéticos.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar os seus agradecimentos pelo apoio e patrocínio da FCT, POCTI e FEDER, Projecto de Investigação POCTI/42806/ECM/2001.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Ho, S. K., “A Numerical Investigation into the Behaviour of Reinforced Soil Walls”. Ph.D. Thesis, University of Western Ontario, London, Canada, (1993), 408p.
- [2] Bathurst e Hatami, “Seismic Response Analysis of a Geosynthetic-Reinforced Wall”. Geosynthetics International, vol. 5, nos. 1-2, (1998), pp. 127-166.
- [3] Mendonça, António Agostinho Martins, “Metodologias de avaliação do comportamento de estruturas de suporte reforçadas com geossintéticos”, Dissertação de doutoramento, FEUP, Porto, (2004) (a aguardar defesa).
- [4] Mendonça, A., M-Lurdes Lopes, M. Pinho-Lopes (2003). “Construction and post-construction behaviour of a geogrid-reinforced steep slope”. Geotechnical and Geological Engineering, nº 23, (2003), pp. 129-147.
- [5] Portugal, J. C., “Modelação Física com Centrifugadora”. Dissertação para Doutoramento em Engenharia Civil no IST, Lisboa, Portugal, (1999).



universidade
de aveiro

ISBN 972-789-116-0



9 789727 891160