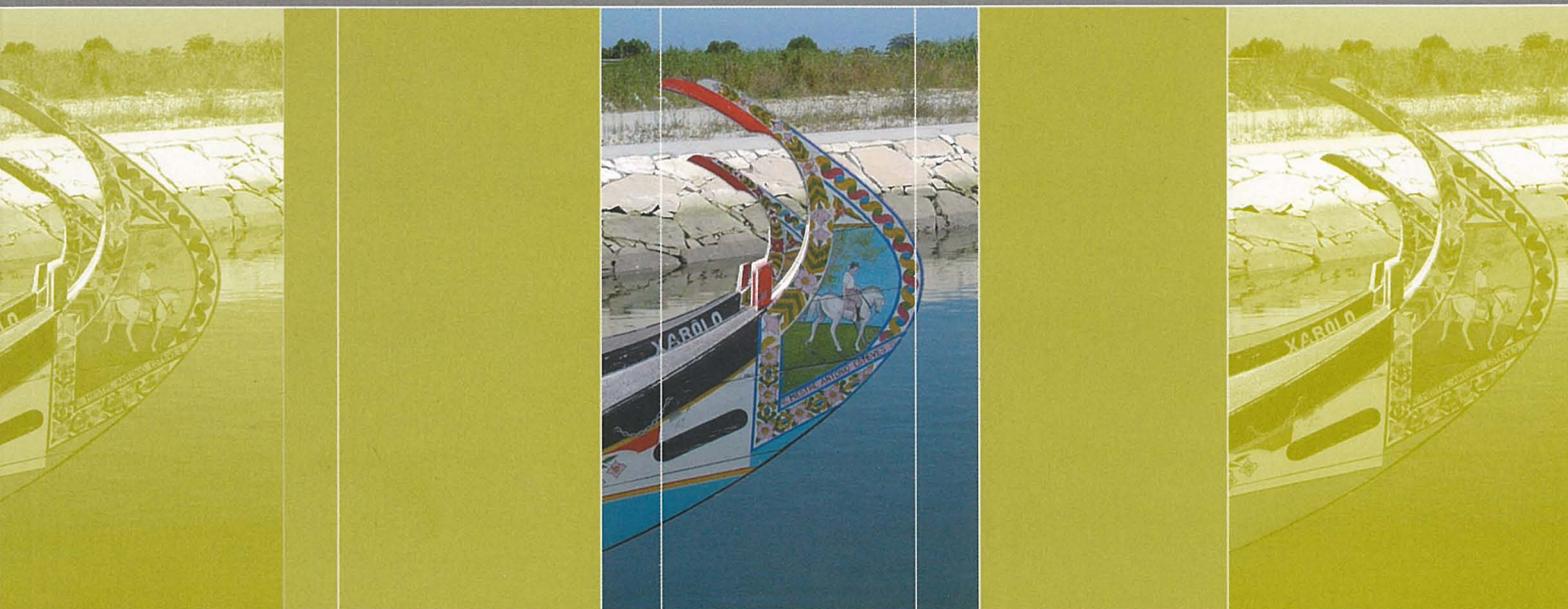




# 9.º Congresso Nacional de Geotecnia

20-23 de Abril de 2004 | Aveiro – Portugal



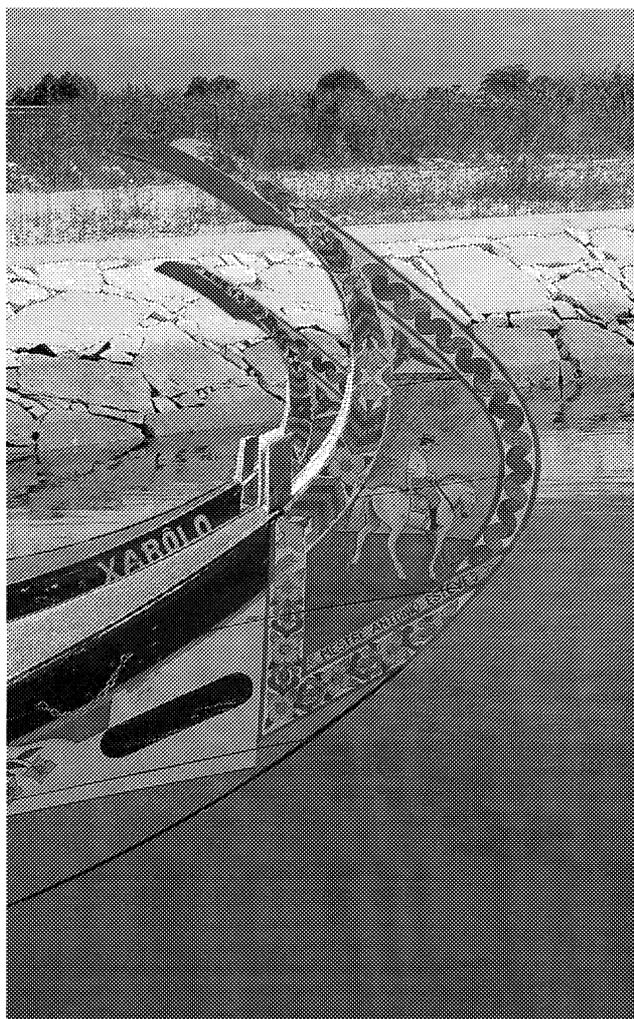
Passado, Presente e Futuro da Geotecnia

**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
PRESSIÓMETROS 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

# DANOS EM EDIFÍCIOS INDUZIDOS POR ESCAVAÇÕES

## EXCAVATION INDUCED BUILDING DAMAGE

Portugal, João, *LNEC, Lisboa, Portugal, portugal@lne.pt*  
Santo, Acácio, *COBA, Lisboa, Portugal, asanto@coba.pt*  
Portugal, Alexandre, *COBA, Lisboa, Portugal, acp@coba.pt*

### RESUMO

À realização de obras subterrâneas está associada a descompressão do meio escavado, que, invariavelmente, conduz ao desenvolvimento de uma bacia de subsidência à superfície do terreno. Assim, designadamente em meio urbano, põe-se o problema de avaliar as consequências dos movimentos de superfície sobre o património edificado aí existente. No artigo apresenta-se o método de Avaliação de Risco de Dano em Edifícios desenvolvido por Burland e ilustra-se a sua utilidade. Inicialmente trata-se o problema da estimativa dos movimentos superficiais induzidos por escavações (1), e consequentes efeitos sobre estruturas existentes (2). De seguida, apresenta-se a metodologia de avaliação de risco (3), cuja utilidade é finalmente ponderada (4).

### ABSTRACT

Ground decompression is usually associated to underground excavation, generally leading to subsidence of the surface. Consequences of such movements on existing buildings must be evaluated especially in urban areas. In this paper the Building Risk Assessment (BRA) method proposed by Burland is presented, its usefulness being illustrated. Initially, estimation of surface movement induced by excavations (1) and subsequent effects on existing structures (2) are treated. A method for risk assessment (3) is presented. The paper concludes with a discussion on its usefulness.

## 1. MOVIMENTOS SUPERFICIAIS INDUZIDOS POR ESCAVAÇÕES

### 1.1. Generalidades

À realização de obras subterrâneas está associada a descompressão do meio escavado, que, invariavelmente, conduz ao desenvolvimento de uma bacia de subsidência à superfície do terreno. Em cada ponto à superfície, a expressão desses movimentos depende da distância à escavação e da deformabilidade do meio interessado, sendo significativa no caso de escavações entre paredes para pontos na vizinhança da abertura, nomeadamente se o terreno escavado for constituído por solos. No caso de túneis, os movimentos superficiais são tanto maiores quanto menor a cobertura.

O primeiro passo para a Avaliação do Risco de Dano num Edifício consiste em determinar os perfis de deslocamento, ou curvas de subsidência, verticais e horizontais do terreno, à cota das fundações do edifício. Estes perfis dependem do tipo de escavação em causa.

A complexidade do comportamento das estruturas envolvidas em escavações mineiras, torna inviável qualquer tentativa de previsão das curvas de subsidência à custa de métodos simples. Tal previsão tem sempre que se basear numa análise específica, que atenda quer ao faseamento construtivo, quer à interação entre a estrutura e o terreno, pelo que é normalmente realizada recorrendo a métodos numéricos. No entanto, para geometrias de escavação simples, como por exemplo escavações entre paredes, é possível recorrer a métodos simplificados de previsão de movimentos superficiais. Dado o seu interesse prático descrevem-se de seguida esses métodos quer para o caso de escavações em túnel, quer para o caso de escavações correntes entre paredes.

### 1.2. Escavações em túnel

Para estimar os movimentos induzidos no terreno pela escavação de túneis recorre-se normalmente ao modelo empírico proposto por Schmidt e Peck [1], cuja validade é amplamente confirmada na literatura científica de referência. Admite-se que as leis de assentamentos ( $S$ ) e de deslocamentos horizontais ( $Sh$ ) são do tipo exponencial como se ilustra na Figura 1.

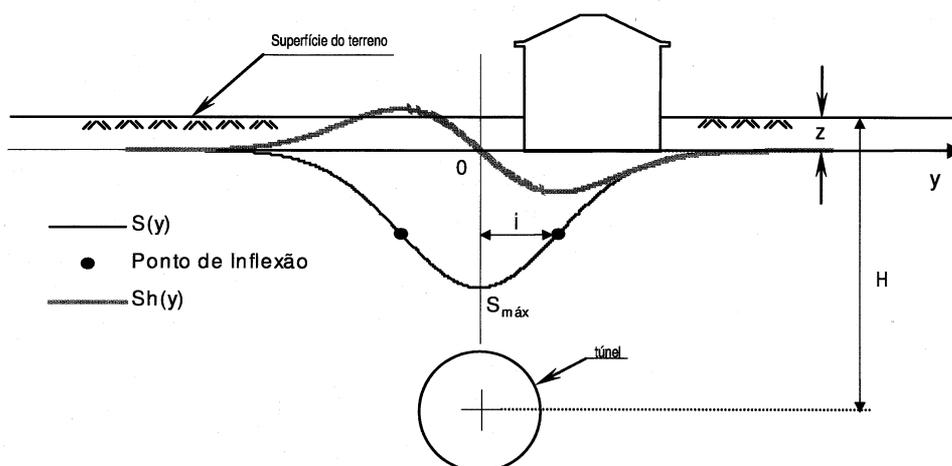


Figura 1 – Escavação em túnel

### 1.3. Escavações entre paredes

Para o caso de escavação entre paredes as curvas de subsidência induzidas no terreno dependem do modo de deformação das paredes. De acordo com Hsieh e Ou [2] há dois tipos de curvas de subsidência possíveis: i) no caso da parede se deformar essencialmente como uma consola (Figura 2), isto é, com deslocamentos horizontais máximos no topo, os assentamentos seguem uma lei parabólica com o máximo ocorrendo junto à parede – curva tímpano (Figura 4); ii) no caso da parede se deformar essencialmente como uma viga (Figura 3), isto é, com deslocamentos horizontais máximos no vão, admite-se que a lei de assentamentos é exponencial, do tipo da que se apresentou para a escavação em túnel, com o máximo ocorrendo a uma certa distância da parede – curva côncava (Figura 5).

Para a selecção do tipo de curva adopta-se o critério proposto por Hsieh e Ou [2]. Uma vez estabelecido o tipo de curva de subsidência há que quantificar as leis de deslocamentos. No caso da curva tímpano adopta-se o método proposto por Bowles [3]. As equações de deslocamentos quer verticais, quer horizontais são parábolas (Figura 4).

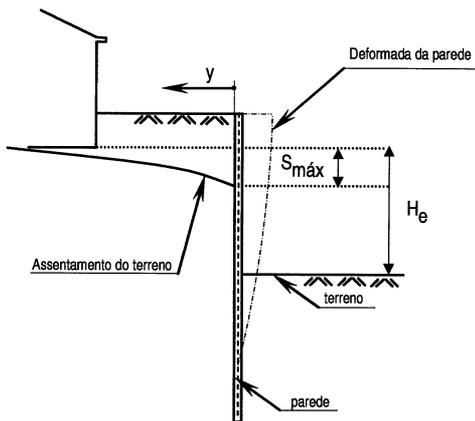


Figura 2 – Curva tímpano

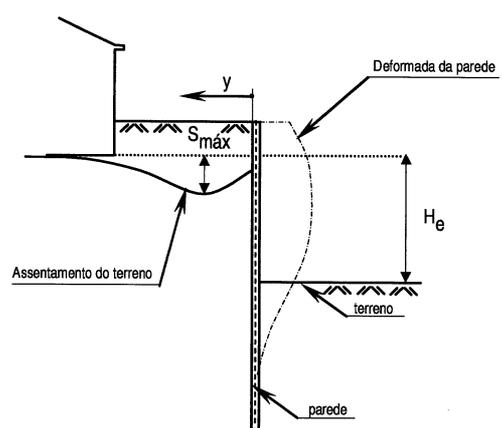


Figura 3 – Curva côncava

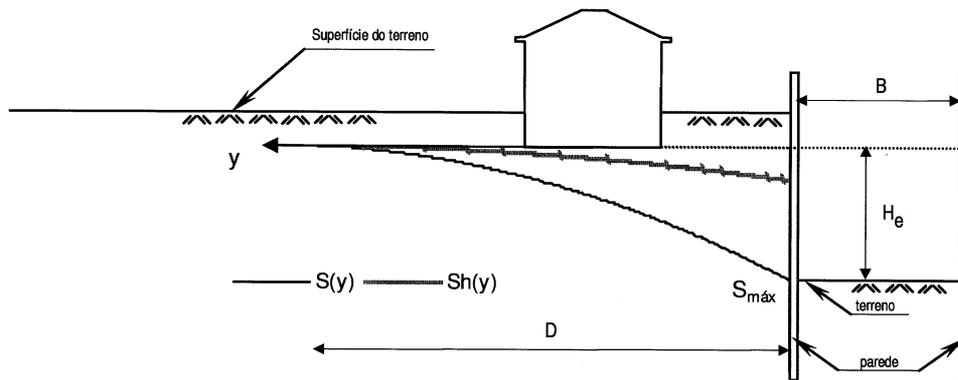


Figura 4 – Curvas de subsidência tipo tímpano

Na quantificação da curva côncava adota-se o método proposto por Hsieh e Ou [2]. As curvas de subsidência ilustram-se na Figura 5.

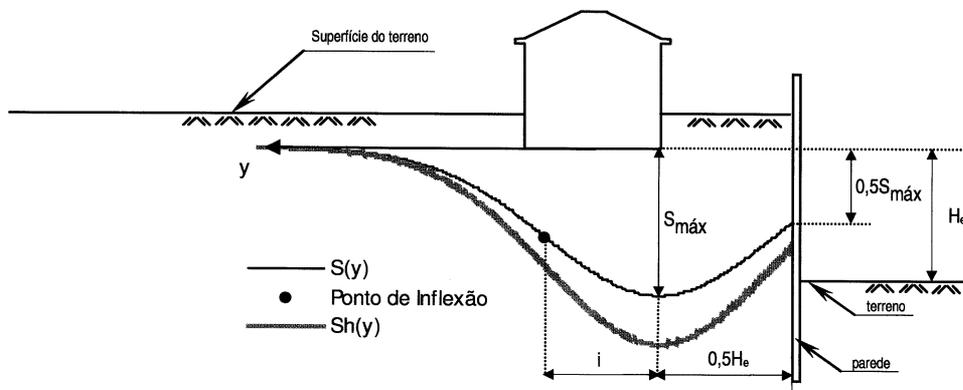


Figura 5 – Curvas de subsidência tipo côncava

Se o segmento de recta L não intersectar nenhum ponto de inflexão da curva de subsidência o edifício fica integralmente à compressão ( $L_C=L$ ;  $L_T=0$ ) ou à tracção ( $L_T=L$ ;  $L_C=0$ ). No caso geral (Figura 7) em que no comprimento L ocorre um ponto de inflexão da curva de assentamentos, parte do edifício ficará à tracção ( $L_T$  - Troço 1) e a outra à compressão ( $L_C$  - Troço 2). Para cada troço (i, com  $i = 1,2$ ) calcula-se a  $\epsilon_{m\acute{a}x,i}$ . A extensão de tracção máxima ( $\epsilon_{m\acute{a}x}$ ) a utilizar para efeitos da quantificação do risco de dano é -  $\epsilon_{m\acute{a}x} = \max \{\epsilon_{m\acute{a}x,i}\}$ , com ( $i=1,2$ ).

No caso do edifício se situar na zona de influência de mais do que uma escavação é efectuada a sobreposição dos respectivos efeitos. No caso de duas escavações ortogonais, o processo acima descrito é efectuado para cada uma das direcções e a extensão máxima a utilizar para quantificar o risco é a máxima obtida. No caso de duas escavações colineares as extensões devidas a cada uma são simplesmente somadas.

### 2.3. Cálculo do assentamento e distorção angular máximos

Para estruturas porticadas de betão armado, dotadas de fundações isoladas, é aplicável a Classificação de Rankin. A classificação utiliza como parâmetros de controlo (Figura 6) a distorção angular máxima sofrida pelo edifício ( $\beta_{m\acute{a}x}$ ) e o assentamento máximo ( $S_{m\acute{a}x}$ ). O cálculo destes parâmetros é realizado à custa de simples considerações geométricas como se ilustra na Figura 6, e só pode ser realizado quando se conhece com rigor a tipologia estrutural, nomeadamente a implantação detalhada das sapatas de fundação.

## 3. DETERMINAÇÃO DO RISCO DE DANO EM EDIFÍCIOS

### 3.1. Categorias de dano em edifícios

Para tipificar os danos em edifícios é normal distingui-los segundo três grandes categorias [7]: i) *danos estéticos* (ou de aparência visual); ii) *danos funcionais* (ou de funcionalidade) e; iii) *danos estruturais* (ou de estabilidade). No estabelecimento desta categorização atende-se não só ao tipo de dano propriamente dito, mas também à natureza das obras de reparação envolvidas para os obviar.

Assim, aos *danos estéticos* associam-se fenómenos de fissuração ligeira em elementos não estruturais (panos de enchimento, rebocos, revestimentos de piso, etc.) reparáveis com intervenções pouco onerosas. Os *danos funcionais* manifestam-se sob a forma de fissuras e rachadelas e outros danos em elementos estruturais e não estruturais que ponham em risco a segurança da estrutura do ponto de vista da sua utilização, mas que não envolvam a segurança última da edificação (perda de impermeabilidade de panos de enchimento, deformação excessiva de guarnições de vãos, canalizações danificadas ou não utilizáveis, etc.). Este tipo de danos requer intervenções de reparação demoradas e onerosas. Na categoria de *danos estruturais* incluem-se todos os que conduzam à possibilidade de ocorrência de um estado limite último da estrutura ou parte dela, como sejam a perda apreciável de capacidade resistente de elementos estruturais, a perda de equilíbrio de parte ou do conjunto da estrutura no seu todo, etc.. Neste caso aos danos associam-se reparações pesadas e muito onerosas, que requerem intervenções de reconstrução parcial ou total da estrutura.

### 3.2. Classificações de risco de danos. Vulnerabilidade dos edifícios

Nas classificações de risco de Burland e de Rankin pressupõe-se que os edifícios se apresentam em bom estado de conservação, isto é, sem qualquer tipo de danos anteriores à realização das obras de escavação. Ora, na realidade todos os edifícios experimentam deformações, pelo menos as resultantes de assentamentos do terreno de fundação induzidas pelo seu peso próprio e pelas sobrecargas de utilização. Assim, as deformações eventualmente introduzidas pela realização da obra subterrânea, acrescem a deformações previamente existentes e não estritamente nulas. Se as deformações prévias forem elevadas, um pequeno acréscimo introduzido pela obra de escavação, pode produzir efeitos drásticos que não são proporcionais à sua grandeza, e que não são expressos nas classificações de risco.

Assim, afigura-se indispensável proceder a uma quantificação das condições prévias em que se encontram os edifícios a estudar. Essa quantificação têm naturalmente um carácter subjectivo e essencialmente empírico. Uma das formas de a conseguir é à custa de um *Índice de Vulnerabilidade* [8], que se pretende ser uma característica intrínseca do edifício (estado de conservação, história de movimentos sofridos, danos registados, entre outros, mas independente dos factores externos que concorrem para os movimentos do terreno induzidos por uma obra de escavação na sua vizinhança). O Índice de Vulnerabilidade ( $I_V$ ) traduz o quanto o edifício em causa se afasta da condição ideal de perfeita conservação, ou seja, qual a sua vulnerabilidade. Quanto maior for a vulnerabilidade do edifício, menor é a sua capacidade para tolerar deformações induzidas por factores externos. Tendo por base o valor do índice de vulnerabilidade é possível estabelecer correcções às classificações de risco de dano [8].

As propostas para quantificar o índice de vulnerabilidade, consistem normalmente num processamento empírico das informações recolhidas nas campanhas de levantamento do estado de conservação dos edifícios. As características relevantes para determinar a sensibilidade dos edifícios a eventuais assentamentos são: i) características estruturais (tipo de estrutura, natureza de eventuais intervenções de reestruturação e número de caves do edifício); ii) características funcionais (tipologia de utilização do imóvel); iii) características estéticas (tipologia patrimonial; natureza das divisórias e revestimentos de alçados); iv) características de conservação (julgamento sobre o estado geral de conservação do imóvel, sinais de eventuais assentamentos e tipologia da eventual fissuração) e; v) caracterização da orientação e posição do imóvel em relação à obra de escavação. A cada uma destas características é atribuído um valor numérico e uma ponderação. O valor de  $I_V$  é o resultado do somatório dos valores numéricos ponderados, e varia entre 0 e 100.

Tendo por base o valor do  $I_V$  é feita uma correcção aos parâmetros de controlo limite das classificações de risco originais. Essa correcção pode ser realizada dividindo os parâmetros de controlo limite originais por um factor minorativo ( $F_R > 1$ ) que é função do  $I_V$ . O objectivo destas correcções é o de quantificar explicitamente nas classificações de risco o facto de: para a mesma deformação imposta ao nível do plano de fundação um edifício mais vulnerável ( $I_V$  superior) sofrer danos mais graves do que um edifício menos vulnerável ( $I_V$  inferior). Em termos das classificações de risco a contrapartida é assim de que, em condições de igualdade, a um edifício mais vulnerável ( $I_V$  superior) é atribuída uma classe de risco mais alta do que a correspondente a um edifício menos vulnerável ( $I_V$  inferior).

### 3.3. Avaliação do risco de danos em edifícios

As classificações de risco podem ser utilizadas para estabelecer um método de avaliação de risco de dano em edifícios, induzido por escavações. O método proposto [7] consiste em

determinar, para cada edifício na vizinhança da escavação, a respectiva categoria de risco. Em ambas as classificações, até à categoria 2 os danos são estéticos, isto é, a integridade estrutural não é posta em causa e os danos podem ser fácil e economicamente reparados. Assim, em ambas as classificações, o limite entre as categorias 2 e 3 é particularmente importante, uma vez que um dos objectivos a atingir no projecto e construção da escavação é manter o nível de risco dos edifícios interessados aquém desta fronteira.

Dado o elevado número de edifícios a analisar, o método de avaliação de risco proposto por Burland [7] é faseado e constituído pelas seguintes etapas: i) Fase 1 - *análise preliminar*; ii) Fase 2 - *avaliação de risco*; iii) Fase 3 - *avaliação de risco detalhada*.

Na Fase 1 - *análise preliminar*, tendo em vista limitar ao necessário o número de análises de risco a efectuar, adopta-se um procedimento simplificado e conservativo que consiste em distinguir os edifícios sujeitos a movimentos significativos daqueles que experimentam movimentos negligenciáveis. Para tanto traçam-se isolinhas de assentamento total ( $S$ ) e distorção angular ( $\beta$ ) obtidas através dos métodos descritos em 1, ou recorrendo aos resultados de cálculos disponíveis realizados no projecto. De acordo com Rankin [6] um edifício sujeito a uma distorção angular  $\beta$  inferior a  $1/500$  e a um assentamento total  $S$  inferior a  $10$  mm tem um risco negligenciável de sofrer qualquer tipo de dano. Adoptando como limites conservativos, por exemplo, os valores  $S = 5$  mm e  $\beta = 1/750$ , a combinação mais gravosa destas duas isolinhas permite limitar uma área, designada por faixa de controlo, onde existe risco de danos. Consegue-se assim distinguir explicitamente duas zonas: uma zona passível de ser afectada pelas escavações ( $S > 5$  mm;  $\beta > 1/750$ ) e outra onde os edifícios têm um risco negligenciável de sofrer danos (fora da faixa de controlo), pelo que não exigem uma avaliação de risco explícita na fase seguinte. Atente-se que esta abordagem é conservativa, uma vez que nela se utilizam movimentos superficiais e não os correspondentes ao plano de fundação dos edifícios, e se despreza a interacção solo/estrutura.

Da análise preliminar resulta assim a identificação dos edifícios cuja avaliação explícita de risco se torna necessária. A Fase 2 - *avaliação de risco* é conduzida de acordo com os pressupostos e métodos anteriormente descritos (2). Tendo por base o levantamento das características estruturais dos edifícios situados no interior da faixa de controlo (tipologia da estrutura e das fundações) a avaliação de risco é conduzida de acordo com a classificação de Burland ou Rankin, conforme os respectivos campos de aplicação. Nesta fase os parâmetros de controlo são calculados ao nível do plano de fundação dos edifícios.

Como resultado da avaliação de risco obtém-se uma categoria de risco para cada edifício no interior da faixa de controlo. Este resultado, se bem que consideravelmente mais elaborado que o obtido na avaliação preliminar, é ainda bastante conservativo. Efectivamente, na maior parte dos casos práticos os danos realmente observados são substancialmente menos gravosos que os associados às categorias de risco obtidas. Tal facto deve-se essencialmente à hipótese de cálculo de que as fundações se adaptam perfeitamente ao perfil de assentamento do terreno. Na realidade a rigidez dos edifícios é tal que as suas fundações interagem com o terreno, atenuando os movimentos experimentados.

Assim, tem que se proceder a uma *avaliação de risco detalhada* (Fase 3) em todos os edifícios onde se obtenha em Fase 2 uma categoria de risco igual ou superior a 3. Nesta fase há que refinar o cálculo dos parâmetros de controlo obtidos em Fase 2, introduzindo as características detalhadas do edifício em causa e do processo de escavação. A forma como se procede ao refinamento do cálculo varia de caso para caso, pelo que não é possível estabelecer uma metodologia genérica que sirva de base aos procedimentos de cálculo a adoptar. Muitas vezes nesta fase procede-se a análises de sensibilidade fazendo variar pressupostos de projecto

(propriedades do terreno, faseamento construtivo, etc.) por forma a identificar a sua influência sobre o nível de risco. Para edifícios particularmente importantes (por exemplo com vínculo histórico ou artístico) pode afigurar-se necessário proceder a análises numéricas específicas, que permitam explicitar a influência da sequência e métodos de escavação, da interação terreno/estrutura, da orientação dos edifícios em relação à obra de escavação, entre outros. Por outro lado, o estado de conservação dos edifícios tem agora que ser explicitamente tido em conta. O edifício pode já ter experimentado movimentos ao longo da sua vida, e anteriores à obra de escavação. É fundamental que os efeitos destes movimentos sejam contabilizados, uma vez que podem reduzir a tolerância a movimentos subsequentes.

Verifica-se assim, que grande parte dos factores que influenciam o resultado da análise que se pretende refinar, não são muitas vezes passíveis de introduzir, de forma precisa, nos cálculos a efectuar, pelo que a categoria de risco final requer sempre um julgamento subjectivo, baseado na informação disponível àcerca do edifício em causa e secundado pela experiência. Uma vez realizadas as três fases da avaliação de risco, e em função das categorias de risco obtidas, há que estabelecer as eventuais medidas de protecção do património edificado existente. Em princípio, estas medidas só são necessárias para os edifícios que apresentem categoria de risco igual ou superior a 3.

### **3.4. Acções a empreender em função das categorias de risco**

Sendo o objectivo da avaliação de risco a previsão do tipo de danos que cada uma das edificações poderá sofrer devido às escavações a realizar, como corolário dessa previsão, indicam-se, para os edifícios em que tal se revele necessário, as medidas a tomar durante a execução dos trabalhos.

Desde logo, os edifícios inseridos nas categorias de risco 0 a 1 não necessitam de quaisquer medidas de protecção preventivas. Para os outros (categorias de risco superiores a 1), as medidas que são possíveis prever são de três tipos fundamentais:

- i) reforço das medidas de monitorização, deixando para a fase de obra a eventual proposta de outras medidas (categorias de risco iguais ou superiores a 2);
- ii) indicação da necessidade de obras de consolidação e/ou reforço (categorias de risco iguais ou superiores a 3);
- iii) indicação da necessidade de alteração da própria solução adoptada para a execução da escavação (categorias de risco iguais ou superiores a 3).

Em qualquer caso os resultados da avaliação de risco devem ser ponderados no estabelecimento de limites de atenção e alerta dos sistemas de observação, uma vez que permitem relacionar a evolução dos valores das grandezas monitorizadas em obra com o nível de risco que lhes está associado. Tal facto permite não só analisar previamente cenários de evolução pessimistas, como desde logo preconizar contramedidas, a adoptar na eventualidade desses cenários se confirmarem em fase de obra. Resulta assim extremamente útil a actualização da avaliação de risco em função dos resultados da observação da obra, permitindo a todo o tempo a adopção de medidas correctivas.

## **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Apresentou-se o método de Avaliação de Risco de Dano em Edifícios desenvolvido por Burland. Inicialmente descreveram-se os métodos disponíveis para estimar os movimentos superficiais induzidos por escavações e o método de cálculo dos correspondentes efeitos sobre o património edificado existente. De seguida, apresentou-se a metodologia de avaliação de risco.

Conseguiu-se assim, estabelecer um procedimento sistemático e simplificado, de avaliação de risco de dano em edifícios, afectados pela construção de escavações na sua proximidade. Este procedimento, criteriosamente aplicado, permite tratar de forma racional o problema da avaliação das consequências sobre o edificado de intervenções no sub-solo. O seu resultado fundamental é o de distinguir de forma explícita os casos em que o risco de dano é maior, e assim apoiar a decisão de adoptar medidas correctivas, selectivas e adaptadas a cada uma das estruturas afectadas. Uma primeira aproximação a este resultado pode ser obtida desde logo na fase de projecto, o que se traduz numa dupla vantagem: por um lado centrar a atenção de todos os intervenientes nas zonas potencialmente mais problemáticas, por outro, adoptar planos de instrumentação e observação canalizando recursos para essas zonas.

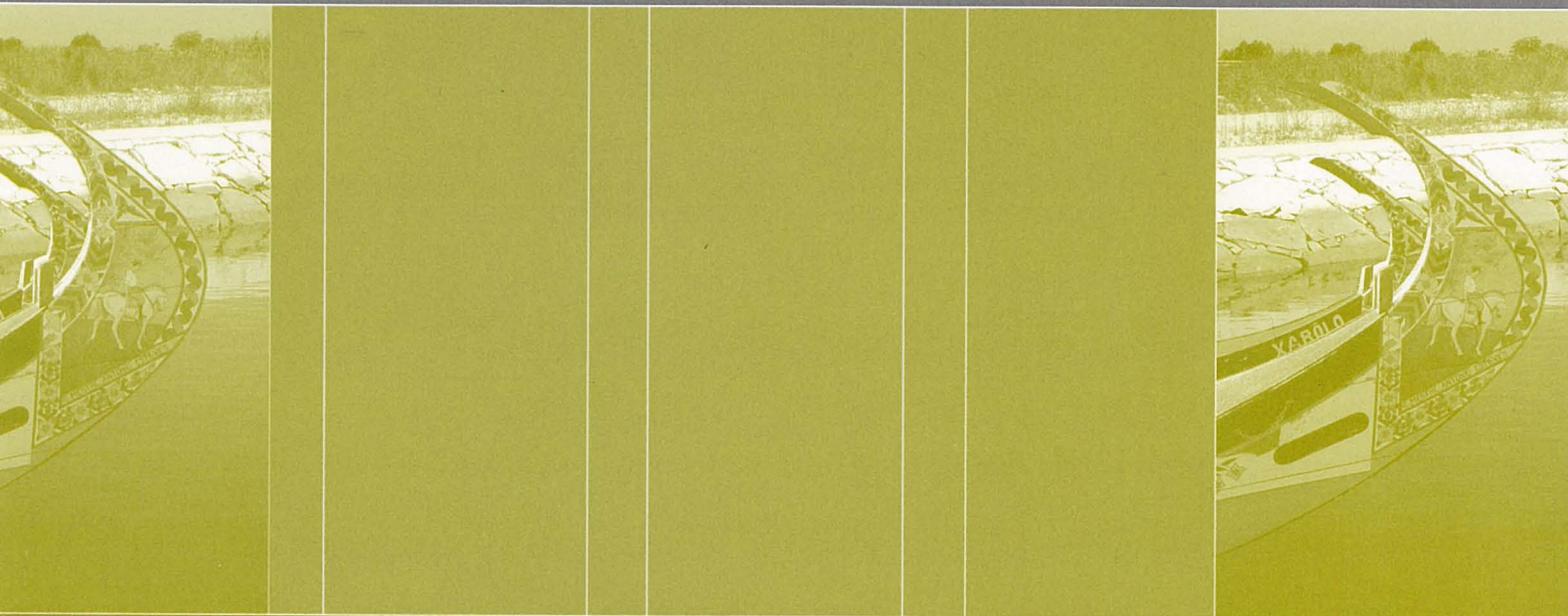
Acresce, que os resultados da avaliação de risco podem, e devem, ser ponderados para estabelecer limites de atenção e alerta dos sistemas de observação. Efectivamente, eles permitem relacionar a evolução dos valores das grandezas monitorizadas em obra com os níveis de risco que lhes são inerentes. Assim, é não só possível analisar previamente cenários de evolução pessimistas, mas também preconizar, desde logo, contramedidas, a adoptar na eventualidade desses cenários se confirmarem em fase de obra. Conclui-se que a actualização da avaliação de risco em função dos resultados da observação da obra se revela fundamental, por forma a que, em tempo, se adoptem eventuais medidas correctivas.

Do exposto a Avaliação de Risco de Dano em Edifícios afigura constituir-se uma importante ferramenta de apoio à decisão na realização de obras subterrâneas, designadamente as de grande dimensão interessando meios urbanos.

## 5. REFERÊNCIAS

- [1] Peck, R. B., Deep excavations and tunneling in soft ground, Proc. of the 7th ICSMFE, México, State-of-the-art Volume, 1969, pp. 225-290.
- [2] Hsieh, P.; Ou, C., Shape of ground surface settlement profiles caused by excavation, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 35, 1998, pp. 1014-1017.
- [3] Bowles, J. E., Foundation analysis and design, McGraw-Hill, 1990, pp. 803-806.
- [4] Burland, J. B.; Wroth, C. P., Settlement of buildings and associated damage, Review Paper: Session V, Proc. of the Conf. on Settlement of Structures, Cambridge, 1974, pp. 611-654.
- [5] Burland, J. B.; Broms, B. B.; de Mello, V. F., Behaviour of foundations and structures, Proc. of the 9th ICSMFE, Tokyo, State-of-the-art Volume, 1977, pp. 495-546.
- [6] Rankin, W. J., Ground movements resulting from urban tunnelling: predictions and effects, Eng. Geol. of Underground Movements, 1988.
- [7] Burland, J. B., Assessment of risk of damage to buildings due to tunnelling and excavation, Earthquake Geotechnical Engineering, Ishihara (ed.), Balkema, 1997, pp. 1189-1201.
- [8] Portugal, J. C.; Santo, A.; Portugal, A. C., Danos em edifícios induzidos por movimentos do terreno de fundação, Cadernos Edifícios nº 3, 2003, (no prelo).





universidade  
de aveiro

ISBN 972-789-116-0



9 789727 891160