



GUIA PARA PROJETOS DE TALUDES DE MINAS A CÉU ABERTO EM ROCHAS BRANDAS

GUIDELINES FOR OPEN PIT SLOPE DESIGN IN WEAK ROCKS







Editores: **Derek Martin e Peter Stacey**

GUIA PARA PROJETOS DE TALUDES DE MINAS A CÉU ABERTO EM ROCHAS BRANDAS

GUIDELINES FOR OPEN PIT SLOPE DESIGN IN WEAK ROCKS



Traduzido pela ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

São Paulo, 2025





2025, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental – ABGE

Av. Professor Almeida Prado, 532 – Prédio 59

Cidade Universitária – São Paulo – SP – CEP: 05508-901

Impresso no Brasil

Editores

Derek Martin e Peter Stacey

Projeto Gráfico, Diagramação e Capa

Rita Motta, André L. Dias – Editora Tribo da Ilha

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Guia para projetos de taludes de minas a céu aberto em rochas brandas = Guidelines for open pit slope design in weak rocks / [coordenação Delfino Luiz Gouveia Gambetti e Denise Amaral Santana ; traduzido pela ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental ; editores Derek Martin e Peter Stacey]. -- 24. ed. -- São Paulo : ABGE, 2025.

Ed. bilíngue: português/inglês.
ISBN 978-65-88460-45-0

1. Cava - Projeto e construção 2. Engenharia de minas 3. Mineração - Aspectos ambientais 4. Taludes (Mecânica dos solos) I. Gambetti, Delfino Luiz Gouveia. II. Santana, Denise Amaral. III. ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. IV. Martin, Derek. V. Stacey, Peter. VI. Título: Guidelines for open pit slope design in weak rocks.

25-275026

CDD-622.292

Índices para catálogo sistemático:

1. Mineração a céu aberto : Planejamento :
Engenharia de minas 622.292

Eliete Marques da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9380

Originalmente publicado na Austrália e Nova Zelândia

Como: GUIDELINES FOR OPEN PIT SLOPE DESIGN IN WEAK ROCKS

Por Editora CSIRO

Direito autoral de Derek Martin e Peter Stacey. Esta edição foi publicada com a permissão da CSIRO Publishing, Austrália e Nova Zelândia

A ABGE, os autores, integrantes de equipe, revisores e o editor não possuem responsabilidade de qualquer natureza por eventuais danos ou perdas a pessoas ou bens originados do uso desta publicação.

Todos os direitos reservados à ABGE





Sumário

Apresentação.....	15
Prefácio e agradecimentos.....	17
Sobre os editores.....	19
1. INTRODUÇÃO	21
<i>Peter Stacey e Derek Martin</i>	
1.1 Histórico	21
1.2 Descrições e definições gerais para rochas brandas.....	22
1.2.1 Sedimentos cimentados	23
1.2.2 Rochas sedimentares brandas	24
1.2.3 Saprólitos: rocha intemperizada e solo residual	25
1.2.4 Minérios de ferro friáveis e rochas lixiviadas.....	27
1.2.5 Rochas hidrotermalmente alteradas	27
1.3 Terminologia de projeto de taludes	28
1.3.1 Configurações de taludes.....	28
1.3.2 Instabilidade.....	29
1.3.2.1 Resposta ao descarregamento	29
1.3.2.2 Movimentação ou dilatação	29
1.3.2.3 Ruptura.....	29
1.4 Implicações no projeto.....	30
1.5 Implementação do projeto	32
2. COLETA DE DADOS EM CAMPO E METODOLOGIA	33
<i>Peter Stacey e Derek Martin</i>	
2.1 Introdução.....	33
2.2 Descrições gerais em campo	34
2.2.1 Estimativa de resistência em campo.....	34
2.2.2 Intemperismo e alteração.....	35
2.2.3 Rochas brandas sensíveis à umidade	35
2.2.4 Solos residuais e rochas intemperizadas	36
2.3 Mapeamento de campo.....	37
2.4 Perfilagem, amostragem e preservação das amostras	37
2.4.1 Armazenamento e registro fotográfico de testemunhos	37
2.4.2 Perfilagem	38
2.4.3 Descontinuidades e cisalhamento pelo plano de estratificação.....	38
2.4.4 Amostragem	40
2.4.4.1 Deformação das amostras	40
2.4.4.2 Sondagem rotativa e amostradores.....	40
2.4.4.3 Amostras tipo bloco	41
2.4.4.4 Preservação das amostras.....	41
2.5 Ensaios em laboratório	42
2.5.1 Métodos de ensaios de rotina	42
2.5.2 Ensaios de caracterização	43
2.5.2.1 Porosidade e índice de vazios	43
2.5.2.2 Distribuição granulométrica	43
2.5.2.3 Teor de umidade.....	44
2.5.2.4 Limites de Atterberg	45
2.5.2.5 Ensaios de durabilidade.....	46
2.5.3 Ensaios de resistência	46
2.5.3.1 Ensaios de carga pontual e penetração de agulha.....	46
2.5.3.2 Ensaios de tração	47
2.5.3.3 Ensaios de compressão uniaxial.....	48
2.5.3.4 Ensaios triaxiais	48
2.5.3.5 Ensaios de cisalhamento direto in situ	48
2.6 Caracterização in situ	48
2.6.1 Métodos de determinação de resistência e rigidez in situ	49
2.6.2 Métodos geofísicos	49





2.6.3	Ensaios geoquímicos.....	49
2.7	Resumo	51
3.	MODELOS DE RESISTÊNCIA DE ROCHAS BRANDAS.....	53
<i>Derek Martin e Peter Stacey</i>		
3.1	Introdução.....	53
3.2	Modelos geológicos e estruturais.....	53
3.2.1	Litologia e alteração	54
3.2.1.1	<i>Sedimentos cimentados.....</i>	<i>54</i>
3.2.1.2	<i>Rochas sedimentares brandas</i>	<i>54</i>
3.2.1.3	<i>Saprólitos</i>	<i>54</i>
3.2.1.4	<i>Minérios de ferro friáveis e rochas lixiviadas</i>	<i>55</i>
3.2.1.5	<i>Rochas hidrotermalmente alteradas.....</i>	<i>56</i>
3.2.2	Estruturas principais.....	56
3.2.3	Fábrica (<i>fabric</i>) estrutural	57
3.2.4	Sismicidade	57
3.3	Papel dos sistemas de classificação de maciços rochosos.....	57
3.4	Resistência ao cisalhamento e critérios de ruptura em ensaios de laboratório.....	59
3.4.1	Resistência ao cisalhamento e envoltórias de ruptura	59
3.4.2	Tensões e trajetória de tensões durante escavação a céu aberto.....	61
3.4.3	Fatores que afetam a resistência de rochas brandas	63
3.4.3.1	<i>Granulometria e densidade</i>	<i>63</i>
3.4.3.2	<i>Mineralogia</i>	<i>63</i>
3.4.3.3	<i>Teor de umidade.....</i>	<i>64</i>
3.4.3.4	<i>Porosidade.....</i>	<i>64</i>
3.4.3.5	<i>Anisotropia induzida pela fábrica (<i>fabric</i>)</i>	<i>65</i>
3.4.3.6	<i>Saturação e sucção</i>	<i>66</i>
3.4.3.7	<i>Fragilidade</i>	<i>66</i>
3.4.4	Ensaios laboratoriais em rochas brandas	66
3.4.4.1	<i>Métodos de ensaio.....</i>	<i>66</i>
3.4.4.2	<i>Resistência drenada, resistência não drenada e trajetória de tensões</i>	<i>68</i>
3.4.5	Comportamento das rochas brandas	70
3.4.5.1	<i>Uma envoltória de ruptura para uma rocha branda de baixa coesão.....</i>	<i>71</i>
3.4.5.2	<i>Uma envoltória de ruptura em conglomerados cimentados</i>	<i>73</i>
3.4.6	Resistência ao cisalhamento anisotrópica	75
3.4.7	Resistência parcialmente saturada	76
3.4.8	Resposta hidromecânica durante a lavra.....	79
3.5	Erodibilidade/degradabilidade.....	82
4.	O PAPEL DA ÁGUA NO PROJETO DE TALUDES EM ROCHAS BRANDAS	83
<i>Geoff Beale</i>		
4.1	Introdução.....	83
4.2	Histórico hidrogeológico.....	84
4.2.1	Classificação geral	84
4.2.2	Discussão sobre parâmetros básicos	85
4.2.2.1	<i>Porosidade.....</i>	<i>85</i>
4.2.2.2	<i>Permeabilidade e difusividade.....</i>	<i>87</i>
4.2.2.3	<i>Teor de umidade.....</i>	<i>88</i>
4.2.2.4	<i>Diferenças entre rochas brandas e rochas resistentes.....</i>	<i>88</i>
4.2.3	Águas subterrâneas não confinadas e confinadas.....	88
4.2.3.1	<i>Armazenamento de águas subterrâneas não confinadas.....</i>	<i>89</i>
4.2.3.2	<i>Armazenamento confinado (elástico) de águas subterrâneas</i>	<i>89</i>
4.2.4	Poropressão	89
4.2.4.1	<i>Poropressão em relação ao lençol freático.....</i>	<i>89</i>
4.2.4.2	<i>Gradientes hidráulicos verticais.....</i>	<i>90</i>
4.2.4.3	<i>Poropressão acima do lençol freático</i>	<i>91</i>
4.2.4.4	<i>Impacto da poropressão na resistência ao cisalhamento.....</i>	<i>91</i>
4.2.5	Acoplamento hidromecânico.....	91
4.2.6	<i>Piping</i>	<i>92</i>
4.2.7	<i>Falha Gouge.....</i>	<i>93</i>
4.3	Caracterização de águas subterrâneas	93
4.3.1	Geral	93
4.3.2	Definição das metas	93
4.3.3	Coleta e compilação de dados.....	94
4.3.3.1	<i>Introdução</i>	<i>94</i>
4.3.3.2	<i>Coleta de dados</i>	<i>95</i>





4.3.3.3	Ensaios em um único furo	96
4.3.3.4	Ensaios cross-hole	97
4.3.3.5	Monitoramento de poropressões	98
4.3.3.6	Monitoramento geotécnico e de poropressão integrado	99
4.3.3.7	Compilação de dados	100
4.4	Desenvolvimento de um modelo hidrogeológico conceitual	101
4.4.1	Geral	101
4.4.2	Modelo em escala regional e de mina	101
4.4.2.1	Geologia	101
4.4.2.2	Hidrologia	101
4.4.2.3	Hidráulica	102
4.4.3	Modelo em escala setorial	102
4.5	Análise e modelagem de poropressão	103
4.5.1	Definição de metas	103
4.5.2	Entrada de dados de poropressão na análise geotécnica	104
4.5.2.1	Análise R_v	104
4.5.2.2	Superfícies freáticas	104
4.5.2.3	Malhas de poropressão	104
4.5.3	Análise de poropressões	104
4.5.4	Planejamento de modelos numéricos	105
4.5.5	Inclusão de acoplamento hidromecânico	106
4.5.6	Desenvolvimento de modelos numéricos	107
4.6	Despressurização de rochas brandas	108
4.6.1	Importância do tempo	108
4.6.2	Importância da recarga	108
4.6.3	Métodos para despressurização de rochas brandas	109
4.6.3.1	Faces de surgência	109
4.6.3.2	Drenos horizontais	110
4.6.3.3	Monitoramento durante a instalação de drenos	112
4.6.3.4	Drenos verticais ou inclinados	113
4.6.3.5	Poços de bombeamento	113
4.6.3.6	Túneis de drenagem	114
4.6.3.7	Melhoria da drenagem interna à cava	114
4.7	Caracterização de águas superficiais	115
4.7.1	Fontes de águas superficiais	116
4.7.2	Estimativa de vazões	116
4.7.2.1	Cursos d'água de maior porte que requerem desvios externos	116
4.7.2.2	Pequenas bacias de contribuição	116
4.7.2.3	Escoamento superficial no interior da cava	117

5. CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETO DE TALUDES 119

Derek Martin, Loren Lorig e Peter Stacey

5.1	Introdução	119
5.2	Modos de ruptura	121
5.2.1	Modos primários	123
5.2.1.1	Escorregamento ao longo de uma camada/interface de baixa resistência	123
5.2.1.2	Escorregamento ao longo de uma superfície de cisalhamento desenvolvida em maciço de rocha branda	123
5.2.2	Modos secundários	123
5.2.2.1	Rupturas envolvendo estruturas reliquias/existentes	123
5.3	Mecanismos de instabilidade	123
5.3.1	Processos de perda de coesão	124
5.3.1.1	Amolecimento	124
5.3.1.2	Ruptura progressiva	124
5.3.1.3	Afrouxamento	125
5.3.2	Planos de fraqueza em depósitos estratificados	125
5.3.3	Colapso em rochas brandas de alta porosidade	126
5.3.4	Resumo de mecanismos de instabilidade	127
5.4	Análises de estabilidade e previsões	128
5.4.1	Abordagens	128
5.4.2	Análise sísmica	130
5.5	Análises de equilíbrio limite	130
5.5.1	Métodos LEM	130
5.5.2	Papel do Fator de Segurança	132
5.5.3	Deformações e Fator de Segurança	132
5.5.4	A superfície de deslizamento postulada	133





5.5.5	Anisotropia	133
5.6	Abordagens numéricas	133
5.6.1	Papel dos modelos numéricos	133
5.6.2	Modelos contínuos	134
5.6.2.1	Modelos de materiais isotrópicos.....	134
5.6.2.2	Modelos de materiais anisotrópicos.....	134
5.6.3	Modelos descontínuos	135
5.6.4	Simulação de modos comuns de comportamento em modelos numéricos.....	135
5.6.4.1	Elasto-perfeitamente plástico	135
5.6.4.2	Perda de coesão.....	136
5.6.4.3	Planos de fraqueza em depósitos estratificados	136
5.6.4.4	Colapso volumétrico	137
5.6.5	Poropressões.....	138
5.6.5.1	Análise transiente.....	139
5.6.5.2	Análise não drenada.....	139
5.6.5.3	Análise não drenada e cisalhamento pelo plano de estratificação.....	140
5.6.6	Redução da resistência ao cisalhamento	141
5.6.7	Aplicação de modelos numéricos	142
5.6.7.1	Análise 2D versus 3D.....	142
5.6.7.2	Contornos	142
5.6.7.3	Tamanho dos setores	143
5.6.7.4	Condições iniciais	143
5.6.7.5	Sequência de escavação	144
5.6.7.6	Interpretação de resultados numéricos	144
5.6.7.7	Análise de grandes deformações	145
5.6.8	Resumo de abordagens numéricas.....	145
5.7	Papel da retroanálise	146
5.8	Critérios de aceitação.....	147
5.8.1	Projeto baseado em limites (pré-viabilidade).....	148
5.8.2	Projeto baseado em desempenho durante as operações.....	148
5.9	Resumo	149

6. SEDIMENTOS CIMENTADOS 151

Derek Martin e Peter Stacey

6.1	Introdução.....	151
6.2	Contexto geológico geral.....	151
6.2.1	Geologia.....	151
6.2.2	Geologia estrutural	152
6.3	Hidrogeologia	153
6.3.1	Depósitos do tipo bacia e cordilheira	153
6.3.2	Sedimentos estratificados cimentados: Formação Carlin	154
6.4	Propriedades geotécnicas gerais	155
6.4.1	Sedimentos estratificados cimentados	155
6.4.2	Cascalhos cimentados	155
6.5	Considerações sobre projeto de taludes.....	156
6.6	Mina a céu aberto Goldstrike Betze-Post, Nevada: instabilidade na Formação Carlin.....	156
6.6.1	Introdução	156
6.6.2	Geologia.....	157
6.6.3	Histórico do desenvolvimento da parede leste.....	157
6.6.4	Geologia de engenharia.....	158
6.6.5	Hidrogeologia.....	158
6.6.6	Ensaio de laboratório e propriedades de resistência e dos materiais	159
6.6.7	Análise e projeto do talude da expansão Nordeste.....	159
6.6.8	Modelagem numérica de deformação de taludes em profundidade	160
6.6.9	Instabilidade na Formação Carlin	161
6.6.10	Instabilidade contínua, monitoramento e recuperação.....	161
6.6.11	Controle de movimentação de talude na Formação Carlin.....	161
6.6.12	Conclusões	162
6.7	Ruptura do talude Nine Points na mina a céu aberto Gold Quarry da Newmont.....	162
6.7.1	Introdução	162
6.7.2	Geologia.....	163
6.7.3	Hidrogeologia.....	163
6.7.4	Instabilidade do talude Midway	164
6.7.5	Instabilidade do talude Nine Points em abril de 2009.....	165
6.7.6	Comportamento da instabilidade Nine Points após abril de 2009	165
6.7.7	Ruptura de dezembro de 2009	166
6.7.8	Investigação geológica e atualização do modelo	167





6.7.9	Resultados iniciais da modelagem de taludes	167
6.7.10	Resultados da sondagem geotécnica	167
6.7.11	Resultados da hidrogeologia	167
6.7.12	Resultados da resistência dos materiais	168
6.7.13	Projeto de recuperação de taludes	168
6.7.14	Resumo das lições aprendidas	169
6.8	Visão geral da experiência da mineração a céu aberto em cascalhos cimentados (aluviais) encontrados no sudoeste dos Estados Unidos	170
6.8.1	Geral	170
6.8.2	Contexto geológico para cascalhos cimentados do sudoeste dos Estados Unidos	171
6.8.3	Caracterização das propriedades dos materiais	173
6.8.3.1	Amostragem	174
6.8.3.2	Distribuição granulométrica	174
6.8.3.3	Tensão-deformação e comportamento de mudança de volume	174
6.8.3.4	Efeitos de escala e resistência ao cisalhamento	175
6.8.3.5	Retroanálises	177
6.8.3.6	Parâmetros de resistência ao cisalhamento aplicados	177
6.8.3.7	Deformação	178
6.8.4	Hidrogeologia	179
6.8.5	Desempenho de taludes de mina	179
6.8.5.1	Mina Ruby Hill	179
6.8.5.2	Mina de Ouro Cortez	180
6.8.5.3	Mina Twin Creeks	181
6.8.5.4	Alturas e ângulos conforme construídos	182
6.8.6	Considerações de projeto	183
6.8.6.1	Caracterização	183
6.8.6.2	Resistência ao cisalhamento	184
6.8.7	Considerações operacionais	184
6.8.8	Desempenho de taludes	184
6.9	Mina Ministro Hales, Codelco: ruptura de bancadas em cascalhos maciços	185
6.9.1	Histórico	185
6.9.2	Caracterização	185
6.9.2.1	Caracterização geotécnica	185
6.9.2.2	Ensaios	186
6.9.3	Descrição da ruptura	190
6.9.3.1	Plano de ruptura	190
6.9.3.2	Monitoramento da ruptura	190
6.9.4	Retroanálise	191
6.9.5	Mudança proposta para a geometria das bancadas	192
6.9.6	Conclusões e recomendações	192
	Agradecimentos	192

7. ARGILITOS SEDIMENTARES BRANDOS 193

Derek Martin e Peter Stacey

7.1	Introdução	193
7.2	Contexto geológico geral	193
7.2.1	Geologia	193
7.2.2	Geologia estrutural	194
7.3	Hidrogeologia	194
7.3.1	Argilitos	194
7.3.2	Boratos	195
7.4	Propriedades geotécnicas gerais	195
7.4.1	Terminologia	195
7.4.2	Microfábrica (Micro-fabric), macrofábrica (macro-fabric), fissuras e cisalhamentos pelo plano de estratificação	195
7.4.3	Mineralogia e plasticidade	196
7.4.4	Resistência, módulo e umidade	197
7.4.5	Empolamento, amolecimento e deformações dependentes do tempo	198
7.4.6	Parâmetros de classificação	199
7.5	Considerações sobre projeto de taludes	199
7.5.1	Cinemática de ruptura	199
7.5.2	Projeto	200
7.6	Mina Voorspoed, África do Sul: mina a céu aberto de diamantes em argilito brando	200
7.6.1	Introdução	200
7.6.2	Contexto geológico	200
7.6.3	Desempenho do talude	202
7.6.4	Estudo de viabilidade e domínios geotécnicos atuais	204





7.6.5	Base de dados de ensaios em laboratório e informações de descrições de testemunhos	205
7.6.6	Precipitação e água subterrânea	208
7.6.7	Mecanismos hipotéticos de ruptura	209
7.6.7.1	<i>Ruptura clássica por cisalhamento de maciço rochoso</i>	209
7.6.7.2	<i>Ruptura em grandes falhas</i>	209
7.6.7.3	<i>Ruptura basal em blocos deformados ou inclinados na zona deformada</i>	210
7.6.7.4	<i>Ruptura basal e camadas de argila</i>	210
7.6.8	Resumo dos mecanismos de ruptura em Voorspoed e consequências no projeto	211
7.6.9	Estratégia de gestão de riscos	212
7.6.10	Projeto futuro e estratégia de lavra	212
7.6.10.1	<i>Minimização do impacto de material rompido em frentes de lavra</i>	213
7.6.10.2	<i>Mitigação do risco de perda de acesso</i>	213
7.6.11	Conclusões	214
7.7	Mina da Rio Tinto Minerals em Boron: considerações de projeto para rochas sedimentares brandas de ambiente lacustre	215
7.7.1	Introdução	215
7.7.2	Geologia	215
7.7.3	Hidrogeologia	216
7.7.4	Resistências do maciço rochoso e considerações de projeto	217
7.7.4.1	<i>Substância rochosa e resistências do maciço rochoso</i>	217
7.7.5	Considerações de projeto	219
7.7.6	Conclusões	224
	Agradecimentos	225

8. CARVÃO, GIZ E CALCÁRIO SEDIMENTARES BRANDOS 227

John Simmons, Patrick Ebeling e Peter Stacey

8.1	Introdução	227
8.2	Contexto geológico geral	227
8.2.1	Geologia	227
8.2.2	Geologia estrutural	227
8.2.3	Propriedades dos materiais	228
8.3	Considerações sobre projeto de taludes	228
8.3.1	Modos de ruptura típicos	228
8.3.1.1	<i>Controle de estratificação</i>	229
8.3.1.2	<i>Resistência do maciço rochoso</i>	229
8.3.2	Projetos de taludes	229
8.3.2.1	<i>Lapas (Footwalls)</i>	229
8.3.2.2	<i>Capas (hangingwalls) e paredes laterais</i>	229
8.4	Camadas carboníferas brandas	229
8.4.1	Visão geral	229
8.4.2	Desenvolvimento de modelos empíricos de resistência ao cisalhamento de maciços rochosos	230
8.4.3	Interpretação das condições das águas subterrâneas em maciços de camadas de carvão	231
8.4.4	Lavra a céu aberto em larga escala em maciços rochosos de baixa resistência nos Projetos PT Kaltim Prima Coal Sangatta e Bengalon	233
8.4.4.1	<i>Visão geral regional</i>	233
8.4.4.2	<i>Litologia e estrutura em escala de mina</i>	234
8.4.4.3	<i>Materiais rochosos e caracterização do maciço rochoso</i>	234
8.4.4.4	<i>Características de defeitos do maciço rochoso</i>	237
8.4.4.5	<i>Hidrogeologia</i>	238
8.4.4.6	<i>Exemplos de desempenho de taludes de mina</i>	238
8.4.5	Condições geotécnicas para a lavra de rochas carboníferas da Bacia Sedimentar do Oeste do Canadá	243
8.4.5.1	<i>Estrutura geológica</i>	243
8.4.5.2	<i>Estrutura geológica</i>	244
8.4.5.3	<i>Propriedades geotécnicas</i>	245
8.4.5.4	<i>Condições hidrogeológicas</i>	246
8.4.5.5	<i>Descrição geral de experiências com desempenho de taludes</i>	246
8.5	Giz e calcários brandos	247
8.5.1	Introdução	247
8.5.2	Geologia geral e classificação	247
8.5.2.1	<i>Giz</i>	247
8.5.2.2	<i>Calcários brandos</i>	247
8.5.3	Amostragem	249
8.5.4	Propriedades dos materiais	249
8.5.4.1	<i>Giz</i>	249
8.5.4.2	<i>Calcários brandos</i>	251





8.5.5	Hidrogeologia.....	252
8.5.6	Estudos de caso	252
8.5.6.1	Lägerdorf.....	252
8.5.6.2	Dannes	252
8.5.6.3	Mina a céu aberto de Talacogon.....	253
8.5.7	Projetos de taludes.....	254
8.5.7.1	Investigações e caracterização de depósitos.....	255
8.5.7.2	Variabilidade dos dados	255
8.5.8	Implementação do projeto.....	255
8.5.8.1	Despressurização de taludes e rebaixamento do lençol freático na cava	255
8.5.8.2	Métodos de lavra	256
9.	SAPRÓLITO: ROCHA INTEMPERIZADA E SOLO RESIDUAL	257
	<i>Derek Martin e Peter Stacey</i>	
9.1	Introdução.....	257
9.2	Terminologia.....	258
9.2.1	Saprólito	259
9.2.2	Pedolito	259
9.3	Processos de intemperismo e geologia	260
9.3.1	Intemperismo químico.....	260
9.3.2	Intemperismo físico	261
9.3.3	Taxas de intemperismo	261
9.3.4	Influência da rocha-mãe.....	261
9.3.4.1	Rochas ígneas	261
9.3.4.2	Rochas sedimentares.....	261
9.3.4.3	Rochas metamórficas	262
9.3.5	Exemplos de perfis de intemperismo	263
9.4	Propriedades geotécnicas gerais	264
9.4.1	Descrições de intemperismo.....	265
9.4.2	Composição e estrutura em profundidade.....	266
9.4.3	Efeito do intemperismo na resistência	266
9.4.3.1	Resistência intacta.....	267
9.4.3.2	Ligação: coesão e escoamento.....	268
9.4.3.3	Resistência residual	269
9.4.3.4	Resistência ao cisalhamento de estrutura reliquiar e anisotropia	269
9.4.3.5	Resistência ao cisalhamento não saturada	271
9.4.3.6	Ensaio de resistência multiestágios	271
9.5	Hidrogeologia	271
9.5.1	Perfis de hidrogeologia típicos	271
9.5.2	Rebaixamento.....	272
9.5.3	Observações de hidrogeologia na mina de ouro Rosebel	274
9.6	Considerações sobre projeto de taludes.....	275
9.6.1	Cinemática de ruptura	275
9.6.2	Projeto	275
9.6.3	Implementação do projeto.....	277
9.7	Mina de ouro Cowal: retroanálise	277
9.7.1	Introdução	277
9.7.2	Geologia.....	278
9.7.3	Avaliações de estabilidade de taludes (pré-lavra).....	278
9.7.3.1	Premissas de lençol freático (pré-lavra)	278
9.7.3.2	Avaliações de estabilidade (pré-lavra).....	280
9.7.4	Lavra	280
9.7.5	Instabilidade da parede leste.....	280
9.7.6	Retroanálise.....	281
9.7.7	Comentários sobre os resultados da retroanálise	282
9.7.8	Conclusões	283
9.8	Newmont Boddington Gold: otimização de projeto de taludes em material oxidado/saprólito.....	284
9.8.1	Introdução	284
9.8.2	Aspectos locais	285
9.8.2.1	Clima	285
9.8.2.2	Geologia regional.....	285
9.8.2.3	Geologia local.....	285
9.8.2.4	Condições geotécnicas da área	286
9.8.3	Material oxidado na NBG.....	287
9.8.4	Rupturas de taludes em material intemperizado na NBG	287
9.8.5	Ensaio em laboratório de material intemperizado/saprólito na NBG	288
9.8.6	Condições do lençol freático	289





9.8.7	Avaliação geotécnica para projeto de taludes em material intemperizado/saprólito.....	290
9.8.8	Otimização de projeto de taludes em material intemperizado/saprólito na NBG	291
9.8.9	Drenagem superficial em taludes em material intemperizado	291
9.8.10	Resumo	292
	Agradecimentos	293

10. MINÉRIOS DE FERRO FRIÁVEIS E OUTRAS ROCHAS LIXIVIADAS 295

Paulo Franca, Teófilo Costa e Peter Stacey

10.1	Introdução.....	295
10.2	Histórico	295
10.3	Minérios de ferro friáveis: geologia.....	296
10.3.1	Litologia	296
10.3.2	Alteração.....	297
10.3.3	Estrutura	298
10.4	Minérios de ferro friáveis: características geotécnicas	298
10.4.1	Definições	299
10.4.2	Caracterização em campo	300
10.4.3	Caracterização e ensaios em laboratório.....	302
10.4.3.1	Coleta e preparação de amostras.....	302
10.4.3.2	Granulometria e porosidade.....	303
10.4.3.3	Ensaio de resistência ao cisalhamento	303
10.4.3.4	Colapso.....	306
10.4.3.5	Discussão sobre estimativas de resistência.....	307
10.4.4	Conclusões	309
10.5	Rochas encaixantes intemperizadas	309
10.5.1	Intemperismo e resistência.....	309
10.5.2	Caracterização.....	311
10.5.2.1	Litologia/texturas	311
10.5.2.2	Alteração/intemperismo	311
10.5.2.3	Resistência/consistência	312
10.5.2.4	Anisotropia.....	312
10.5.2.5	Erodibilidade.....	313
10.5.2.6	Resumo.....	314
10.5.3	Parâmetros de resistência.....	314
	Por Paulo Cella e Rodrigo Pelluci.....	314
10.5.3.1	Estimativa em campo da resistência da rocha	314
10.5.3.2	Resistência em laboratório: resumo das rochas encaixantes do Quadrilátero Ferrífero.....	315
10.6	Hidrogeologia de minérios de ferro friáveis e rochas associadas.....	317
10.6.1	Hidrogeologia no Quadrilátero Ferrífero do Brasil	317
10.6.1.1	Xistos (Grupo Nova Lima, Embasamento)	317
10.6.1.2	Quartzitos (Formação Moeda)	318
10.6.1.3	Filitos dolomíticos e sericíticos (Formação Batatal)	318
10.6.1.4	Minérios de ferro friáveis (Formação Cauê)	318
10.6.1.5	Resumo.....	320
10.6.2	Desaguamento e despressurização de taludes.....	320
10.6.3	Hidrogeologia de Carajás	320
10.6.3.1	Minérios de ferro friáveis (Formação Carajás).....	320
10.6.3.2	Rochas vulcânicas máficas	321
10.6.3.3	Cangas	321
10.6.3.4	Resumo.....	321
10.7	Quartzitos lixiviados e sedimentos quartzíticos	321
10.8	Desempenho de taludes e estudos de caso.....	321
10.8.1	Introdução	321
10.8.1.1	Desempenho de taludes em minério de ferro macio.....	322
10.8.1.2	Rochas encaixantes associadas.....	322
10.8.2	Patrimônio: retroanálise.....	322
10.8.2.1	Geral.....	322
10.8.2.2	Descrição da ruptura.....	323
10.8.2.3	Análise da ruptura.....	323
10.8.3	Carajás: rupturas dos taludes sul e sudeste da cava N4E	326
10.8.4	Mina Pau Branco Mine – Quadrilátero Ferrífero, Estado de Minas Gerais: filitos intemperizados associados a minérios de ferro friáveis	326
10.8.5	Mina do Pico: uma avaliação do mecanismo de tombamento flexural em filito brando.....	329
10.8.5.1	Introdução	329
10.8.5.2	Histórico de instabilidades	330
10.8.5.3	Avaliação do mecanismo de tombamento	330





10.8.5.4	Métodos de equilíbrio limite.....	332
10.8.5.5	Conclusões.....	334
11.	ROCHAS HIDROTHERMALMENTE ALTERADAS.....	335
Peter Stacey e Derek Martin		
11.1	Introdução.....	335
11.2	Contexto geológico geral.....	335
11.2.1	Depósitos ígneos	336
11.2.2	Depósitos epitermais	336
11.2.3	Geologia estrutural	337
11.3	Propriedades geotécnicas	337
11.3.1	Descrição e classificação	338
11.3.2	Resistência e deformação	338
11.4	Hidrogeologia	339
11.5	Estabilidade de taludes e geologia de engenharia na Mina Pierina	340
11.5.1	Introdução	340
11.5.2	Geologia de engenharia.....	340
11.5.3	Experiência de estabilidade de taludes.....	341
11.5.3.1	Instabilidade P2-00-B.....	342
11.5.4	Análise de estabilidade e fator de perturbação (D)	345
11.5.5	Escoamento superficial e hidrogeologia	345
11.5.6	Monitoramento dos taludes da mina.....	346
11.5.7	Resultados e conclusões	347
11.6	Instabilidade em rochas brandas, talude norte da Cava El Tapado, Operação Yanacocha	347
11.6.1	Introdução	347
11.6.2	Condições do local.....	347
11.6.2.1	Topografia e clima.....	347
11.6.2.2	Geologia geral e descrição do corpo de minério.....	348
11.6.2.3	Características gerais das rochas brandas na Operação Yanacocha	349
11.6.3	Fase 2 da Cava El Tapado	350
11.6.3.1	Caracterização geotécnica	350
11.6.3.2	Parâmetros de projeto de taludes da Cava ET (Fase 2)	352
11.6.3.3	Desaguamento	352
11.6.4	Instabilidade profunda (deep-seated) no talude norte	353
11.6.4.1	Caracterização	353
11.6.4.2	Análises de estabilidade	354
11.6.4.3	Plano de mitigação.....	354
11.6.4.4	Plano de lavra revisado	354
11.6.4.5	Despressurização	355
11.6.4.6	Drenos horizontais	356
11.6.4.7	Controle das águas superficiais.....	356
11.6.4.8	Sistema de monitoramento de taludes	356
11.6.5	Retomada da lavra	357
11.6.5.1	Linha do tempo	357
11.6.5.2	Monitoramento de deslocamentos de taludes.....	357
11.6.5.3	Desmonte com explosivos.....	359
11.6.5.4	Reconciliação.....	359
11.7	Mina a Céu Aberto de Lihir em materiais argilosos.....	359
11.7.1	Introdução	359
11.7.1.1	Descrição da área da mina	359
11.7.1.2	Lavra	360
11.7.1.3	Geologia	361
11.7.1.4	Águas subterrâneas e condições geotérmicas	361
11.7.2	Propriedades de engenharia de materiais argílicos.....	362
11.7.2.1	Classificação do registro argílico (VRQ).....	362
11.7.2.2	Dados registrados em campo	362
11.7.2.3	Limites de Atterberg	362
11.7.2.4	Ensaio triaxiais.....	362
11.7.3	Talude GW28.....	363
11.7.3.1	Introdução	363
11.7.3.2	Investigação	363
11.7.3.3	Retroanálise.....	364
11.7.3.4	(Re)Projeto e desempenho.....	365
11.7.4	Pilha de Estoque Oeste	366
11.7.4.1	Introdução	366
11.7.4.2	Avaliação da pilha de estoque.....	366
11.7.4.3	Desempenho da pilha de estoque	367





11.7.4.4	Resumo.....	369
11.7.5	Conclusões.....	369
12.	IMPLEMENTAÇÃO DE PROJETOS E CONSIDERAÇÕES OPERACIONAIS.....	371
<i>Peter Stacey, Paulo Franca e Geoff Beale</i>		
12.1	Introdução.....	371
12.2	Planejamento de mina.....	371
12.2.1	Pré-lavra (Níveis 1 e 2)	372
12.2.2	Nível de viabilidade e projeto detalhado	373
12.3	Implementação de projetos	374
12.3.1	Escavação e acabamento de faces de taludes.....	375
12.3.2	Desmonte com explosivos.....	377
12.4	Controle das águas superficiais.....	377
12.4.1	Desvio de águas superficiais.....	378
12.4.2	Coleta do escoamento superficial nas bermas de segurança e rampas de acesso	379
12.4.3	Controle da recarga	380
12.4.4	Gestão de grandes volumes de águas superficiais.....	381
12.4.5	Manutenção de sistemas de controle de águas superficiais	382
12.4.6	Estudo de caso.....	382
12.5	Proteção de taludes	384
12.6	Avaliação e monitoramento de desempenho.....	385
12.6.1	Validação do modelo geotécnico	385
12.6.2	Desempenho dos taludes.....	386
12.6.3	Monitoramento de movimentações de taludes.....	386
12.6.3.1	Monitoramento em superfície.....	386
12.6.3.2	Técnicas em subsuperfície.....	388
12.6.4	Monitoramento das águas da mina	388
12.6.4.1	Instalações típicas de monitoramento.....	389
12.6.4.2	Piezômetros de corda vibrante	390
12.6.4.3	Monitoramento de águas superficiais.....	390
12.6.4.4	Monitoramento de mudanças transitórias na poropressão	391
12.6.4.5	Elaboração do programa de monitoramento.....	392
12.7	Planos de gestão e controle de terreno	392
12.8	Fechamento da mina.....	393
12.8.1	Considerações sobre estabilidade de taludes	393
12.8.2	Considerações hidrogeológicas.....	394
12.8.3	Monitoramento pós-fechamento	396
Glossário		397
Abreviações		397
Palavras-chave e convenções		397
Referências.....		399
Índice Remissivo		413





Apresentação

A ABGE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL tem a grata satisfação de apresentar as traduções para o português e espanhol do **GUIA PARA PROJETOS DE TALUDES DE MINAS A CÉU ABERTO EM ROCHAS BRANDAS** (título original *GUIDELINES FOR OPEN PIT SLOPE DESIGN IN WEAK ROCKS*).

Trata-se da continuidade da nossa parceria com o LOP – *Large Open Pit Project*, entidade criada em 2005 a partir de um movimento coletivo das maiores empresas de mineração do mundo, que concluíram pela necessidade do desenvolvimento de produtos técnicos de excelência aplicáveis à realidade do dia a dia das equipes operacionais, atualmente sob a coordenação da Universidade de Queensland, Austrália. A comunidade técnica e a ABGE estão muito contentes com a parceria ABGE-LOP e seus resultados, possibilitando distribuir este conhecimento ao grande público latino-americano. Essa parceria começou em 2021 e almejamos a sua continuidade.

Deve-se destacar que, embora a edição original deste livro tenha sido lançada em 2018, o seu conteúdo técnico é bastante abrangente e continua atual. São abordados vários tipos de formações de rochas brandas, com estudos de casos em várias minas ao redor do mundo. Este livro é um complemento essencial ao primeiro Guia do LOP de Projetos de Taludes, de 2009, que não havia focado em rochas brandas. Estas ocorrem em vastas áreas nos países tropicais e subtropicais, incluindo os grandes depósitos de minério de ferro de alto teor em parte da América do Sul e África, ao qual é dedicado um dos capítulos, além daqueles em rochas alteradas hidrotermalmente, entre outros tipos de grande importância econômica na indústria da mineração.

O livro é composto de 12 capítulos e contou com a colaboração de renomados especialistas de vários países. Mas não podemos deixar de ressaltar a colaboração de vários colegas brasileiros, chilenos e peruanos, que poderão agora

divulgar o seu trabalho em seu idioma nativo. Apesar de termos estilos de redação e uso de expressões idiomáticas distintas entre autores e tradutores/revisores, acreditamos que as dificuldades encontradas foram resolvidas a contento e temos a convicção de que as traduções mais adequadas à língua portuguesa e espanhola foram encontradas.

Importante também registrar que, assim como nos livros anteriores, nas situações em que, não foi possível encontrar uma palavra ou expressão que traduzisse com precisão o sentido original, optou-se por apresentar, ao lado da tradução aproximada, a palavra ou expressão original, entre parêntesis grafada em itálico. Igualmente, siglas e acrônimos de entidades técnicas internacionais, de ensaios tecnológicos, programas computacionais, entre tantas outras situações, foram mantidos com a grafia original, quando não se encontraram termos análogos no meio técnico dos países de língua portuguesa ou espanhola, ou quando já consagradas pelo uso. Figuras, gráficos e tabela foram todos traduzidos, com exceção daqueles que, no original, estão apresentados em língua diferente do inglês.

Finalmente, cabe neste momento um enorme agradecimento aos revisores, excepcionais profissionais, que são citados nos respectivos capítulos que colaboraram de forma filantrópica. Agradecimentos estendidos à equipe administrativa da ABGE, nas pessoas da Gerente Luciana Marques, da responsável direta pela coordenação do trabalho, Denise Amaral, e das colaboradoras Emilly Mendes, Gabrielle Lima, Kauany Santos e Vanessa Oliveira.

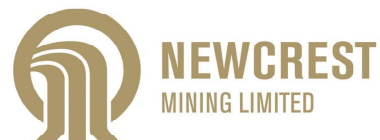
Erik Wunder

Presidente ABGE (2025-2026)

Frederico Bezerra

Representante da Vale junto ao LOP







Prefácio e agradecimentos

O projeto Large Open Pit (LOP) é um projeto internacional de pesquisa e transferência de tecnologia focado na estabilidade de taludes rochosos em minas a céu aberto. É um projeto patrocinado e financiado pela indústria que foi iniciado em 2005 e administrado pelo Dr. John Read sob os auspícios da Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) da Austrália. O projeto foi atualizado em 2014 sob a direção do Dr. Marc Ruest e da Universidade de Queensland. Os patrocinadores compreendem um grupo diversificado de mineradoras multinacionais e parceiros, incluindo AngloGold Ashanti Ltd, Barrick Gold Corporation, BHP Billiton Innovation Pty Ltd and BHP Chile; Corporación Nacional de Cobre Del Chile (Codelco); De Beers Group Services (Pty); Debswana Diamond Co.; Newcrest Mining Limited; Newmont USA and Newmont Australia Limited; Ok Tedi Mining Limited; Rio Tinto Group; Teck Resources Limited; e Vale S.A.

Entre as iniciativas apoiadas pelos patrocinadores do LOP destaca-se o lançamento de uma série de livros de referência sobre o estado da prática relacionado ao projeto e estabilidade de grandes taludes em minas a céu aberto. O primeiro desses livros, *Guidelines for Open Pit Slope Design*, foi publicado em 2009 (Read e Stacey 2009) e apresenta os fundamentos da investigação geotécnica, análise, projeto e monitoramento de taludes em minas a céu aberto. Como tal, representou a primeira publicação abrangente sobre este assunto desde *Rock Slope Engineering*, de Hoek e Bray, que foi publicado pela Institution of Mining and Metallurgy, Londres, em 1974 e 1977, e o *Pit Slope Manual* publicado pelo Canadian Centre for Mining and Metallurgy (CANMET) em 1977. O segundo livro da série, *Guidelines for Evaluating Water in Pit Slope Stability* (Beale and Read 2013), cobre as principais influências das águas subterrâneas na estabilidade de taludes a céu aberto e inclui capítulos sobre investigação de águas subterrâneas, modelagem de poropressões e vazões afluentes, técnicas de desagendamento e despressurização e monitoramento.

O terceiro livro da série, *Guidelines for Mine Waste and Stockpile Design* (Hawley e Cuning 2017), enfoca a investigação, projeto, operação e monitoramento de depósitos de estéril, pilhas temporárias de material escavado por dragline e pilhas de estocagem em grandes minas a céu aberto.

Este *Guia para Projeto de Taludes de Minas a Céu Aberto em Rochas Brandas* é o quarto livro da série. Foi reconhecido pelo Comitê de Gestão dos Patrocinadores do LOP que a publicação *Guidelines for Open Pit Slope Design* de 2009 se concentrou principalmente em taludes a céu aberto em rochas resistentes, conforme definido pela classificação de resistência da Sociedade Internacional de

Mecânica das Rochas (ISRM), (ou seja, uma classificação $\geq R2$). Como tal, não considerou completamente os desafios frequentemente associados às minas a céu aberto em “rochas brandas” ($R0$ a $\leq R2$). Rochas brandas geralmente exigem ângulos de taludes escavados mais suaves do que os adotados em rochas resistentes, e esses taludes menos inclinados podem ter implicações econômicas significativas. Portanto, é fundamental que a presença de rochas brandas seja reconhecida logo no início do projeto, o que poderá então diferir da abordagem utilizada para rochas resistentes. Este reconhecimento pode exigir uma diferente caracterização do local e de abordagem de projeto. Este livro foi, portanto, preparado como um adendo ao Guia original de 2009 com o propósito específico de fornecer uma estrutura para caracterizar, analisar e projetar taludes de cavas em rochas brandas. Por uma questão de completude, alguns itens do Guia de 2009 foram repetidos neste adendo, numa tentativa de fornecer um texto autônomo para profissionais trabalhando em uma mina remota.

Os 12 capítulos do livro geralmente seguem a sequência da vida da mina, desde o desenvolvimento do projeto até o fechamento. Eles baseiam-se fortemente nas contribuições dos patrocinadores e de vários profissionais da indústria e acadêmicos, que voluntariamente compartilharam seu conhecimento e experiência preparando ou contribuindo para vários dos capítulos. Em particular, são reconhecidos com gratidão os esforços das seguintes pessoas, relacionadas em ordem alfabética:

- Antônio Bertachini, MDGEO, Belo Horizonte, Brasil
- Daniel Bertachini, MDGEO, Belo Horizonte, Brasil
- Gabriel Becerra, Minera Yanacocha S.R.L., Peru
- Geoff Beale, Piteau Associates, Shrewsbury, Reino Unido
- Kim Davis, Golder Associates, Decatur, Alabama, EUA
- Mateus De Filippo, MDGEO, Belo Horizonte, Brasil
- Paulo Cella, BVP Engenharia, Belo Horizonte, Brasil
- Sergio Brito, BVP Engenharia, Belo Horizonte, Brasil (in memoriam)
- Teófilo Costa, Vale S.A. Belo Horizonte, Brasil
- Tom Byers, Newmont Mining, Colorado, USA
- Will Callupe, Pierina Mine, Minera Barrick Misquichilca S.A., Peru





- Jeremy Dowling, Piteau Associates, Denver, Colorado, EUA
- Patrick Ebeling, Holcim Technology Ltd, Holderbank, Suíça
- Josef Ekkerd, De Beers Consolidated Mines, Johannesburg, África do Sul
- Mark Fowler, Pells Sullivan Meynink, Perth, Austrália
- Paulo Franca, F&Z Consultoria e Projetos, Belo Horizonte, Brasil
- Kirstin Girdner, Rio Tinto Minerals – Boron Operations, EUA
- Andrew Heweston, Newcrest Mining Limited, Lihir, PNG
- Peter Knight, Newcrest Mining Limited, Lihir, PNG
- Eric Lopez, Codelco, DMH Geotechnical Superintendent, Calama, Chile
- Loren Lorig, Itasca Consulting Inc., Minneapolis, Minnesota, EUA
- Fábio Magalhães, VOGBR, Belo Horizonte, Brasil
- Graeme Major, Golder Associates, Reno, Nevada, EUA
- Eduardo Medina, Minera Barrick Misquichilca S.A., Peru
- Mike Ness, FMC, Tucson, Arizona, EUA
- David Nutakor, Rio Tinto Minerals – Boron Operations, EUA
- Luis Olivares, Codelco, Santiago, Chile
- Rodrigo Pelluci, UFOP, Ouro Preto, Brasil
- Breno Pereira, MDGEO, Belo Horizonte, Brasil
- Trijanto Poespito, Minera Yanacocha S.R.L., Peru
- Carlos Rosière, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil
- Marc Ruest, University of Queensland, Brisbane, Austrália
- Tom Ryan, Call & Nicholas, Tucson, Arizona, EUA
- Gilvan Sá, Vale S.A., Belo Horizonte, Brasil
- Steve Schmelter, FMC, Tucson, Arizona, EUA
- Eric Schwarz, Barrick Gold Corporation, Tucson, Arizona, EUA
- Bob Sharon, Barrick Gold Corporation, Tucson, Arizona, EUA
- Russel Sheets, Newmont USA Limited, Elko, Nevada, EUA
- John Simmons, Sherwood Geotechnical and Research Services, Brisbane, Austrália
- Patrick Strenk, Golder Associates, Reno, Nevada, EUA
- Andi Temmu, Newmont, Boddington, Austrália
- Jeremy Toh, Pells Sullivan Meynink, Perth, Austrália
- Phillip Tsheko, De Beers Group, Johannesburg, África do Sul
- Eddy Valencia Jeri, Minera Yanacocha S.R.L, Peru
- Pedro Varona, Geocontrol, Santiago, Chile
- John Waterhouse, Golder Associates, Perth, Austrália
- Felicia Weir, Pells Sullivan Meynink, Perth, Austrália
- Peter Yuan, Golder Associates, Reno, Nevada, EUA
- Zavis ‘Zip’ Zavodni, Rio Tinto Group, Salt Lake City, Utah, EUA
- Ângelo Zenóbio, F&Z Consultoria e Projetos, Belo Horizonte, Brasil

Este livro foi compilado e editado por Derek Martin e Peter Stacey com a assistência de um subcomitê editorial de patrocinadores composto por Marc Ruest (Universidade de Queensland, anteriormente De Beers Group Services), Bob Sharon (Barrick Gold Corporation), Teófilo Aquino Vieira da Costa, (Vale S.A.), John Read (John R. Read Associates) e Zip Zavodni (anteriormente Rio Tinto).

Derek Martin e Peter Stacey

Agosto de 2017





Sobre os editores

O **Dr. Derek Martin** iniciou sua carreira em 1972 e possui mais de 50 anos de experiência em engenharia geotécnica associada a túneis, barragens e taludes. Possui bacharelado em Geologia, mestrado em Engenharia e doutorado em Engenharia Geotécnica. Seus primeiros anos foram passados em canteiros de obras para grandes projetos de estabilidade de taludes e subterrâneos. Em 1987, ingressou na *Atomic Energy of Canada Limited* (AECL), onde dirigiu a pesquisa geomecânica no Laboratório de Pesquisa Subterrânea no sudeste de Manitoba e foi consultor sênior da Diretoria do Programa Canadense de Gerenciamento de Resíduos de Combustível Nuclear. De 1995 a 1999, atuou como Diretor Associado do Centro de Pesquisa Geomecânica da Laurentian University, trabalhando em projetos de mineração subterrânea na bacia de Sudbury. Desde 2000, o Dr. Martin é Professor de Engenharia Geotécnica na Universidade de Alberta, onde ocupa uma Cátedra de Pesquisa Industrial NSERC.

Entre 2007 e 2011, o Dr. Martin atuou como vice-presidente do ISRM para a América do Norte. Ele é autor de mais de 200 artigos técnicos sobre engenharia de rochas e é membro do Instituto de Engenharia do Canadá e membro da Academia Canadense de Engenharia.

O Dr. Martin trabalhou em mais de 10 países, fornecendo análises geotécnicas independentes em grandes projetos civis e de mineração.

Peter Stacey acumulou mais de 45 anos de experiência internacional nos aspectos geotécnicos de minas a céu aberto, incluindo projeto e implementação de taludes, bem como gerenciamento de projetos. Ele possui bacharelado em Geologia, DIC pelo Imperial College, Londres, e é engenheiro registrado no Canadá e no Reino Unido. Depois de trabalhar para o Serviço Geológico da Suécia e posteriormente na Iron Ore Company of Canada como Supervisor – Engenharia Geotécnica, o Sr. Stacey ingressou na Golder Associates Ltd., com sede em Vancouver, Canadá. Durante seus 29 anos na Golder, o Sr. Stacey trabalhou principalmente nas áreas de projeto de taludes de cavas e na aplicação de engenharia geotécnica aos aspectos operacionais de minas a céu aberto em todo o mundo.

Em 2003, o Sr. Stacey fundou a Stacey Mining Geotechnical Ltd. para se concentrar em consultoria de revisão independente. Nesta função, ele está atualmente envolvido em avaliações geotécnicas para diversas empresas internacionais de mineração e consultoria, e é membro de Conselhos de Avaliação Geotécnica para diversas grandes minas a céu aberto. Além disso, ele ministra cursos sobre projeto e implementação de taludes de cavas.

O Sr. Stacey está envolvido no projeto Large Open Pit (LOP) desde o seu início em 2003 e foi coeditor do *Guidelines for Open Pit Slope Designs* juntamente com o Dr. John Read.

