

Sumário

1	CONCEITOS FUNDAMENTAIS	13
1.1	Geologia	13
1.2	Mineral	13
1.3	Rocha.....	14
1.4	Maciço rochoso.....	16
1.5	Material rochoso	16
1.6	Descontinuidades	16
1.7	Propriedades físicas das rochas	19
1.7.1	Porosidade	19
1.7.2	Densidade da rocha intacta (D)	19
1.7.3	Coesão.....	20
1.7.4	Permeabilidade.....	20
1.7.5	Grau de fraturamento.....	21
1.8	Categoria dos materiais.....	21
1.8.1	Material de primeira categoria.....	21
1.8.2	Material de segunda categoria.....	21
1.8.3	Material de terceira categoria	21
1.9	Propriedades mecânicas das rochas.....	21
1.9.1	Resistência mecânica das rochas	22
1.9.2	Elasticidade.....	22
1.9.3	Plasticidade.....	22
1.9.4	Módulo de Young (E)	22
1.9.5	Coefficiente de Poisson (ν)	23
1.9.6	Número de Poisson (m).....	23
1.9.7	Velocidade de propagação de onda ou velocidade sísmica	23
1.9.8	Empolamento (E)	24
2	PERFURAÇÃO DE ROCHAS	29
2.1	Definições básicas	29
2.1.1	Perfurabilidade da rocha	29
2.1.2	Velocidade disponível do ar de limpeza do furo.....	29
2.1.3	Velocidade requerida para a limpeza do furo	30
2.1.4	Velocidade de penetração	31
2.1.5	Velocidade média de perfuração	32
2.1.6	Potência necessária em função do torque e da rotação.....	33
2.1.7	Potência necessária em função do empuxo.....	33
2.1.8	Fases de um ciclo de perfuração	34

2.1.9	Produção horária da perfuração	34
2.2	Aplicações da perfuração	35
2.3	Principais métodos de perfuração	35
2.3.1	Perfuração por rotoperussão	35
2.3.2	Perfuração por rotação.....	44
2.4	Perfuratrizes pneumáticas e hidráulicas.....	48
2.4.1	Perfuratrizes pneumáticas	48
2.4.2	Perfuratrizes hidráulicas	49
2.5	Montagem sobre esteiras e pneus.....	50
2.5.1	Montagem sobre esteiras	50
2.5.2	Montagem sobre pneus	50
2.6	Características dos furos	51
2.6.1	Diâmetro dos furos	51
2.6.2	Profundidade dos furos.....	52
2.6.3	Retilidade dos furos.....	53
2.6.4	Estabilidade dos furos	54
2.6.5	Malhas de perfuração a céu aberto	54
2.6.6	Desvios na perfuração	54
2.7	Perfuração inclinada	57
2.7.1	Vantagens e desvantagens da perfuração inclinada.....	57
2.7.2	Seleção da capacidade do compressor de ar	59
2.7.3	Vida útil do compressor	60
2.7.4	Furos com água.....	60
2.7.5	Velocidade de rotação	60
2.8	Segurança durante os deslocamentos das perfuratrizes.....	60
2.8.1	Revisões diárias da perfuratriz	61
2.9	Perfuração manual com a broca integral.....	63
2.10	Equipamentos utilizados nas escavações subterrâneas	66
2.10.1	Jumbos	66
2.10.2	Fandrills.....	70
2.10.3	Raise bore.....	72
2.11	Fatores de desgaste das ferramentas de perfuração	73
2.12	Seleção de coroas (bits).....	75
2.13	Afiação de coroas (<i>bits</i>)	77
2.14	Cálculo do custo horário por metro linear, por metro cúbico e por tonelada da perfuração	77
2.15	Conceitos básicos de equipamentos	81
2.15.1	Disponibilidade física	81
2.15.2	Fator de utilização do equipamento	82
2.15.3	Rendimento	82
2.15.4	Rendimento da mão de obra	82
2.16	Hora da revisão	84
2.17	Regras gerais para o trabalho em perfuratrizes.....	86
2.17.1	Inspeção pré-partida	87

2.17.2	Operação segura	87
2.17.3	Partindo com segurança	88
2.17.4	Segurança operacional.....	88
2.17.5	Desligando e parando	88
2.18	Recursos para aumentar a produtividade e a segurança na perfuração	89
2.18.1	Sistema de controle da perfuração.....	89
2.18.2	Perfuratriz operada por uma sala de controle	89
3	EXPLOSIVOS E ACESSÓRIOS	92
3.1	Definição de explosivos.....	92
3.1.1	Potência liberada por um explosivo	92
3.1.2	Uso de explosivos no dia a dia.....	93
3.2	Combustão, deflagração e detonação	94
3.2.1	Combustão.....	94
3.2.2	Deflagração.....	94
3.2.3	Detonação.....	94
3.3	Classificação dos explosivos	94
3.3.1	Classificação geral.....	94
3.3.2	Quanto à potência.....	95
3.3.3	Quanto ao desempenho	95
3.3.4	Do ponto de vista químico.....	96
3.3.5	Quanto à consistência.....	96
3.4	Ingredientes de um explosivo	96
3.5	Descrição de alguns explosivos	97
3.5.1	Explosivos deflagrantes.....	97
3.5.2	Explosivos nitroglicerinados	100
3.5.3	Agentes explosivos granulados (secos).....	103
3.5.4	Agentes explosivos úmidos.....	106
3.5.5	Outros explosivos civis e militares	110
3.6	Cálculo das propriedades dos explosivos	110
3.6.1	Cálculo das porcentagens, em massa, de uma mistura explosiva	111
3.6.2	Cálculo do calor de formação ou energia de explosão (Hf).....	112
3.6.3	Cálculo do balanço de oxigênio (BO)	114
3.6.4	Cálculo da expansão dos gases (ϵ).....	118
3.6.5	Hora da revisão	119
3.6.6	Cálculo da energia relativa por massa e da energia relativa por volume dos explosivos.....	120
3.6.7	Cálculo da temperatura da explosão	121
3.6.8	Velocidade e pressão de detonação de um explosivo	122
3.6.9	Potência do explosivo no furo.....	124
3.6.10	Densidade de um explosivo.....	125
3.6.11	Sensibilidade dos explosivos	125
3.7	Ensaio necessários para a comercialização dos explosivos	126
3.7.1	Sensibilidade ao calor.....	126
3.7.2	Sensibilidade ao choque	127

3.7.3	Sensibilidade à fricção	127
3.7.4	Sensibilidade à propagação ou à detonação por simpatia.....	128
3.8	Condições para a comercialização de novos explosivos	128
3.9	Explosivos utilizados na indústria do petróleo.....	128
3.9.1	Método sísmico	129
3.9.2	Canhoneio	130
3.10	Acessórios	134
3.10.1	Estopim e espoleta comum	134
3.10.2	Espoleta elétrica	136
3.10.3	Cordel detonante	137
3.10.4	Tube de choque – tipo nonel	140
3.10.5	Booster (reforçador)	141
3.10.6	Detonador eletrônico	142
3.10.7	Webgen	145
4	PLANO DE DESMONTE OU DE FOGO	149
4.1	Mecanismos de ruptura da rocha	149
4.1.1	Fases de fratura da rocha	149
4.1.2	Trituração da rocha.....	150
4.1.3	Faturamento radial.....	150
4.1.4	Reflexão da onda de choque.....	150
4.1.5	Extensão e abertura de fendas radiais.....	150
4.1.6	Fratura por cisalhamento	151
4.1.7	Ruptura por flexão.....	151
4.2	Considerações sobre o desmante de rocha	153
4.2.1	Tipos de escavação.....	154
4.2.2	Desmante de rocha a céu aberto.....	155
4.2.3	Altura do banco	156
4.2.4	Diâmetro da perfuração	158
4.2.5	Granulometria exigida.....	158
4.3	Variáveis geométricas do plano de desmante.....	159
4.3.1	Afastamento (A)	161
4.3.2	Espaçamento (E)	163
4.3.3	Subperfuração (S)	164
4.3.4	Profundidade do furo (Hf)	164
4.3.5	Tampão (T)	165
4.3.6	Volume de rocha por furo (V).....	165
4.3.7	Perfuração específica (PE).....	165
4.3.8	Cálculo das cargas.....	166
4.3.9	Razão de carregamento teórica ou razão de carga (RCT)	166
4.4	Exemplos de cálculo de planos de fogo.....	168
4.5	Estudo da fragmentação da rocha	176
4.6	Efeitos dos retardos no desmante de rocha.....	177
4.7	Cuidados a serem tomados antes do desmante de rocha.....	181
4.8	Métodos de avaliação do desempenho do desmante de rocha.....	184

4.9	Obtenção da curva de distribuição granulométrica do desmonte de rocha.....	184
4.9.1	Simulação pelo aplicativo Fragment	186
4.10	Desmontes em cratera	187
4.10.1	Expressões utilizadas por Livingston	190
4.10.2	Novo modelo matemático da cratera.....	194
4.11	Desmonte secundário	197
4.11.1	Método do bloco perfurado.....	197
4.11.2	Método do João de Barro	198
4.11.3	Desmontes a frio	199
4.12	Uso de filmagens e veículos aéreos não tripulados (VANTs).....	199
4.13	Programas para computador e apps para celular	200
5	DESMONTE ESCULTURAL.....	202
5.1	Histórico.....	202
5.2	Principais métodos de desmonte escultural	203
5.2.1	Perfuração linear (line drilling)	203
5.2.2	Detonação amortecida (cushion blasting).....	204
5.2.3	Desmonte macio/suave/liso (smooth blasting)	205
5.2.4	Detonação de acerto (contour blasting)	206
5.2.5	Pré-corte ou pré-fissuramento (presplitting).....	206
6	ESCAVAÇÃO SUBTERRÂNEA.....	218
6.1	Histórico.....	218
6.2	Considerações iniciais	218
6.3	Finalidades das aberturas subterrâneas	219
6.3.1	Escavação de túneis	221
6.4	Formas de ataque mais comuns (sistemas de avanço)	223
6.4.1	Seção plena.....	223
6.4.2	Galeria superior e bancada	224
6.4.3	Galeria lateral.....	224
6.5	Emboques dos túneis	225
6.6	Pilões	226
6.6.1	Pilões angulares.....	227
6.6.2	Pilões paralelos.....	229
6.7	Variáveis de um plano de fogo para túnel ou galeria	232
6.7.1	Cálculo do plano de fogo de um túnel ou galeria com o pilão constituído por quatro quadrados	235
6.8	Dimensionamento do diagrama de fogo para desmonte de furos longos paralelos.....	252
6.8.1	Dimensionamento do plano de fogo baseado no consumo específico	253
6.8.2	Metodologia segundo Pearse	253
7	OBRAS CIVIS E AUXILIARES	255
7.1	Escavação de rodovias e autopistas.....	255
7.1.1	Longitude da perfuração.....	256
7.1.2	Distribuição da carga e tampão.....	257

7.1.3	Esquemas de perfuração.....	257
7.2	Escavação de valas.....	260
7.2.1	Escavação de valas em cortes.....	261
7.3	Desmonte subaquático.....	263
7.3.1	Condições de aplicabilidade	263
7.3.2	Fatores que devem ser considerados para sua boa execução	264
7.3.3	Perfuração com o método OD e ODEX	267
7.3.4	Cálculo de cargas e esquemas de perfuração.....	270
7.4	Rampas.....	277
7.4.1	Generalidades	277
7.4.2	Abertura de rampa para lavar nova bancada.....	280
8	SEGURANÇA E CONFORTO DA VIZINHANÇA.....	288
8.1	Efeitos secundários das detonações	288
8.1.1	Movimentos periódicos	289
8.1.2	Vibração do terreno	291
8.1.3	Fenômeno da ressonância	294
8.2	Normas NBR e Cetesb.....	295
8.2.1	NBR 9653	295
8.2.2	Cetesb D7.013.....	296
8.3	Lei de atenuação de vibração do terreno.....	297
8.4	Distância escalonada (DE)	302
8.5	Sobrepresão atmosférica e ruído	303
8.5.1	Causas da sobrepressão atmosférica.....	304
8.6	Monitoramento das vibrações do terreno e do ar.....	306
8.6.1	Sismógrafo de engenharia	307
8.6.2	Cálculo do tempo para registrar todo o evento sismográfico (T_r).....	309
8.6.3	Recomendações da NBR 9653 (ABNT, 2018) para um bom monitoramento e conforto das populações vizinhas	311
8.6.4	Recomendações para reduzir os níveis de vibração do terreno	312
8.6.5	Recomendações para reduzir os níveis da pressão acústica	313
8.6.6	Recomendações para uma boa relação com a comunidade.....	314
8.7	Vistoria cautelar	315
8.8	Ultrançamento dos fragmentos rochosos	316
8.9	Utilização de coberturas na área a ser escavada.....	320
9	MEDIDAS DE SEGURANÇA NOS TRABALHOS DE DESMONTE DE ROCHA POR EXPLOSIVOS.....	322
9.1	Diferença entre acidentes e incidentes no trabalho.....	322
9.2	Uso de EPIs e EPCs.....	323
9.3	Procedimentos de segurança durante a atividade de carregamento	324
9.4	Transporte e armazenamento	327
9.4.1	Medidas de segurança para transportar explosivo na área do carregamento	328
9.4.2	Normas para os paíóis de explosivos e acessórios	328