

FERNANDA NAIA JUNQUEIRA BASTOS

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DA
UTILIZAÇÃO DE EXPLOSIVOS EM DESMONTE DE ROCHA NA
CONSTRUÇÃO DE UM TÚNEL METROVIÁRIO

São Paulo
2014

FERNANDA NAIA JUNQUEIRA BASTOS

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DA
UTILIZAÇÃO DE EXPLOSIVOS EM DESMONTE DE ROCHA NA
CONSTRUÇÃO DE UM TÚNEL METROVIÁRIO

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para a obtenção do título de Especialista
de Engenharia de Segurança do Trabalho

São Paulo
2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Bastos, Fernanda Naia Junqueira

**Avaliação dos impactos ambientais decorrentes da utilização de explosivos em desmonte de rocha na construção de um túnel metroviário/ F.N.J. Bastos. – São Paulo, 2014.
p. 83**

Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Riscos ocupacionais 2.Explosivos em obras 3.Normas de segurança I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho ao Carlos Fernando Feu, ao Flávio Ramos Yoshino e ao Júlio Claudio di Dio Pierri que me incentivaram a seguir pelos caminhos da Gestão Integrada.

AGRADECIMENTOS

À obra por me fornecer todas as informações e dados para elaboração desse trabalho. À gerência de onde trabalho por me apoiar e incentivar o desenvolvimento da minha carreira. Aos meus líderes pelo apoio e compreensão. Ao engenheiro de segurança, Hacy Prado e à médica do trabalho, Elaine Ribeiro, pelo apoio e esclarecimentos.

Às amigas Luiza Weber, Fernanda Carneiro, Marcela Holanda, Olímpia Pujatti e Claudia Maia e ao meu marido, Odilon Salgado, pelo apoio e discussões sobre o tema. À minha companheira do curso e, agora, amiga Giselle Ribeiro. À minha família que me apoiou, principalmente minha irmã, Alexandra, e a todos que colaboraram direta ou indiretamente na elaboração desse trabalho.

RESUMO

O trabalho avalia os impactos ambientais gerados no desmonte de rocha com uso de explosivos em áreas urbanas para escavação de túneis em obras metroviárias. Na primeira etapa do trabalho foi realizada uma pesquisa bibliográfica dos tipos de escavação de túneis, focando no desmonte de rocha com uso de explosivos, e das explosões, incluindo seus tipos, impactos ambientais e, bem como, explosivos químicos. A metodologia aplicada ao trabalho também incluiu a vivência em obras de metrô, acesso às informações internas para análise do estudo de caso e conversas com profissionais que trabalham na área. O resultado desse trabalho foi uma análise das principais ações implementadas para reduzir os impactos ambientais e os efeitos dessas ações numa obra de escavação de túneis metroviários localizada na cidade do Rio de Janeiro. A conclusão desse estudo permite aferir que um sistema de gestão, quando devidamente implementado e ativo, promove a mitigação não só dos acidentes com os trabalhadores como também dos impactos ambientais gerados pelo uso de explosivos à comunidade vizinha.

Palavras chave: Explosivo; Túnel Metroviário; Detonação; Impacto Ambiental; Desmonte de rocha.

ABSTRACT

The study evaluates the environmental impacts generated in rock blasting using explosives in urban areas for tunneling works in subway. In the first stage of the work a literature search of the kind of tunneling was performed, focusing on rock blasting using explosives and explosions, including their types, and environmental impacts, as well as chemical explosives. The methodology applied to work also included the works of living in metro, access to internal information for the case study analysis and conversations with professionals working in the area. The result of this study was an analysis of the major actions taken to reduce environmental impacts and the effects of these actions in a work of digging subway tunnels located in the city of Rio de Janeiro. The conclusion of this study leads to a gauge, when properly implemented and asset management system promotes the mitigation of accidents not only workers, but also the environmental impacts generated by the use of explosives to the neighboring community.

Keywords: Explosive; Subway Tunnel; Detonation; Environmental Impact; Rock Blasting.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Imagem aérea da cidade do Rio de Janeiro com seus maciços rochosos.	15
Figura 2. Vista dos maciços rochosos da cidade do Rio de Janeiro.	16
Figura 3. Classificação dos métodos construtivos de túneis.	21
Figura 4. Seção transversal típica de túnel sequencial - NATM.	23
Figura 5. Ciclo de atividades na construção de túneis pelo Desmonte de Rocha com uso de explosivos.	24
Figura 6. Esquema de uma detonação.	26
Figura 7. Zonas de uma seção de túnel.	28
Figura 8. Explosivo detonando.	29
Figura 9. Esquema de classificação de explosivos químicos.	29
Figura 10. Esquema de um sistema de iniciação.	30
Figura 11. Produtos gerados no desmonte de rocha com uso de explosivos.	31
Figura 12. Foto do maciço com furos e explosivos montados conforme Plano de Fogo.	32
Figura 13. Foto depois da detonação, em outro ângulo, mostrando o avanço na área marcada.	32
Figura 14. Limites de velocidade de vibração de partícula de pico e faixas de frequências.	40
Figura 15. Implantação da obra Expansão General Osório.	45
Figura 16. Foto aérea da localização da Obra Estudada.	46
Figura 17. Imagem aérea da orla de Copacabana e da favela Pavão Pavãozinho. .	47
Figura 18. Treinamento ministrado por Engenheiro.	52
Figura 19. Painel de crachás para controle de entrada e saída.	53
Figura 20. Portão de Isolamento e único acesso ao Túnel da obra estudada.	54
Figura 21. Acessórios transportados separado dos explosivos.	55
Figura 22. Explosivos transportados separado dos acessórios.	56
Figura 23. Tubos do Sistema de Insuflação e Ventilação no interior do túnel.	57
Figura 24. Esquema do Duto de exaustão.	58
Figura 25. Esquema do Duto de exaustão com aspersores.	58
Figura 26. Licença para Blaster.	59

Figura 27. Frente de serviço sinalizada e isolada.	60
Figura 28. Caminhões utilizados como paiol móvel em área isolada.....	62
Figura 29. Registros de Transferência de posse dos explosivos.	63
Figura 30. Registro das verificações realizadas antes e depois da detonação, inclusive do horário das sirenes.	65
Figura 31. FVS Plano de Fogo.	67
Figura 32. Sistema de aspersão.....	68
Figura 33. Sismógrafo de engenharia instalado.....	69
Figura 34. Pontos pré-definidos para Leitura Sismográfica.....	70
Figura 35. Relatório da Leitura do Sismógrafo de engenharia.....	71
Figura 36. Placa localizada no Portão de Isolamento com os EPIs obrigatórios no interior do túnel.	74
Figura 37. PPRA referente à função de Frentista de túnel.....	73

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Acidentes em túneis.	17
Tabela 2. Nível Critério de Avaliação para ambientes externos em dB(A).....	35
Tabela 3. Normas do Exército Brasileiro	41
Tabela 4. Normas Regulamentadoras.....	42
Tabela 5. Leis e Decretos da Prefeitura do Rio de Janeiro	43
Tabela 6. Relação de Licenças da Obra	49
Tabela 7. Resultados da Medição Poeira.....	75
Tabela 8. Resultados da Medição Ruído.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
CAC	Centro de Atendimento a Comunidade.
CBO	Classificação Brasileira de Ocupações.
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.
COLOG	Comando Logístico do Exército Brasileiro.
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente.
DFAE	Divisão de Fiscalização de Armas e Explosivos.
DLOG	Departamento Logístico do Exército Brasileiro.
EMR	Exposto de maior risco.
EPC	Equipamento de Proteção Coletiva.
EPI	Equipamento de Proteção Individual.
FVS	Ficha de Verificação de Serviço.
GEO-RIO	Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro.
INEA	Instituto Estadual do Ambiente.
ISO	<i>International Organization for Standardization.</i>
ITA	Instrução Técnico Administrativa.
LT	Limite de Tolerância.
LTCAT	Laudo técnico de condições ambientais do trabalho.
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego.
NATM	<i>New Austrian Tunnelling Method.</i>
NBR	Norma Brasileira Registrada.
NR	Norma Regulamentadora.
PCMAT	Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção Civil.
PCRJ	Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro.
PDCA	<i>Plan – Do – Check – Act.</i>
PFF	Peça semifacial filtrante.
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais.
PRONAR	Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar.

PTS	Partículas Totais em Suspensão.
R	Regulamento.
SGQ	Sistema de Gestão da Qualidade.
TBM	<i>Tunnel Boring Machine.</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. OBJETIVO.....	16
1.2. JUSTIFICATIVA	16
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1. ESCAVAÇÃO DE TÚNEL	20
2.2. ESCAVAÇÃO NATM.....	21
2.3. DESMONTE DE ROCHA COM USO DE EXPLOSIVOS	23
2.4. EXPLOSÕES.....	25
2.5. PLANO DE FOGO.....	26
2.6. EXPLOSIVOS QUÍMICOS	28
2.7. IMPACTOS AMBIENTAIS DA DETONAÇÃO	30
2.7.1. Ultralancamento de fragmentos de rocha.....	33
2.7.2. Ruído e Sobrepressão	33
2.7.3. Poeira e Gases	36
2.7.4. Vibração do terreno.....	38
2.8. LEGISLAÇÃO.....	41
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
3.1. MATERIAIS	45
3.2. METODOLOGIAS	47
4. RESULTADOS	49
4.1. LICENÇAS.....	49
4.2. PROCEDIMENTOS DOCUMENTADOS.....	50
4.3. CONTROLE DE ENTRADA E SAÍDA DE PESSOAS	52
4.4. PORTÃO DE ACESSO E ISOLAMENTO	53
4.5. MONTAGEM DOS EXPLOSIVOS.....	55
4.6. SISTEMA DE EXAUSTÃO E INSUFLAMENTO.....	56
4.7. BLASTER	59
4.8. FRENTE DE SERVIÇO ISOLADA	60
4.9. ESTOCAGEM.....	61

4.10.	CONTROLE DA POSSE DO EXPLOSIVO	62
4.11.	SIRENES DE DETONAÇÃO	64
4.12.	PLANO DE FOGO.....	65
4.13.	SISTEMA DE ASPERSÃO	68
4.14.	LEITURAS SISMOGRÁFICAS	69
4.15.	EPI – EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL.....	72
5.	DISCUSSÕES	76
6.	CONCLUSÕES.....	78
7.	REFERÊNCIAS	79
8.	REFERÊNCIAS CONSULTADAS.....	82

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento acelerado dos grandes centros urbanos e regiões metropolitanas, a ocupação do espaço urbano se intensificou com a verticalização das áreas centrais surgindo a necessidade de construção de novas vias de transporte e ampliação do sistema de transporte público para atender a demanda da população.

Em cidades litorâneas como o Rio de Janeiro, que é delimitada por maciços rochosos de um lado e pelo mar de outro como apresentado na imagem aérea na Figura 1 e na Figura 2, a expansão urbana torna-se possível com a transposição desses maciços, através de túneis. Como exemplo, tem-se o Túnel Rebouças, Túnel Santa Barbara, Túnel da Grotta Funda, entre outros.



Figura 1. Imagem aérea da cidade do Rio de Janeiro com seus maciços rochosos.
Fonte: Google Earth, 2014.

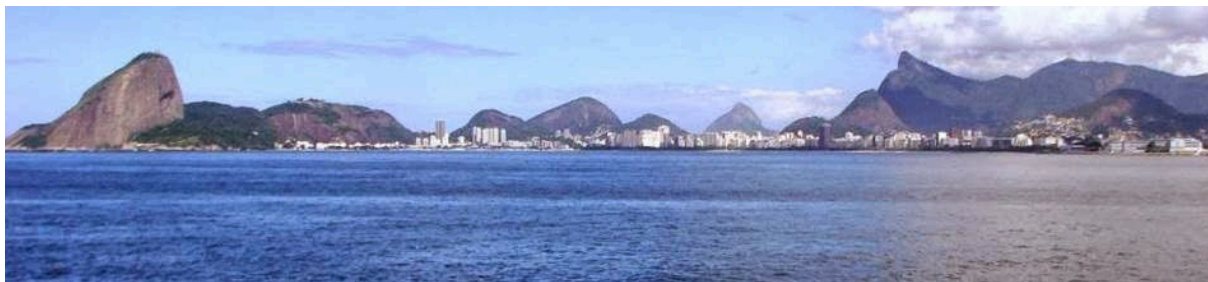


Figura 2. Vista dos maciços rochosos da cidade do Rio de Janeiro.

Fonte: <http://www.revivendoviagens.com>.

Muitos desses túneis foram escavados em rocha através de desmonte com uso de explosivos, visto que nem sempre o uso de equipamento para escavação mecanizada é viável economicamente.

Atualmente, na cidade do Rio de Janeiro acontecem diversas obras para ampliação da rede rodoviária e metroviária, em que os maciços rochosos são transpostos com o uso de explosivos. Dentre as obras estão o Porto Maravilha com a abertura de quatro túneis rodoviários na região portuária, a Linha 4 do metrô em seu trecho oeste e a expansão da Estação General Osório, que interligará a Linha 1 e a Linha 4 do metrô.

1.1. OBJETIVO

O objetivo dessa monografia é levantar os impactos ambientais e as normas de segurança pertinentes ao uso de explosivo em áreas urbanas. A implantação das ações requeridas será analisada em uma obra de escavação de uma estação metroviária localizada na cidade do Rio de Janeiro.

1.2. JUSTIFICATIVA

Em todos os tipos de obras de engenharia, desde as menos complexas, como de

edificações e rodovias, até as mais complexas, como barragens e túneis, já foram relatados acidentes de engenharia.

As obras de túneis metroviários são consideradas obras de alto risco de acidentes por serem obras subterrâneas e por lidar com materiais geológicos que, por mais detalhada que seja a investigação prévia de campo e laboratório, sempre podem apresentar alguma característica não prevista inicialmente e que só será detectada durante a construção.

Segundo Neto e Kochen (2000), a incidência de acidentes em obras de túneis não está relacionada com a experiência técnica do país, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Acidentes em túneis.

Ano	Localização	Tipo de Acidente
1973	Paris, França.	Colapso de túnel ferroviário.
1981	Metrô de São Paulo, Brasil.	Instabilidade durante a construção.
1984	Túnel Landrücken	Colapso
1984	Metrô de Bochum, Alemanha	Colapso
1985	Túneis Richthof & Kaiserau	Colapso
1985	Metrô de Bochum, Alemanha	Colapso
1986	Túnel Kriebberg, Alemanha	Colapso
1987	Metrô de Munique, Alemanha	5 Colapsos
1987	Túnel Weltkugel, Alemanha	<i>Cave-in</i>
1987	Túnel Karawanken, Áustria/Eslovênia	Grande afluência e deformações severas
1988	Túnel Kehrenberg, Alemanha	Sérios recalques na superfície
1988	Túnel Michaels, Alemanha	Colapso (túnel piloto e alargamento)
1989	Túnel Karawanken, Alemanha	Colapso
1989	Metrô Itaquera - São Paulo, Brasil	Colapso
1991	Túnel Kwachon, Korea	Colapso
1991	Metrô de Seul, Korea	2 Colapsos
1992	Túnel Funagata, Japão	Colapso

Continua

Conclusão		
Ano	Localização	Tipo de Acidente
1992	Metrô de Seul, Korea	Colapso
1992	Túnel Lambach, Áustria	Colapso
1993	Metrô de Seul, Korea	4 Colapsos
1993	Taipei, Taiwan Colapso	Colapso
1993	Túnel Tribunal de Justiça - São Paulo, Brasil	Colapso
1993	Toscana, Itália	Deformações severas (colapso)
1994	Túnel Carvalho Pinto, Brasil	Ruptura do emboque durante a construção
1994	Túnel Montemor, Portugal	2 Colapsos
1994	Túnel Galgenburg, Áustria	Colapso
1994	Metrô de Munique, Alemanha	Colapso
1994	Aeroporto de Heathrow, Londres, Reino Unido	Colapso
1994	Storebaelt, Dinamarca	Incêndio em <i>Tunnel Boring Machine (TBM)</i>
1995	Túnel Motorway, Turquia	Colapso
1996	Túnel Motorway, Turquia	Colapso
1996	Los Angeles, U.S.A.	Colapso
1996	Metrô de Atenas, Grécia	Colapso
1996	Túnel Adler, Suíça	Colapso
1996	Toulon	Colapso
1996	Eidsvoll, Noruega	Colapso
1997	Metrô de Atenas, Grécia	Colapso
1997	Metrô de São Paulo, Brasil	Colapso
1997	Túnel Carvalho Pinto, Brasil	Colapso
1998	Rússia	Colapso

Fonte: Neto e Kochen, 2000.

A construção de túneis requer o desenvolvimento de habilidade e cuidado em sua investigação geológica, planejamento, projeto, construção e monitoramento para

serem implantados com segurança. Uma obra subterrânea, tanto em meio urbano como em meio não urbano, deve ser projetada e construída de forma que seja possível controlar e manter em níveis aceitáveis o impacto ambiental a curto, médio e longo prazo da construção.

Além dos riscos inerentes a construção de túneis, existem também os riscos relacionados ao uso de explosivos na escavação através do desmonte de rocha. Esses riscos começam na fabricação do explosivo, passam pelo transporte e estocagem do produto até seu manuseio. Existe risco também na operação que é o detonar do explosivo que gera impactos aos trabalhadores e comunidade vizinha, como sobrepressão acústica, vibração do terreno, gases tóxicos, e o problema do explosivo que não detonou, conhecido por fogo falho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. ESCAVAÇÃO DE TÚNEL

Túnel é uma “passagem subterrânea através de montanhas, grandes aterros, ou por baixo de um rio”, segundo o Dicionário Michaelis. Travagin (2012) define, tecnicamente, túnel como obra de engenharia com objetivo de atender demanda da Engenharia Civil e da Engenharia de Minas.

O túnel, como obra de engenharia, pode ser construído para diversas finalidades tais como transporte rodoviário, transporte ferroviário, transporte metroviário, tráfego de pedestres, adução de água, passagem de cabos e utilidades e exploração de minas.

A metodologia construtiva de um túnel pode ser classificada de diversas maneiras variando conforme o foco dado pelo estudioso. Nessa monografia, foi adotada a classificação apresentada por Travagin (2012) que é um misto das classificações apresentadas por Sauer e Mergelsberg apud Travagin (2012) e Assis apud Travagin (2012).

Na classificação adotada apresentada na Figura 3, os túneis são divididos em túneis mecanizados e não mecanizados, de acordo com o grau de mecanização, além das subdivisões criadas conforme os processos construtivos vigentes.

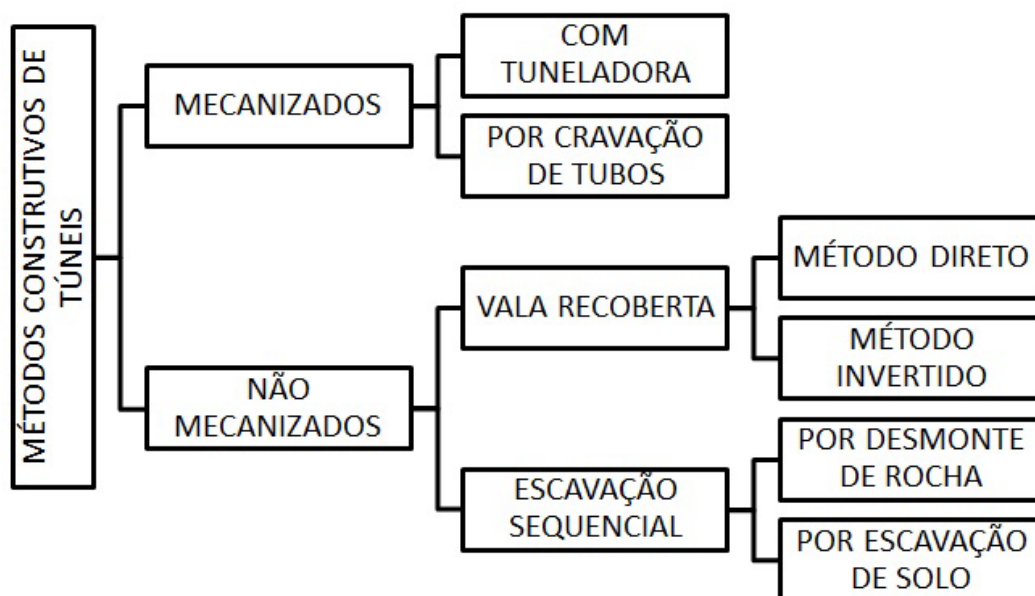


Figura 3. Classificação dos métodos construtivos de túneis.
Fonte: Travagin, 2012.

Segundo Travagin (2012), os fatores de maior relevância na definição do método construtivo são a finalidade, características do solo, cobertura do maciço sobre o túnel, ocupação da superfície, dimensões - seção transversal e extensão -, taxas de avanço requeridas – prazos -, e modalidade contratual.

2.2. ESCAVAÇÃO NATM

Dentre as metodologias “não mecanizadas” apresentadas na Figura 3 existe a escavação sequencial também conhecida por escavação *New Austrian Tunnelling Method* (NATM), Túnel Mineiro ou Novo Método Austríaco. O NATM foi divulgado na década de 1960 pelo engenheiro austríaco Rabcewicz.

Segundo Campanhã (1994), o princípio básico do NATM é fazer com que o terreno, em vez de atuar somente como carga sobre o revestimento do túnel, atue como um elemento colaborante da resistência da estrutura. Para se conseguir isso a superfície escavada deve ser imediatamente revestida com material flexível que

permita a sua deformação e a distribuição das tensões ao longo do seu perímetro. O revestimento flexível pode ser o concreto projetado, associado a cambotas de aço, ou telas de aço, ou chumbadores e tirantes, ou fibras de aço ou a combinação deles.

A escavação NATM possui 22 conceitos básicos que, de acordo com Campanhã (1994), no mínimo, 15 devem ser seguidos rigorosamente. Seguem os conceitos básicos que são:

- Conceito 1: o maciço circundante participa do suporte;
- Conceito 2: preservação da qualidade do maciço circundante;
- Conceito 3: afrouxamento no interior do maciço é prejudicial;
- Conceito 4: mobilização da capacidade portante do maciço;
- Conceito 5: caracterização geológico-geotécnica minuciosa do maciço;
- Conceito 6: adequação da parcialização frente às condições geotécnicas do maciço;
- Conceito 7: utilização do suporte adequado no momento certo;
- Conceito 8: eliminação de vazios na interface maciço-suporte;
- Conceito 9: utilização de ancoragens, cambotas e telas;
- Conceito 10: fechamento do arco invertido;
- Conceito 11: redução da seção escavada ao mínimo necessário;
- Conceito 12: preferência por seções arredondadas;
- Conceito 13: acompanhamento da execução por meio de leituras intensivas da instrumentação de campo;
- Conceito 14: estabilização das deformações do conjunto maciço suporte;
- Conceito 15: minimização das pressões neutras por meio de drenagem.

A Figura 4 apresenta uma seção transversal de túnel típico NATM. Essa seção apresenta seção arredondada (Conceito 12), com revestimento primário em concreto projetado (Conceito 8), fechamento do arco invertido (Conceito 10), dentre outros conceitos.

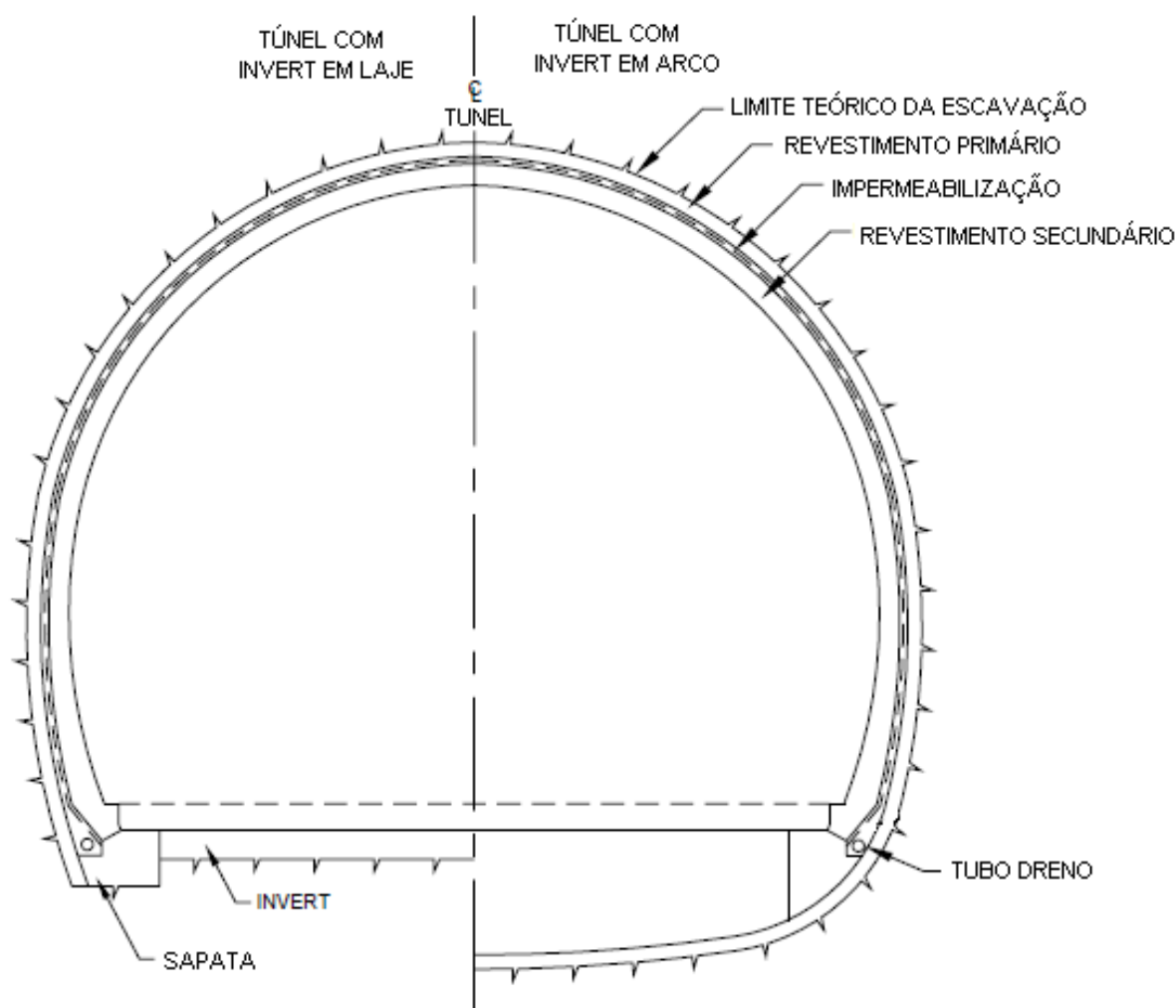


Figura 4. Seção transversal típica de túnel sequencial - NATM.
Fonte: Travagin, 2012.

2.3. DESMONTE DE ROCHA COM USO DE EXPLOSIVOS

A metodologia de Desmonte de rocha com uso de explosivos também é conhecida por Escavação a Fogo e *Drilling and Blasting* (Furar e Explodir).

A escavação de túneis por desmonte de rocha com uso de explosivos possui semelhanças com a metodologia NATM, segundo Travagin (2012). Ambas permitem a flexibilidade de geometria e a facilidade em lidar com condições geológicas imprevistas o que não é permitido com a escavação mecanizada com uso de equipamentos - tuneladoras.

A escavação por desmonte de rocha com uso de explosivos caracteriza-se, segundo Da Silva apud Travagin (2012), por ciclos de perfuração da rocha, carregamento de explosivos dentro dos furos executados, detonação dos explosivos e tratamentos do maciço, incluindo nesta etapa a execução de suporte, em concreto projetado, associado aos chumbadores, sistemas de ancoragem ou cambotas metálicas, como no NATM e apresentado na Figura 5.

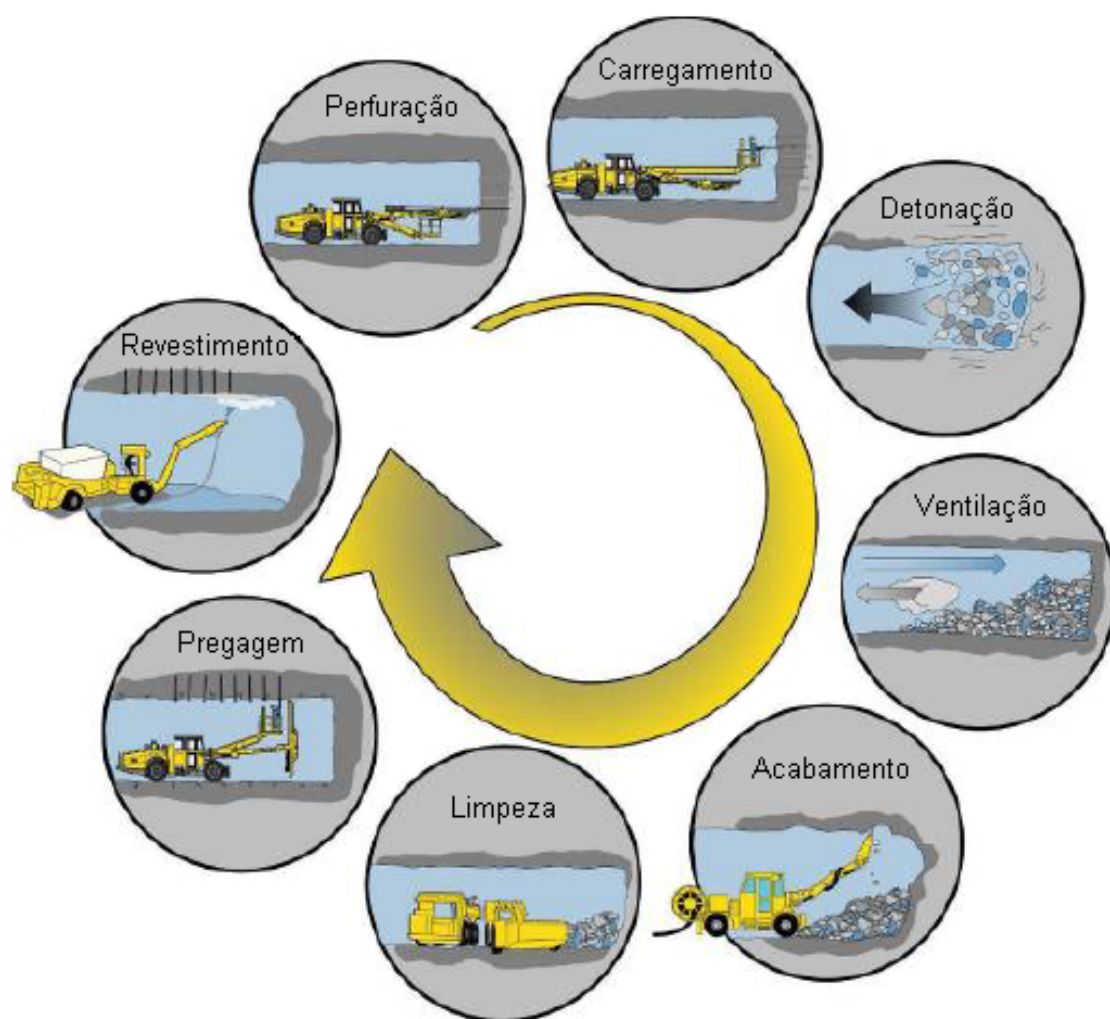


Figura 5. Ciclo de atividades na construção de túneis pelo Desmonte de Rocha com uso de explosivos.
Fonte: Travagin, 2012.

A metodologia é vantajosa por permitir uma diversidade de geometria, por seu preço ser inferior a escavação mecanizada com tuneladoras. Contudo, possui baixa produtividade e necessita de mão de obra especializada – *Blasters*.

2.4. EXPLOSÕES

De acordo com USP (2012), Explosões são ocorrências nas quais há uma súbita liberação de energia que se materializa em um aumento de pressão associada à liberação de gases e que pode eventualmente ser acompanhada de liberação de calor.

No Regulamento (R) R-105, o Exército Brasileiro define explosão como violento arrebentamento ou expansão, normalmente causado por detonação ou deflagração de um explosivo, ou, ainda, pela súbita liberação de pressão de um corpo com acúmulo de gases.

Segundo Silva (2007), as explosões podem ser mecânicas, nucleares, elétricas ou químicas. No caso do desmonte de rocha com uso de explosivos, a explosão é química mais especificamente uma detonação.

Silva (2007) define que detonação é uma reação de decomposição com participação exclusiva do oxigênio intrínseco da substância explosiva, ocorre a uma velocidade de transformação que varia de 1.500m/s a 9.000m/s com pressão. A reação química é iniciada pelo calor gerado pela compressão de uma onda de choque sobre o material explosivo. O explosivo se decompõe em gases a altas temperaturas gerando altas pressões e a fragmentação do material detonado.

O Exército Brasileiro também define detonação como fenômeno característico dos chamados altos explosivos que consiste na autopropagação de uma onda de choque através de um corpo explosivo, transformando-o em produtos mais estáveis, com liberação de grande quantidade de calor e cuja velocidade varia de 1000m/s a 8.500m/s.

Para que a explosão química aconteça é necessária afinidade química entre as substâncias e contato entre as moléculas dos reagentes.

A detonação pode ser dividida em quatro etapas. A primeira etapa é a detonação em si. A segunda etapa é a propagação das ondas de choque, seguida da expansão dos gases e, por fim, a movimentação do material fragmentado.

A Figura 6 apresenta o esquema de uma detonação, que segundo Silva (2007), ocorre à formação de onda de choque, a velocidade de avanço da zona de reação é maior que a velocidade do Som e a zona de reação e o produto da reação tem o mesmo sentido.

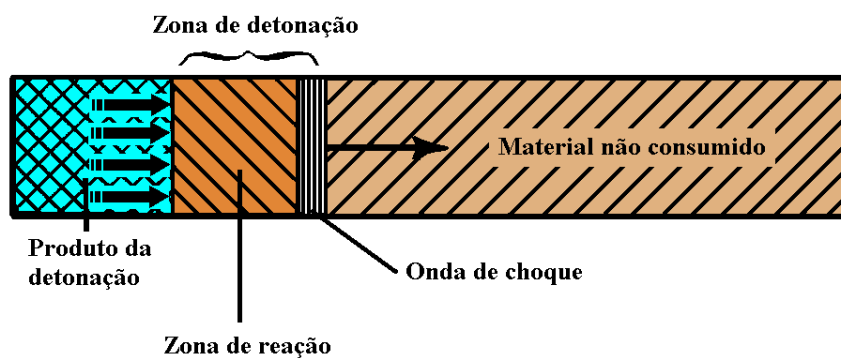


Figura 6. Esquema de uma detonação.
Fonte: Silva, 2007.

2.5. PLANO DE FOGO

De acordo com Silva apud Silva e Torres (2013), chama-se Plano de Fogo, o plano que engloba o conjunto dos elementos que permitem uma perfuração detonação correta de um túnel, galeria, poço, através do equipamento previsto para e dos tempos necessários ao cumprimento do cronograma.

As cinco formas de ataque, avanço de túnel, mais comuns segundo Silva apud Silva e Torres (2013) são seção plena, galeria superior e bancada, galeria lateral, abertura integral da galeria superior e bancada, galerias múltiplas. Na linguagem de campo,

são conhecidas por seção plena, rebaixo, calota e alargamento. A seção plena é quando toda a seção é escavada em uma única vez.

Segundo Silva e Torres (2013), o desmonte de rocha com uso de explosivos é realizada perfurando-se a rocha na frente de avanço do túnel com uma serie de furos de mina nos quais se coloca o explosivo, juntamente com uma linha silenciosa para túnel, cordel detonante e estopim espoletado.

O Plano de Fogo determinar os furos na seção do túnel e a sua sequencia de iniciação que determina como a rocha vai se romper. Segundo Silva e Torres (2013) os primeiros furos a detonarem devem criar um vazio para o qual se lança sucessivamente o resto da rocha. Esta abertura o pilão é a chave que abre a rocha ate uma profundidade que depende da forma e sucesso conseguido no mesmo.

As fases seguintes do desmonte repartidas no espaço remanescente devem se projetada para se obter o contorno desejado com um menor dano possível da rocha remanescente. A Figura 7 mostra as zonas de um desmonte de túnel.

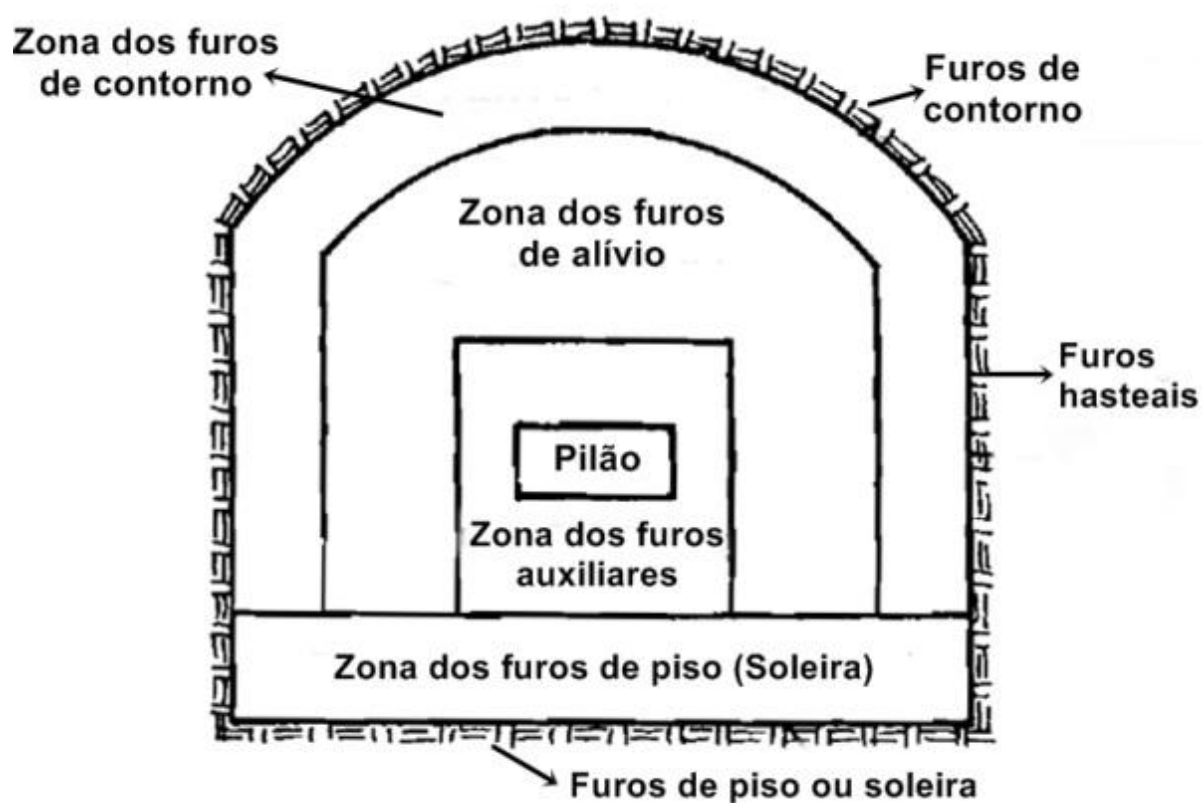


Figura 7. Zonas de uma seção de túnel.
Fonte: Silva e Torres, 2013.

Segundo Martins (1997), um Plano de Fogo deve conter informações relativas ao diâmetro do furo, comprimento do furo, subfuração, inclinação do furo, afastamento, espaçamento, carga por furo, consumo específico e tamponamento.

2.6. EXPLOSIVOS QUÍMICOS

Martins (1997) define como explosivo químico toda substância ou mistura capaz de reagir quimicamente quando iniciado, originando grandes quantidades de calor e de gases a alta pressão e temperatura de forma que o calor acumulado sobre o gás, no estado de uma energia se transforma em trabalho mecânico. Na Figura 8 é apresentado um explosivo no momento de sua detonação com gases gerados.

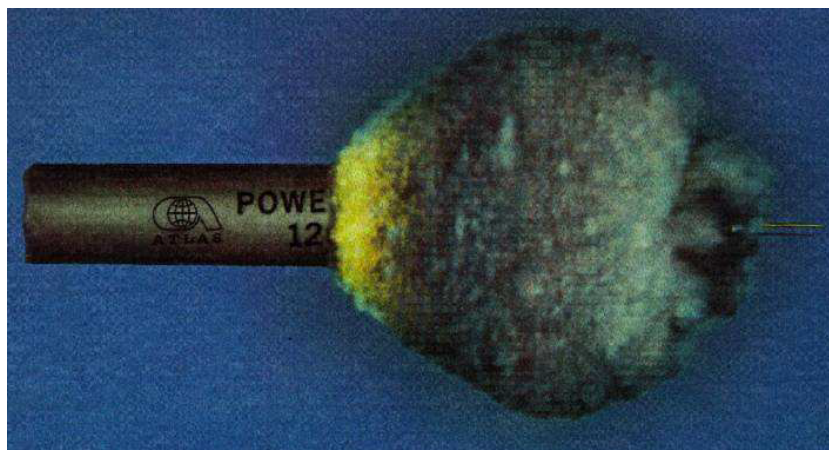


Figura 8. Explosivo detonando.
Fonte: Martins, 1997.

Os explosivos são classificados de acordo com o uso, a velocidade de detonação e o emprego. As principais características dos explosivos são velocidade, potência, sensibilidade e densidade.

De acordo com Silva (2007), os explosivos químicos são divididos de maneira clássica conforme Figura 9.



Figura 9. Esquema de classificação de explosivos químicos.
Fonte: Silva, 2007.

É através do sistema de iniciação, apresentado na Figura 10, que uma carga explosiva é detonada, sendo esse sistema formado pelo gerador de energia, transmissor de energia, iniciador e a carga explosiva propriamente dita. O sistema também é conhecido como trem de fogo ou cadeia explosiva.

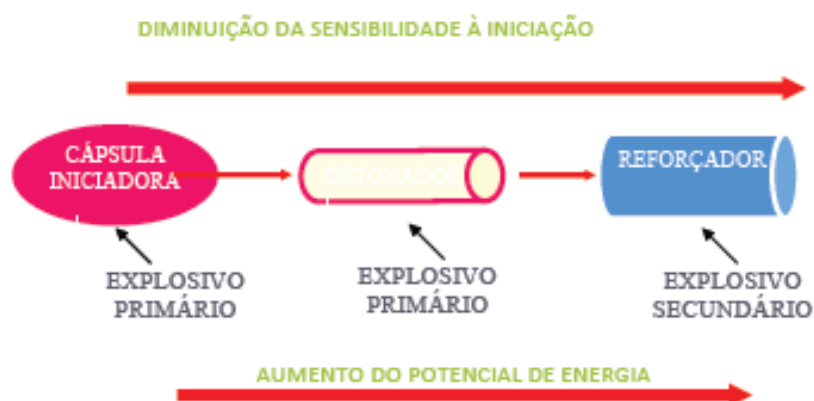


Figura 10. Esquema de um sistema de iniciação.
Fonte: Silva, 2007.

2.7. IMPACTOS AMBIENTAIS DA DETONAÇÃO

Os principais impactos ambientais decorrentes de desmontes de rochas com uso de explosivos citados por Ferreira; Daitx e Dallora Neto (2006) estão associados à dissipação da fração de energia liberada pelo explosivo na detonação que não é transformada em trabalho útil. Tal fração de energia dissipa-se, em sua maior parte, através do maciço circundante sob a forma de vibrações, e da atmosfera sob a forma de ruído e sobrepressão atmosférica. Gera, complementarmente, poeira podendo ainda ocasionar danos ao maciço remanescente e ultralançamentos. Outro efeito indesejável na detonação é a geração de gases tóxicos.

No diagrama apresentado na Figura 11, Silva (2007) demonstra os produtos gerados no desmonte de rocha com uso de explosivos e que são responsáveis pelos impactos ambientais.

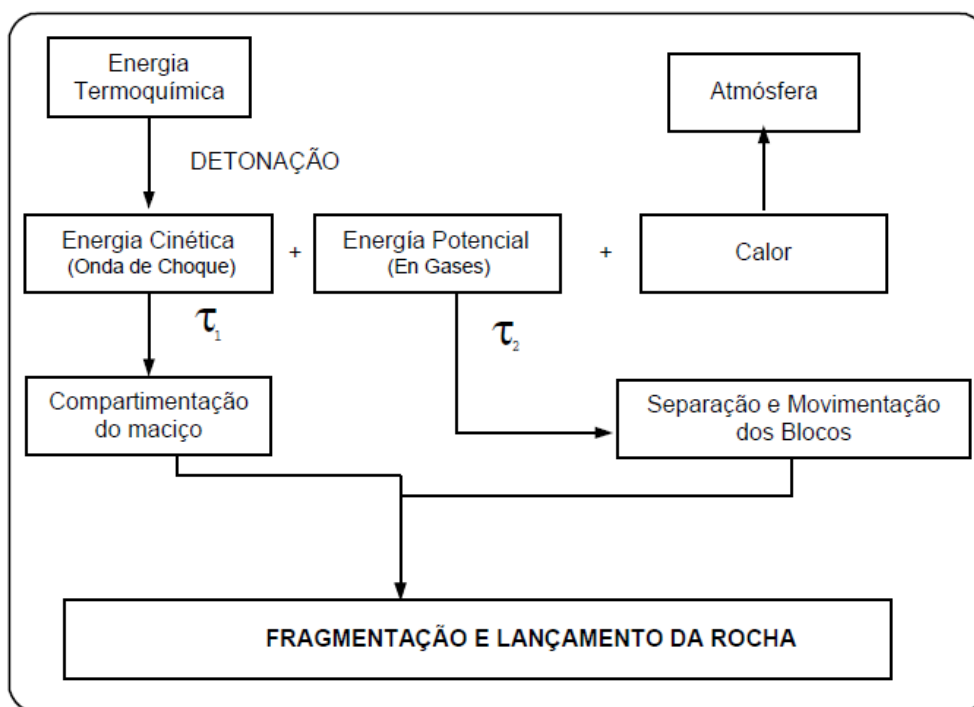


Figura 11. Produtos gerados no desmonte de rocha com uso de explosivos.
Fonte: Silva, 2007.

Além das vibrações do terreno, também podem ser citados outros impactos ambientais ocasionados pelas detonações sem controle, quais sejam: os recalques das áreas sobre o túnel em escavação, a instabilidade do maciço remanescente, a projeção de fragmentos e a produção de poeiras e ruídos.

Nas Figuras 12 e Figura 13, é mostrado o efeito do explosivo em um maciço rochoso, com a fragmentação da rocha no piso e a geometria da seção definida pela furação conforme o Plano de Fogo.

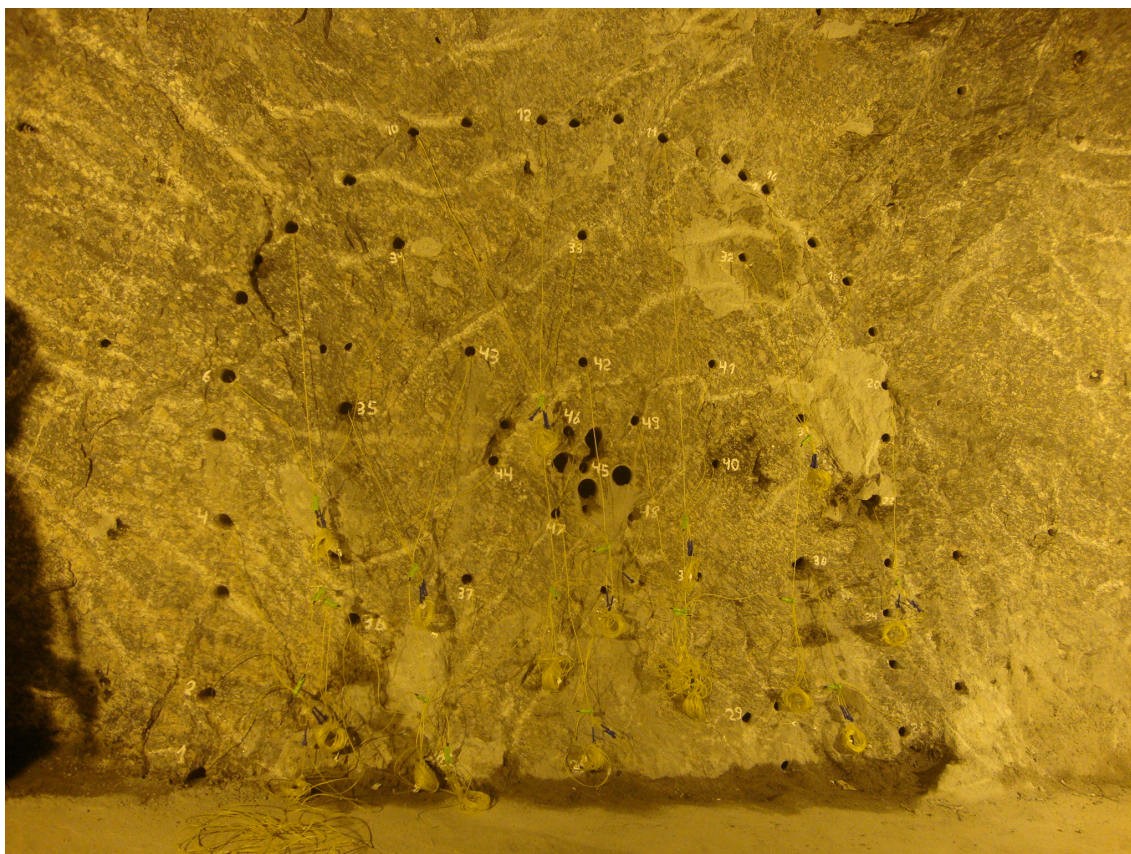


Figura 12. Foto do maciço com furos e explosivos montados conforme Plano de Fogo.
Fonte: Acervo da empresa.



Figura 13. Foto depois da detonação, em outro ângulo, mostrando o avanço na área marcada.
Fonte: Acervo da empresa.

2.7.1. Ultralançamento de fragmentos de rocha

Dentre os impactos ambientais do desmonte de rocha com uso de explosivo, o ultralançamento de fragmentos de rocha é o que representa maior perigo pela possibilidade de ocasionar acidentes com vítimas e danos em estruturas residenciais.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em sua Norma Brasileira Registrada (NBR) 9653 (2005), define ultralançamento como o “arremesso de fragmentos de rocha decorrente do desmonte com uso de explosivos, além da área de operação”. A norma não fornece parâmetros para o ultralançamento de fragmentos.

Segundo Ferreira; Daitx e Dallora Neto (2006), a prevenção do ultralançamento de fragmento acontece através da elaboração de um bom plano de fogo, não sendo suficiente para evitá-los. As causas de ultralançamentos citadas por Silva abud Ferreira; Daitx e Dallora Neto (2006) são afastamento insuficiente ou excessivo; impróprio alinhamento dos furos; iniciação instantânea de furos em filas consecutivas; ocorrência de anomalias geológicas; tampão inadequado; fragilização da face livre ou ultraquebras decorrentes de detonações anteriores.

2.7.2. Ruído e Sobrepressão

O ruído gerado na detonação de rocha com uso de explosivos é proveniente da detonação, do trânsito de caminhões e máquinas da perfuração e outras atividades. Para a comunidade vizinha, o incomodo ambiental é provocado em maior intensidade pelos ruídos das detonações, mas também pelo trânsito de veículos e equipamentos apesar desses serem diluídos pelo trânsito já existente nas áreas urbanas.

A sobrepressão atmosférica é causada pela movimentação do material desmontado ou por perda de energia durante a detonação de cargas explosivas (liberando gases confinados de modo inadequado). Esse fenômeno é normalmente mais intenso na frente da face em desmonte e geralmente se confunde com o ruído da explosão.

Definindo sobrepressão atmosférica como toda propagação de uma onda elástica pelo ar, Eston apud Ferreira; Daitx e Dallora Neto (2006) considera ruído como a sobrepressão situada na faixa de frequências entre 20Hz e 20.000Hz e considerada desagradável segundo algum critério humano. As sobrepressões com frequências inferiores a 20Hz denominam-se infrassons e aquelas superiores a 20.000Hz, ultrassons.

Sanchez e Eston apud Ferreira; Daitx e Dallora Neto (2006) consideram, entretanto, que as principais fontes de sobrepressão em um desmonte de rochas com explosivos estão relacionadas a liberação de gases através de fraturas e da parte superior da coluna de explosivos, com ejeção do tampão; a detonação de explosivos não confinados; o deslocamento da fração do maciço rochoso sujeita ao desmonte; a refração das ondas sísmicas através da atmosfera.

Suas condições de dispersão dependem das condições atmosféricas existentes no local no momento do desmonte, como direção e intensidade do vento, presença de inversões térmicas, nebulosidade, temperatura e pressão.

Seus efeitos se somam e se confundem com os das vibrações provocadas no terreno e vão de incômodos à população vizinha a danos em edificações.

O limite de pressão acústica admitido pela ABNT NBR 9653 (2005) é de 134dB_L pico no ambiente externo à área de operação da mina, assim entendida como aquela sujeita a concessão, licenciamento ou área de propriedade da empresa. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) recomenda, com base na norma D7.013: Mineração por Explosivos, limite máximo de 128dB_L linear-pico de sobrepressão do ar, medido fora dos limites da propriedade da mineração da área por ela ocupada sob qualquer forma, como posse, arrendamento. O limite

apresentado pela NBR é referente ao valor que pode causar danos a estruturas enquanto que o valor fornecido pela CETESB é para conforto da comunidade.

Contudo, durante a montagem dos explosivos e seus acessórios conforme o Plano de Fogo, os trabalhadores estão expostos a outros ruídos gerados por equipamentos que são controlados pela Norma Regulamentadora (NR) 15: Atividades e Operações insalubres. O anexo 01 da NR 15 define os limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente. Os níveis de ruído contínuo ou intermitente devem ser medidos em decibéis (dB) com instrumento de nível de pressão sonora operando no circuito de compensação “A” e circuito de resposta lenta (SLOW). As leituras devem ser feitas próximas ao trabalhador. Os tempos de exposição aos níveis de ruído não devem exceder os limites de tolerância. No caso do estudo, a exposição é de 08 horas, com limite de ruído não superior a 85dB(A).

Como parâmetro de análise do ruído ambiental utiliza-se a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 01 (1990) que determina em seu parágrafo II que “São prejudiciais à saúde e ao sossego público níveis de ruído superiores ao determinado na norma NBR 10151: Avaliação de Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade”. Esta Norma fixa as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades. Ela especifica um método para a medição de ruído, a aplicação de correções nos níveis medidos (de acordo com a duração, característica espectral e fator de pico) e uma comparação dos níveis corrigidos, com um critério que leva em conta os vários fatores ambientais. O método de avaliação envolve as medições do nível de ruído, na escala de compensação A, em decibels. Os limites máximos de ruídos toleráveis definidos na norma ABNT NBR 10151 (2000) para cada tipo de ocupação estão listados na Tabela 2.

Tabela 2. Nível Critério de Avaliação para ambientes externos em dB(A).

Tipos de Áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas.	45	35
Área estritamente residencial/ urbana/ ou de escolas.	50	45

Continua

Continuação		
Tipos de Áreas	Diurno	Noturno
Área mista, predomínio residencial.	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa.	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: ABNT NBR 10151,2000.

2.7.3. Poeira e Gases

Outro impacto ambiental causado pela detonação é o material particulado em suspensão, conhecida como poeira, que é gerado durante a perfuração do maciço por ferramentas de corte, aliado à limpeza do furo com o uso de ar comprimido, e durante a detonação com a ejeção de material constituinte do tampão e de fragmentos gerados. Segundo Ferreira; Daitx e Dallora Neto (2006), o uso de equipamentos de perfuração com coletores de pó ou a realização de perfuração a úmido são medidas de contenção. Os efeitos sobre a comunidade vizinha são minimizados quando as detonações são realizadas em condições atmosféricas que facilitem a dispersão da poeira.

Além da perfuração dos furos, a detonação em si, a transferência, estocagem, carregamento e transporte também são fontes geradoras de material particulado em suspensão.

Ferreira; Daitx e Dallora Neto (2006) afirma que a poeira também é nociva à saúde humana, provocando doenças no sistema respiratório, como as pneumoconioses. Os principais afetados são os trabalhadores e, em grau variado, a comunidade vizinha também é afetada.

Além da poeira, a detonação de explosivos gera gases tóxicos e poeira. Os gases mais comuns após a detonação de explosivos industriais em subsolo são o Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂), Dióxido de Nitrogênio (NO₂),

Gases nitrosos ($\text{NO} + \text{NO}_2$), Gás de Amônia (NH_3), Metano (CH_4), Gás sulfídrico (H_2S), Dióxido de enxofre (SO_2) e Oxigênio (O_2). A partir do valor detectado por concentração do gás, defini-se o tempo de entrada da equipe ao local de trabalho. O tempo pode variar de 30, 45 ou 60 minutos buscando a diluição com o auxílio da ventilação. Com isso, em atividades subterrâneas, é importante prever ventilação por um tempo determinado para dispersão dos gases.

No caso das poeiras, especificamente as poeiras contendo sílica livre cristalizada, o Anexo 12 da NR 15 do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) estabelece três Limites de Tolerância (LT) distintos que variam em função da porcentagem de quartzo contida na amostra. O limite de tolerância é dado na eq. (1).

$$\text{LT} = \frac{8,50}{\% \text{ quartzo} + 10} \text{ mppdc} \quad (1)$$

O limite de tolerância para poeira respirável, expresso em mg/m^3 , é dado na eq. (2).

$$\text{LT} = \frac{8,50}{\% \text{ quartzo} + 2} \text{ mg}/\text{m}^3. \quad (2)$$

O limite de tolerância para poeira total (respirável e não respirável), expresso em mg/m^3 , é dado pela eq. (3).

$$\text{LT} = \frac{24,00}{\% \text{ quartzo} + 3} \text{ mg}/\text{m}^3. \quad (3)$$

A NR 15 define LT como sendo "a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará dano à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral".

No caso do impacto a comunidade vizinha, a legislação específica para as poeiras é a Resolução CONAMA nº 05 (1989) que instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR) e a Resolução CONAMA nº 03 (1990) que regulamenta alguns poluentes atmosféricos.

A Resolução CONAMA nº 03 (1990) regulamenta os seguintes poluentes atmosféricos partículas totais em suspensão (PTS), fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio, dióxido de nitrogênio.

A Resolução define padrões Primários de Qualidade do Ar como as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, podem afetar a saúde da população. Já os Padrões Secundários de Qualidade do Ar são definidos como as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Como padrão primário para partículas totais em suspensão, a concentração média geométrica anual de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar e a concentração média de 24 horas de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

Como padrão secundário, a Resolução define como concentração média geométrica anual de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar e concentração média de 24 horas de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

2.7.4. Vibração do terreno

Nos locais situados no entorno da área da detonação, a energia transmitida ao maciço rochoso é pressentida na forma de uma vibração do terreno, que gera desconforto ambiental à comunidade vizinha e aos trabalhadores e, algumas vezes, pode causar tremor das edificações, com oscilação e/ou queda de objetos, e provocar trincas em construções.

Ferreira; Daitx e Dallora Neto (2006) afirma que a fração da energia liberada pela detonação de cargas explosivas, transmitidas ao maciço e não absorvidas na realização de trabalho útil, provoca perturbações que se manifestam pela movimentação de suas partículas constituintes em torno de sua posição de equilíbrio, que será tão acentuada quanto maior for a intensidade da perturbação, dentro dos limites elásticos do meio.

Segundo Ferreira; Daitx e Dallora Neto (2006), vibrações são a resposta do maciço a tais perturbações e são quantificadas através das grandezas deslocamento, aceleração e velocidade de partícula, assim denominada para diferenciá-la da velocidade de propagação da onda. Dadas às características da fonte, essas vibrações são classificadas como transientes. É, provavelmente, a principal causa de animosidade entre empreendimentos que utilizam em sua atividade produtiva o desmonte de rochas com a utilização de explosivos e sua vizinhança.

Segundo Ferreira (2013), os parâmetros de medição da vibração do terreno mais utilizados são a velocidade, a aceleração e o deslocamento da partícula no terreno, juntamente com sua respectiva frequência. As vibrações do terreno são medidas através da Velocidade de Vibração de Partícula de Pico expresso em milímetro por segundo. Este número é o valor máximo instantâneo da velocidade de uma partícula em um ponto durante um determinado intervalo de tempo, considerado como sendo o maior valor dentre os valores de pico das componentes de velocidade de vibração de partícula para o mesmo intervalo de tempo. É este valor que se utiliza para avaliar o potencial de danos das vibrações. Por sua vez, o Pico da Componente de Velocidade de Vibração de Partícula é o máximo valor de qualquer uma das três componentes ortogonais de velocidade de vibração de partícula medida durante um dado intervalo de tempo, ABNT NBR 9653 (2005). Os valores devem atender ao gráfico apresentado na Figura 14.

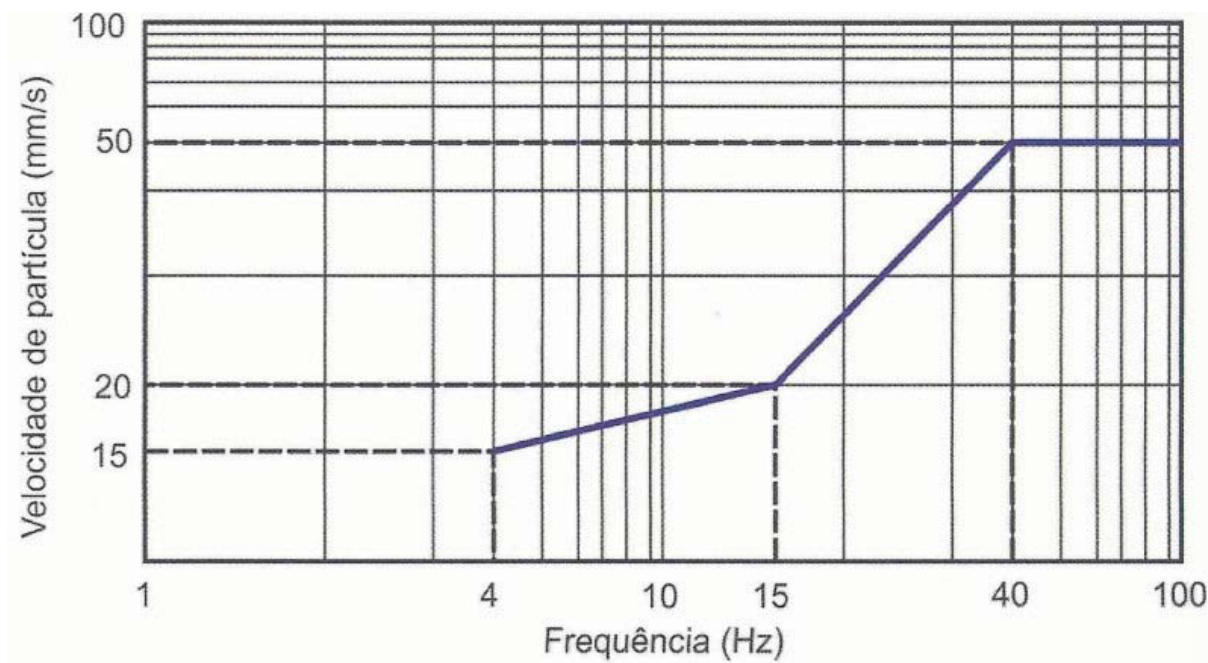


Figura 14. Limites de velocidade de vibração de partícula de pico e faixas de frequências.
Fonte: Norma ABNT NBR 9653, 2005.

As partículas do terreno oscilam com uma velocidade de partícula variável. Em qualquer ponto ao longo do percurso, o movimento pode ser definido em termos de três componentes mutuamente perpendiculares (geralmente transversal, vertical e longitudinal ou radial). Para garantir que a velocidade de vibração de partícula de pico seja medida corretamente, as três componentes devem ser medidas simultaneamente.

O monitoramento das vibrações nas escavações em túneis, executado por meio da instrumentação de campo, capta a velocidade de vibração de partícula de pico comparando com os limites aceitáveis para que não ocorram danos às estruturas das edificações vizinhas. As normas técnicas pertinentes estabelecem os limites para a velocidade de vibração de partícula de pico e respectivas frequências.

Além da vibração gerada na detonação, o tráfego de caminhões que retiram o material fragmentado proveniente da detonação também gera vibração e desconforto à comunidade vizinha.

2.8. LEGISLAÇÃO

No Brasil, a Constituição Federal prevê no decreto nº 24.602, que o Ministério da Defesa, através do Exército Brasileiro, é responsável por autorizar e fiscalizar a produção e o comércio de material bélico. A norma mestra do Exército Brasileiro é o R-105: Regulamento para a fiscalização de produtos controlados que é um anexo do Decreto nº 3665. Além do regulamento R-105, existem outras portarias que abrangem desde a fabricação até a aplicação dos explosivos, passando pelo transporte e armazenamento. Na Tabela 3 são apresentadas as normas do Exército Brasileiro relacionadas com a atividade de explosivos.

Tabela 3. Normas do Exército Brasileiro

Portaria	Objetivo
ITA 03 - 94	Regular controle, aquisição e transporte de explosivos e acessórios nas áreas de garimpo.
ITA 09A -00	Revogada pela Portaria nº 03 COLOG
ITA 11C - 00	Revogada pela Portaria nº 03 COLOG
ITA 18 - 99	Controle dos depósitos rústicos móveis, utilizados por empresas que realizam detonações, em benefício próprio ou prestando serviços para terceiros.
ITA 22A - 01	Revogada pela Portaria nº 03 COLOG
Portaria 18 - DLog de 07/11/2005	Revogada pela Portaria nº 03 COLOG
Portaria 09 - DLog de 31/12/2008	Revogada pela Portaria nº 03 COLOG
Portaria 17 - DLog, de 14/10/2002	Marcação de explosivos plásticos e de explosivos laminados para fins de detecção
Portaria 03 - COLOG de 10/05/2012	Aprova as normas relativas às atividades com explosivos e seus acessórios e dá outras providências.

Continua

Continuação

Portaria	Objetivo
R-105	Estabelecer as normas necessárias para a correta fiscalização das atividades exercidas por pessoas físicas e jurídicas, que envolvam produtos controlados pelo Exército.

Fonte: <http://www.dfpc.eb.mil.br/index.php/legislacao/69>

Além do Ministério da Defesa, o Ministério do Trabalho e Emprego também possui normas regulamentadoras que influenciam diretamente as atividades com uso de explosivos, além da norma NR 18: Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção que é aplicável a qualquer obra e da norma NR 9: Programa de prevenção de riscos ambientais. Na Tabela 4 são citadas as Normas Regulamentadoras pertinentes ao tema explosivos.

Tabela 4. Normas Regulamentadoras

Normas	Objetivo
NR 15: Atividades e operações insalubres	Estabelece os procedimentos obrigatórios, nas atividades ou operações insalubres que são executadas acima dos limites de tolerância previstos, comprovadas através de laudo de inspeção do local de trabalho.
NR 16: Atividades e Operações Perigosas	Estabelece os procedimentos nas atividades exercidas pelos trabalhadores que manuseiam e/ou transportam explosivos ou produtos químicos, classificados como inflamáveis, substâncias radioativas e serviços de operação e manutenção.
NR 19: Explosivos	Referente às atividades de fabricação e comercialização de explosivos.
NR 22: Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração	Referente às atividades de mineração, sejam elas subterrâneas ou a céu aberto.

Fonte: Elaboração própria, 2014.

Além da esfera Federal, a Secretaria de Obras da cidade do Rio de Janeiro, através da Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro (GEO-RIO), criou decretos e leis referentes às atividades com uso de explosivos, apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Leis e Decretos da Prefeitura do Rio de Janeiro

Decretos e Leis			Objetivo
Decreto “E” Nº 2.661			Orientação técnica na exploração de pedreiras, e dá outras providências.
15/01/1960			
Lei 1.574	11/12/1967		Instituem normas genéricas sobre licenciamento, execução e fiscalização de obras, zoneamento, parcelamento de terra, instalações e explorações de qualquer natureza.
Decreto “E”	2.757		Dispõe sobre o regime de exploração de pedreiras
01/04/1969			
Decreto “E”	3.800		Suplemento Regulamento de Licenciamento e Fiscalização.
20/04/1970			
Resolução GEO-RIO 001			Normas gerais para cadastramento de firmas e profissionais autônomos habilitados para obras e serviços licenciados pela GEO-RIO.
05/08/1993			
Resolução GEO-RIO 002			Normas gerais para licenciamento de obras de contenção de talude, serviços de terraplanagem e exploração de jazidas.
05/08/1993			
Decreto nº21682	de		Extração de substâncias minerais do solo ou subsolo, exploração de recursos hídricos e obras de recuperação/ estabilização de áreas degradadas por atividade de mineração/terraplanagem e dá outras providências.
04/07/2002:			

Fonte: Elaboração própria, 2014.

Dentro da ABNT, a norma referente ao uso de explosivos é a ABNT NBR 9653 (2005): Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas

minerações em áreas urbanas cujo objetivo é estabelecer parâmetros para a segurança da comunidade do entorno, referindo-se a danos estruturais e ao conforto ambiental. A norma ABNT NBR 10151 (2000): Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento não é específica para a avaliação do ruído causado pelo uso de explosivos, mas permite avaliar os demais ruídos gerados pela atividade.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS

O estudo de caso abordou a obra Expansão General Osório, localizada entre bairros de Copacabana e Ipanema na cidade do Rio de Janeiro, ao lado da, já construída, Estação General Osório. O objetivo da expansão da estação é interligar a Linha 1 e a Linha 4 do sistema metroviário. Na Figura 15 é apresentada a implantação da Expansão General Osório nas cores azuis e a Estação já construída em cinza claro.



Figura 15. Implantação da obra Expansão General Osório.
Fonte: Acervo da obra Expansão General Osório.

O bairro de Copacabana está localizado numa estreita faixa densamente ocupada entre o mar e maciços rochosos. A solução encontrada foi orientar o projeto desse trecho da Linha 1 para debaixo dos maciços rochosos. Somente os túneis de acesso



Figura 17. Imagem aérea da orla de Copacabana e da favela Pavão Pavãozinho.
Fonte: <http://urbsurbis.wordpress.com/>

3.2. METODOLOGIAS

A metodologia adotada para execução dessa monografia foi um levantamento bibliográfico sobre escavação de túnel com ênfase no desmonte de rocha com uso de explosivos. Os temas explosão, explosivos químicos, tipos de explosão e seus efeitos foram estudados através de materiais obtidos em sites especializados, teses de mestrado e no grupo de estudo do tema mantido pela empresa responsável pela execução da obra.

Também foram levantadas as normas e portarias referentes ao tema, buscando os requisitos pertinentes ao uso de explosivos em áreas urbanas.

O ponto principal do levantamento bibliográfico foi identificar os impactos ambientais

da detonação e rocha com uso de explosivos em áreas urbanas e as medidas para mitigar esses riscos.

Após o Estudo, foi a vez de verificar como esses impactos ambientais eram mitigados na obra analisada e como os requisitos normativos eram atendidos. As constatações foram feitas em conversa com a equipe da obra, profissionais experientes e pela participação do autor em obras de metro há mais de cinco anos.

4. RESULTADOS

Os resultados foram obtidos após visitas técnica a obra para analisar como ela mitiga os impactos ambientais causados pela detonação com uso de explosivos. Outro ponto verificado foi a implantação dos requisitos da legislação pertinente ao assunto.

4.1. LICENÇAS

Diversas licenças, emitidas pelas três esferas governamentais, são necessárias para execução de uma obra que utiliza explosivo. As licenças são amarradas entre si, ou seja, a Divisão de Fiscalização de Armas e Explosivos (DFAE) da Polícia Civil do Estado do Rio de Janeiro só concede a licença se a empresa antes tiver obtido as licenças do Exército Brasileiro e da GEO-RIO. A Tabela 6 apresenta as licenças da obra.

Tabela 6. Relação de Licenças da Obra

Cedente	Licença
PCRJ	Manter em uso o canteiro de obras, túnel de serviço / ventilação / saída de emergência da via metroviária e obras.
Exército Brasileiro	Direito a transportar e utilizar explosivos em obras licenciadas pela GEO-RIO.
Exército Brasileiro	Registro junto a Região Militar que dá direito a adquirir e utilizar produtos controlados/ explosivos.
D.F.A.E.	Licença anual.
D.F.A.E.	Licença de desmonte.
D.F.A.E.	Licença de <i>blaster</i> . (Diversos)
GEO-RIO	Licença de Jazida.
Continua	

Continuação

Cedente	Licença
GEO-RIO	Cadastro/ Inscrição na GEO-RIO.
INEA	Realizar complementação das obras de implantação de novo trecho da Linha 1 do Metrô entre a Estação Siqueira Campos e a Praça General Osório.
INEA	Aprovando a concepção e o início das obras de construção de um novo túnel de ventilação, saída de emergência e acesso de passageiros a estação General Osório, e dois túneis de serviço provisório - Trecho entre Estação Metroviária de General Osório e Lagoa.

Fonte: Elaboração própria, 2014.

As licenças são válidas por um período determinado, que varia conforme o órgão cedente, e o seu vencimento é controlado pelo Gerente Administrativo e Financeiro e sua equipe.

4.2. PROCEDIMENTOS DOCUMENTADOS

A empresa responsável pela construção possui certificação de qualidade na norma ABNT NBR ISO 9001 (2008): Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos com escopo em obras metroviárias. Com isso, as obras dentro desse escopo precisam ter o Sistema de Gestão da Qualidade baseado na norma implementado.

A obra Expansão General Osório possui o Sistema de Gestão da Qualidade implementado e consolidado conforme conclusão das auditoras internas e externas realizadas.

A detonação de rocha com uso de explosivo é uma atividade dentro da escavação NATM que é considerado um serviço controlado e, portanto, possui Instrução de Trabalho, Formulários e Registros controlados e arquivados no setor da Qualidade.

Além da Instrução de Trabalho, outros dois documentos estão envolvidos com a atividade: Procedimento Executivo do Plano de Emergência e Plano de Segurança para Manuseio de Explosivos. O primeiro documento refere-se a toda e qualquer emergência que possa vir a acontecer dentro do túnel, não sendo exclusivo da atividade de detonação. O segundo documento foi criado para atender a Portaria nº 03 (2012) do Comando Logístico do Exército Brasileiro (COLOG).

A qualificação de cada trabalhador é avaliada antes de sua contratação verificando se as competências (habilidade, experiência e escolaridade) são atendidas conforme requisito mínimo definido no documento Matriz de Competência. Cada função possui uma competência específica relacionada com o que a obra necessita e com a Classificação Brasileira de Ocupações (CBO).

Para todos os serviços controlados é ministrado um treinamento específico capacitando os trabalhadores envolvidos nas atividades como apresentado na Figura 18. Os treinamentos são registrados numa Lista de Presença e cadastrados em programa específico do setor de Recursos Humanos. Com esse programa é possível verificar quais treinamentos cada trabalhador recebeu.



Figura 18. Treinamento ministrado por Engenheiro.
Fonte: Acervo da empresa.

4.3. CONTROLE DE ENTRADA E SAÍDA DE PESSOAS

Na entrada do túnel está localizado um painel com um crachá com a matrícula de cada um dos trabalhadores autorizados a entrar no túnel, Figura 19. Esse crachá possui um lado verde indicando que o trabalhador está fora do túnel e um lado vermelho indicando que o trabalhador está dentro do túnel.

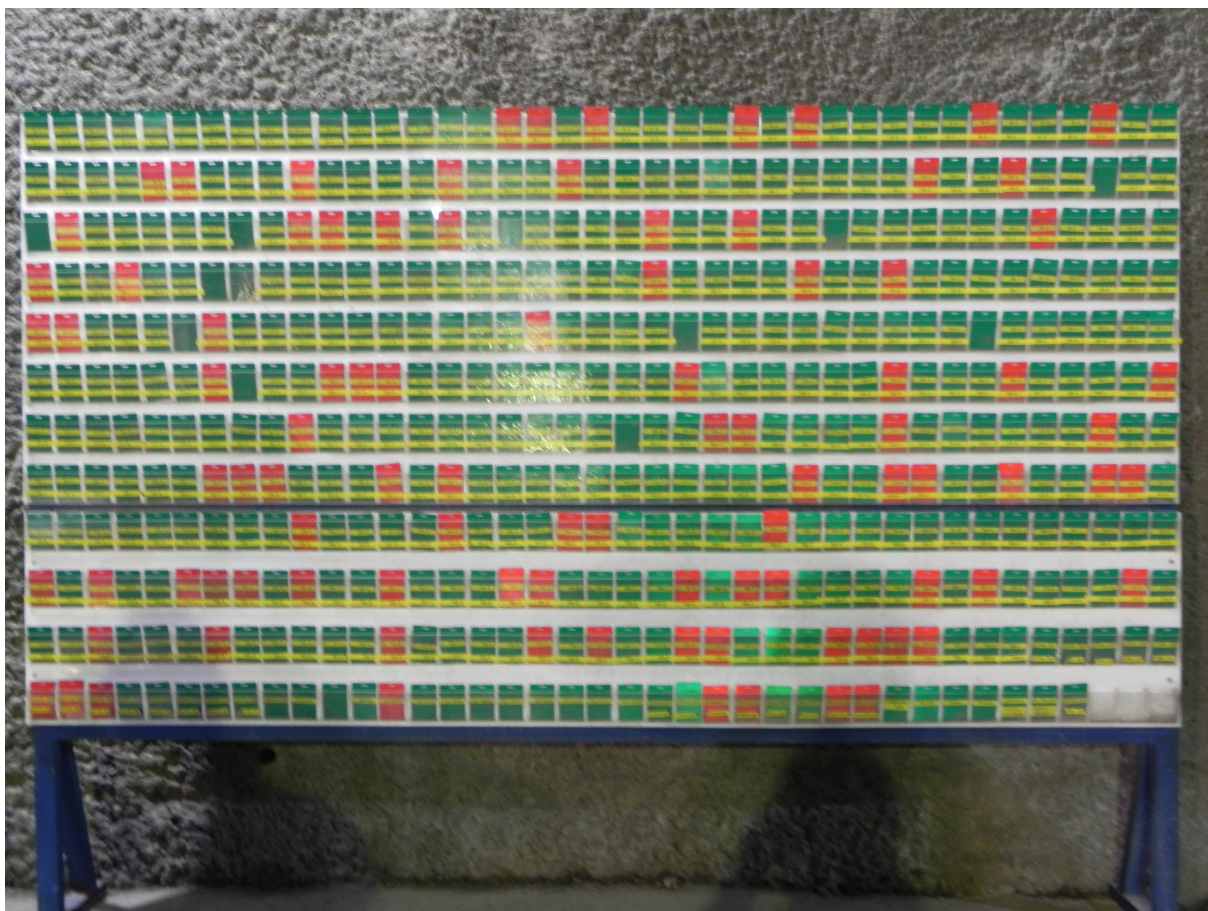


Figura 19. Painel de crachás para controle de entrada e saída.
Fonte: Acervo da empresa.

Os portões do túnel somente são fechados para a detonação após o Encarregado Geral verificar se todos os crachás estão verdes. Caso exista algum vermelho, o trabalhador é procurado no interior do túnel e fora também, pois pode acontecer do trabalhador não virar o crachá.

Além do controle dos crachás, também é realizada uma “chamada” dos trabalhadores do lado de fora certificando que todos estão fora do túnel.

4.4. PORTÃO DE ACESSO E ISOLAMENTO

O acesso à obra Expansão General Osório é feito através do Túnel de Emergência e Ventilação Gastão Bahiana que foi anteriormente construído para apoio às obras da

Estação General Osório e Estação Cantagalo. O emboque desse túnel possui um portão, mostrado na Figura 20, com a finalidade de isolar, atenuar o deslocamento de ar resultado das detonações, e permitir que o material em suspensão decante no interior do túnel. Outra função importante é mitigar os impactos do ultralancamento de fragmentos de rocha na comunidade vizinha e nos trabalhadores.



Figura 20. Portão de Isolamento e único acesso ao Túnel da obra estudada.
Fonte: Acervo da empresa.

Essa barreira de isolamento fica fechada durante duas horas após as detonações. Nesse período, nenhum trabalhador está autorizado a entrar no túnel.

O acesso ao túnel é liberado pelos Técnicos e Engenheiro da equipe de Segurança do Trabalho que entram no túnel, através de uma porta pequena localizada no Portão de Isolamento com máscaras com filtro, para realizar medições, com equipamento calibrado, da concentração de gases. Quando a medição dos gases

apresenta abaixo do solicitado na norma NR 15 e a taxa de oxigênio acima do limite de tolerância da norma, o acesso é liberado.

4.5. MONTAGEM DOS EXPLOSIVOS

Os explosivos são transportados, para frente de serviço, separados dos acessórios que forma o sistema de iniciação, conforme apresentado na Figura 21 e na Figura 22. Na frente de serviço, o Técnico Especializado coordena a montagem conforme planejado na Ficha de Verificação de Serviço (FVS) Plano de Fogo. Durante essa atividade, não é permitido uso de material ou equipamento que gere faísca.



Figura 21. Acessórios transportados separado dos explosivos.
Fonte: Acervo da empresa.



Figura 22. Explosivos transportados separado dos acessórios.
Fonte: Acervo da empresa.

4.6. SISTEMA DE EXAUSTÃO E INSUFLAMENTO

Para garantir a evacuação dos gases provenientes do uso de equipamentos e das detonações, e ainda de manter a salubridade para os trabalhadores, a obra possui implantado um Sistema de Exaustão e Insuflamento de ar com a saída para a superfície feita por meio de um duto de exaustão dotada de filtro de gases. Toda a obra é servida por dutos de ventilação como os da Figura 23.



Figura 23. Tubos do Sistema de Insuflação e Ventilação no interior do túnel.
Fonte: Acervo da empresa.

O Corpo da Estação está sendo utilizado pelo sistema de apoio do TBM equipamento responsável pela escavação do trecho sul da Linha 4. Para evitar interferências, o duto de exaustão foi enterrado no trecho do Corpo da Estação, como apresentado na Figura 24.

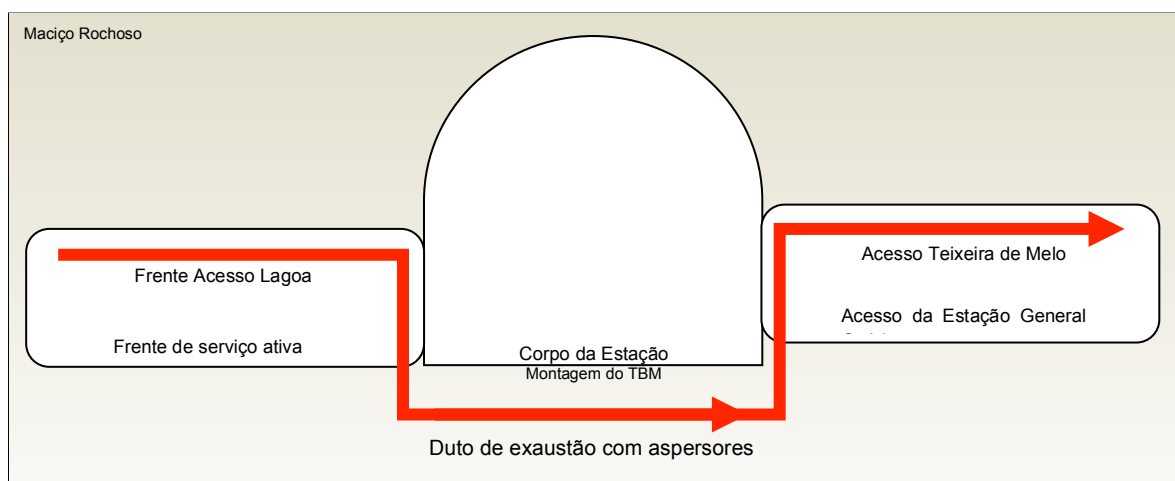


Figura 24. Esquema do Duto de exaustão.
Fonte: Elaboração própria.

O duto de exaustão possui um trecho com sistema de aspersão com 35 bicos em instalados em leque distantes um metro de cada e alternados que fazem a lavagem dos gases conforme mostrado na Figura 25 abaixo.

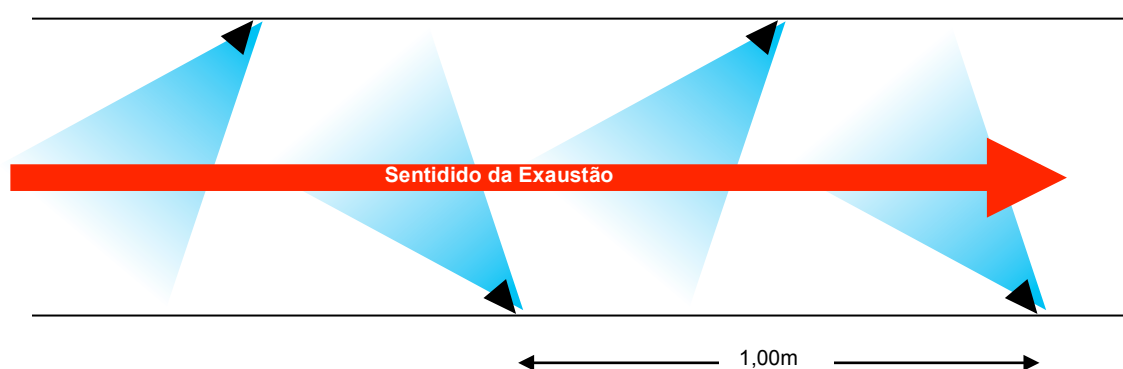


Figura 25. Esquema do Duto de exaustão com aspersores.
Fonte: Elaboração própria.

A água utilizada na aspersão é encaminhada ao sistema de tratamento existente na obra e reaproveitada.

4.7. BLASTER

De acordo com o R-105 do Exército Brasileiro, *Blaster* é o trabalhador encarregado de organizar e conectar a distribuição e disposição dos explosivos e acessórios empregados no desmonte de rochas.

As operações com explosivos devem ser realizadas com acompanhamento de *Blaster* qualificado. A Portaria nº 03 (2012) do COLOG afirma que o *Blaster* precisa ter sua licença apostilada a uma empresa. Não é fornecida Licença para *Blaster* para profissionais que não estejam vinculados a alguma empresa. A Figura 26 apresenta um exemplo de Licença para *Blaster*.

ESTADO DO RIO DE JANEIRO
SECRETARIA DE ESTADO DA POLÍCIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE POLÍCIA ESPECIALIZADA
DIVISÃO DE FISCALIZAÇÃO DE ARMAS E EXPLOSIVOS

LICENÇA PARA BLASTER

LICENÇA Nº _____ PRONTUÁRIO Nº _____
VÁLIDA ATÉ 20.11.2014 *
NOME: _____
IDENTIDADE: _____
tem permissão desta Divisão para exercer a profissão de
BLASTER.
Observações:
PARA EXERCER A ATIVIDADE NA FIRMA : _____
* Art. 18 da resolução SSP nº 474, de 01.09.1982..

Rio de Janeiro, 20 de NOVOBRO de 2013

LEILA GOULART DE SOUZA
DIRETORA DA DPAE
DELEGADA DE POLÍCIA
MATRICULA 853.034-7

Figura 26. Licença para *Blaster*.
Fonte: Acervo da empresa.

Na obra existe uma equipe de *Blasters*, sendo que um é o Técnico Especializado responsável pela elaboração da FVS Plano de Fogo e pela coordenação da equipe que faz o carregamento e é responsável pelo explosivo enquanto acontece o carregamento.

4.8. FRENTE DE SERVIÇO ISOLADA

A metodologia de escavação adotada é cíclica, como apresentado na Figura 5 no item 3.5. Desmonte de rocha com uso de explosivos, o que evita que serviços se sobreponham. Com isso, durante a atividade de carregamento de explosivos, a área é isolada, identificada por placa de sinalização como apresentado na Figura 27 e o acesso somente é permitido por pessoal identificado por colete na cor definida.



Figura 27. Frente de serviço sinalizada e isolada.
Fonte: Acervo da empresa.

Todo trabalhador e visitante que acesse a área isolada onde estiver acontecendo o carregamento de explosivos, é identificado e sua presença registrada na Lista de Integrantes, com nome, documento de identidade e assinatura do trabalhador e visitante.

4.9. ESTOCAGEM

Por estar localizada em área urbana, a obra não possui um canteiro de obras com espaço para construção de um paiol para estocagem dos explosivos e acessórios de acordo com as recomendações do Exército Brasileiro. Por esse motivo, optou-se por um caminhão, mostrado na Figura 28, que todos os dias transporta o produto do fornecedor para a obra e da obra para o fornecedor o que não foi utilizado. Esse serviço é realizado por empresa terceirizada, especializada e credenciada junto ao Exército Brasileiro para realização dessa atividade.



Figura 28. Caminhões utilizados como paiol móvel em área isolada.
Fonte: Acervo da empresa.

O caminhão fica localizado em recuo do túnel já existente permanecendo trancado. Outro item importante, é que a emulsão explosiva fica em um caminhão e os iniciadores em outro caminhão, evitando atrito ou detonação acidental.

4.10. CONTROLE DA POSSE DO EXPLOSIVO

O explosivo e seus acessórios são controlados desde sua fabricação até sua utilização. Todo explosivo e acessório possui um número de série marcado e descrito na Guia de Tráfego emitida pelo fabricante. Quando os produtos chegam à obra e o caminhão é aberto, a responsabilidade deixa de ser do transportador e

passa a ser da obra. O responsável na obra é o Técnico Especializado que registra os números de série utilizados no documento Sistema de Rastreabilidade - Transferência de Posse apresentado na Figura 29.

METRÔ IPANEMA			
EXPANSÃO GENERAL OSÓRIO			
SISTEMA DE RASTREABILIDADE - TRANSFERÊNCIA DE POSSE			
LISTAGEM DE IDENTIFICAÇÃO INDIVIDUAL SERIADA - IIS			
LOCAL : <u>CASSO 1250A</u>	SEÇÃO : <u>PERÍMETRO</u>	DATA : <u>09/12/12</u>	
NUMERO NF: <u>24248</u>		GUIA DE TRÁFEGO: <u>24248</u>	
TIPO DE MATERIAL	CX	UNID	NUMERAÇÃO SERIADA - IIS
EXEL SS 6.00 M - 001	—	1	598907750168230000016823
EXEL SS 6.00 M - 002	—	8	" " " 163030000002225
EXEL SS 6.00 M - 003	—	1	" " " 163270000008239
EXEL SS 6.00 M - 004	—	8	" " " 163430000008234
EXEL SS 6.00 M - 005	—	1	" " " 1636300000011837
EXEL SS 6.00 M - 006	—	8	" " " 163830000002241
EXEL SS 6.00 M - 007	—	1	" " " 163030000002873
EXEL SS 6.00 M - 008	—	1	" " " 163230000003690
EXEL SS 6.00 M - 009	—	1	" " " 163430000005189
EXEL SS 6.00 M - 010	—	1	" " " 163630000006510
EXEL SS 6.00 M - 011	—	1	" " " 163830000001527
EXEL SS 6.00 M - 012	—	1	" " " 163030000009766
EXEL SS 6.00 M - 013	—	1	" " " 163230000000244
EXEL SS 6.00 M - 014	—	1	" " " 163430000008264
EXEL SS 6.00 M - 015	—	1	" " " 163630000001121
EXEL SS 6.00 M - 016	—	2	" " " 163830000001271
EXEL SS 6.00 M - 018	—	8	" " " " " " " " " "
EXEL SS 6.00 M - 020	—	8	" " " " " " " " " "
EXEL SS 6.00 M - 024	—	3	59890775017023000008704
EXEL SS 6.00 M - 028	—	3	" " " 163030000009128
EXEL SS 6.00 M - 032	—	2	" " " 163430000001012
EXEL SS 6.00 M - 036	—	2	" " " 1635300000014247
EXEL SS 6.00 M - 040	—	2	" " " 163630000001623
EXEL SS 6.00 M - 048	—	2	" " " 1638300000017265
EXEL SS 6.00 M - 056	—	2	" " " 1630300000012609
EXEL SS 6.00 M - 064	—	8	" " " " " " " " " "
EXEL SS 6.00 M - 072	—	2	" " " 1630300000018681
EXEL SS 6.00 M - 080	—	8	" " " " " " " " " "
EXEL SS 6.00 M - 092	—	8	" " " " " " " " " "
EXEL SS 6.00 M - 104	—	2	" " " 1631300000020241
EXEL SS 6.00 M - 120	—	2	" " " 1631430000022523
EXEL SS 6.00 M - 140	—	4	" " " 1631530000012627
EXEL SS 6.00 M - 160	—	3	" " " 163163000006206
EXEL SS 6.00 M - 180	—	2	" " " 1631330000023557
EXEL SS 6.00 M - 200	—	3	" " " 163173000009583
EXEL SS 6.00 M - 220	—	3	" " " 1631930000015252
EXEL SS 6.00 M - 240	—	3	" " " 1632030000019887
EXEL SS 6.00 M - 264	—	8	" " " " " " " " " "
EXEL SS 6.00 M - 288	—	3	" " " 1632230000027938
EXEL SS 6.00 M - 312	—	3	" " " 163233000000121
EXEL SS 6.00 M - 340	—	3	" " " 1632430000011268
EXEL SS 6.00 M - 368	—	2	" " " 163253000001259
EXEL LEAD IN LINE 500M	—	1	098907750257720000026621
MANTOPIN COBRA 2.50M	—	8	" " " " " " " " " "
I-KON STII 15M (50FT) SPL	—	8	" " " " " " " " " "
I-KON STII 15M (50FT) SPL	—	8	" " " " " " " " " "
I-KON STII 15M (50FT) SPL	—	8	" " " " " " " " " "

Figura 29. Registros de Transferência de posse dos explosivos.
Fonte: Acervo da empresa.

Esse controle foi criado pelo Exército Brasileiro através da Portaria nº 03 (2012) do COLOG com o objetivo de identificar a origem de um explosivo utilizado em crimes, como explosão de caixa eletrônico.

Mensalmente, a obra apresenta a quantidade de explosivos consumida e cada Guia de Tráfego e sua respectiva Nota Fiscal.

4.11. SIRENES DE DETONAÇÃO

As detonações são precedidas por quatro avisos sonoros, sirenes, com objetivo de alertar os trabalhadores e a comunidade vizinha. A primeira sirene é acionada com dez minutos de antecedência da detonação e seu objetivo é comunicar que o túnel deve ser evacuado imediatamente. A segunda sirene é acionada com cinco minutos de antecedência da detonação e seu objetivo é comunicar que o Encarregado Geral e o Técnico Especializado fizeram as últimas checagens para fechamento do portão de isolamento. A terceira sirene é acionada e segundos depois a detonação é iniciada. A quarta e última sirene é acionada após a última detonação e seu objetivo é comunicar, principalmente a comunidade vizinha, o fim do ruído e vibração do terreno causados pela detonação.

O retorno à frente de serviço ocorre após a liberação do Técnico Especializado e do Encarregado Geral que verificam se todos os explosivos foram detonados e qual a situação da frente detonada.

Todas essas informações são registradas em formulário do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ), apresentado na Figura 30.

	METRÔ IPANEMA EXPANSÃO GENERAL OSÓRIO		
--	---	--	--

FVS – DESMONTE À FOGO	Hora detonação: 09:02	Data detonação: 10/12/13
------------------------------	---------------------------------	------------------------------------

IDENTIFICAÇÃO			
Local do desmonte: REBAIXO AC. LAGOA.			
Engº Resp. Plano de Fogo: Marcelo de Souza Santos	Blaster Responsável : Luiz Scandolara	Empresa transportadora: Ouro Preto	Fornecedor de explosivos: Orica

CONTROLE DE HORÁRIOS			
Liberação do Blaster: 08:58	Início da Evacuação: 08:30		
Início da ventilação: 09:10	Abertura dos portões: 10:00		

CONTROLE DE SIRENES			
1º Toque Sirene: 08:58	2º Toque Sirene: 08:59	3º Toque Sirene: 09:02	4º Toque Sirene: 09:03

VERIFICAÇÕES ANTES DA DETONAÇÃO			VERIFICAÇÕES APÓS DETONAÇÃO		
Item	Descrição	Status	Item	Descrição	Status
01	O carregamento dos furos, ligações e sistema de iniciação foram checados e liberados pelo Blaster?	A	01	O Plano de fogo está disponível para consulta?	A
02	O responsável pelo acionamento da detonação está posicionado?	A	02	O relatório de sismografia está disponível para consulta?	A
03	O túnel foi totalmente evacuado e o quadro de controle de acessos checado?	A	03	O tempo de ventilação foi suficiente para a purificação do ar?	A
04	Os portões do túnel estão fechados e travados?	A			
05	Os agentes de trânsito estão posicionados nas ruas e passeios lindeiros a obra?	A			
06	Os equipamentos estão posicionados em local seguro, ou protegidos de ultralancamentos?	A			
08	A equipe de instrumentação está posicionada para leitura da sismografia?	A			
Legenda: A -- Aprovado R – Reprovado RA – Reparado e Aprovado					

OBSERVAÇÕES

VALIDAÇÃO		
Responsável pela emissão 	Técnico Segurança do trabalho 	Blaster responsável

F-PRO-002 REV.03 16/12/2011

Figura 30. Registro das verificações realizadas antes e depois da detonação, inclusive do horário das sirenes.

Fonte: Acervo da empresa.

4.12. PLANO DE FOGO

A FVS Plano de Fogo é proposta pelo Técnico Especializado, que também é *Blaster*, com a situação planejada. Ao lado do planejado é registrado o que realmente

aconteceu, uma vez que modificações podem ocorrer na quantidade e localização dos furos e na quantidade e montagem dos explosivos.

A FVS Plano de Fogo é um documento dinâmico que se adapta as atividades de furação, ao Mapeamento Geológico que define a classificação da rocha escavada e aos resultados obtidos na Leitura Sismográfica.

A Figura 31 apresenta uma FVS Plano de Fogo preenchida com as informações de campo.

[illegible]

Figura 31. FVS Plano de Fogo.
Fonte: Acervo da empresa.

4.13. SISTEMA DE ASPERSÃO

Como citado anteriormente, o Sistema de Aspersão foi criado com o objetivo de reduzir a quantidade de poeira em suspensão, reduzindo o tempo de fechamento do portão de isolamento e, com isso, otimizando o tempo parado da obra e evitando que esse material particulado seja encaminhado para a superfície. Outra função do Sistema de Aspersão, é a lavagem dos caminhões que retiram o material escavado não permitindo que esses “sujem” as vias públicas.

O Sistema de Aspersão consiste em um tubo de água dotado de bicos aspersores que lançam uma névoa de água, mostrado na Figura 32. Ao longo do túnel existem dois pontos de aspersão. A água utilizada é reaproveitada após passar pelo sistema de tratamento.



Figura 32. Sistema de aspersão.
Fonte: Acervo da empresa.

4.14. LEITURAS SISMOGRÁFICAS

A obra contratou uma empresa especializada em Leituras Sismográficas e Instrumentação que realiza medições em cada detonação. As Leituras Sismográficas são feitas com sismógrafos de engenharia calibrados em laboratórios, como o apresentado na Figura 33.



Figura 33. Sismógrafo de engenharia instalado.
Fonte: Acervo da empresa.

A cada detonação pelo menos dois pontos são monitorados, escolhidos de acordo com a frente a ser detonada ou de acordo com a reclamação da comunidade vizinha registrada no Centro de Atendimento a Comunidade (CAC). A empresa projetista e o setor de engenharia da obra pré definiram pontos, apresentados em um *croquis* na Figura 34, onde as leituras devem ser realizadas periodicamente.

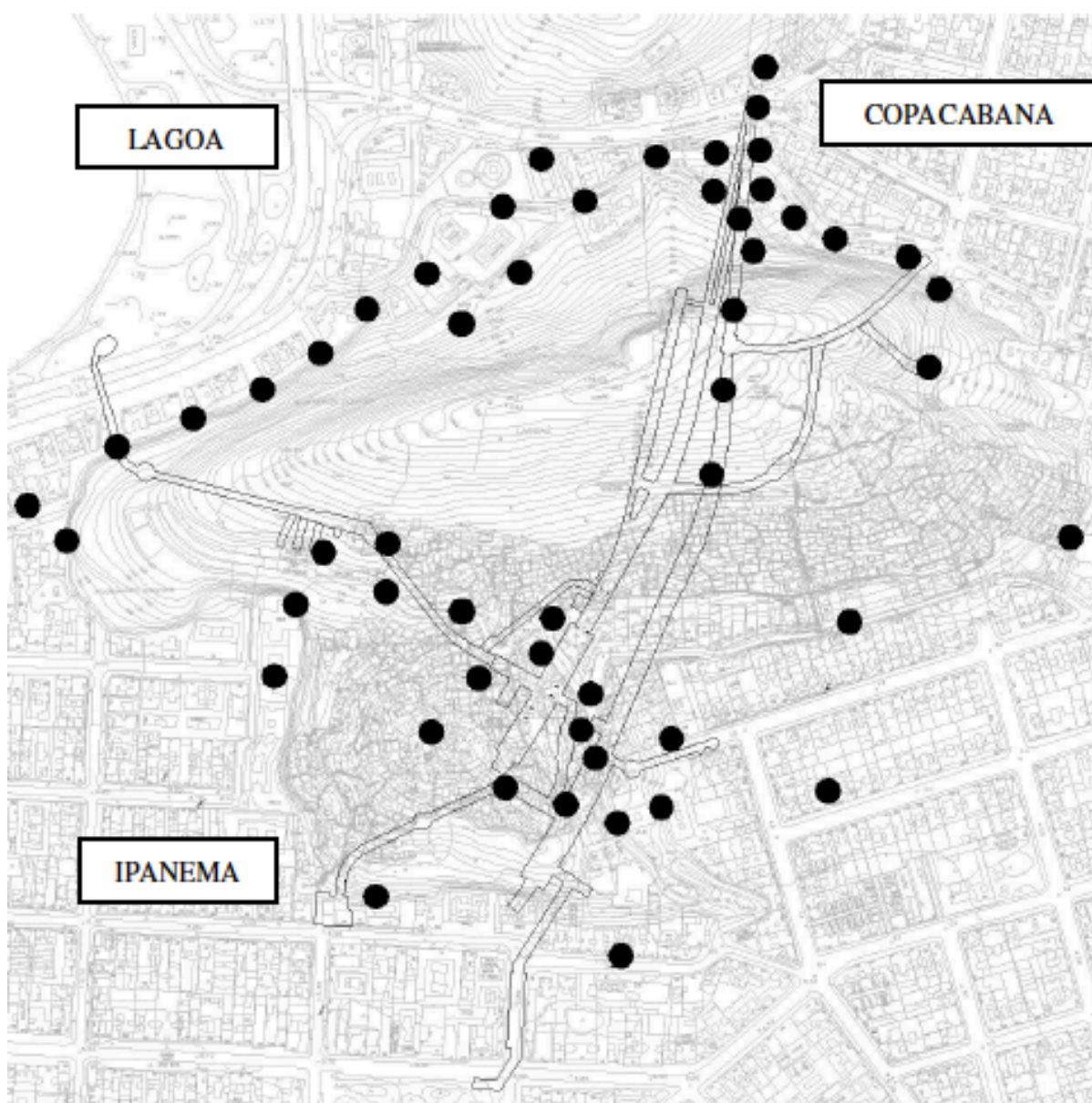


Figura 34. Pontos pré-definidos para Leitura Sismográfica.
Fonte: Acervo da empresa.

O sismógrafo de engenharia emite um gráfico, apresentado na Figura 35, que logo após a detonação é interpretado pelo Engenheiro responsável pela produção. Caso o valor esteja acima da norma ABNT NBR 9653 (2005), a informação é repassada ao Técnico Especializado para adequação da FVS Plano de Fogo. Um registro de Não Conformidade é aberto e o Plano de Fogo é revisto e verificado se ocorreram alterações nas leituras dos pinos de recalques e vistorias que já são realizadas periodicamente.

ANÁLISE CRÍTICA

Ass.: [Redacted]
 Data: [Redacted]

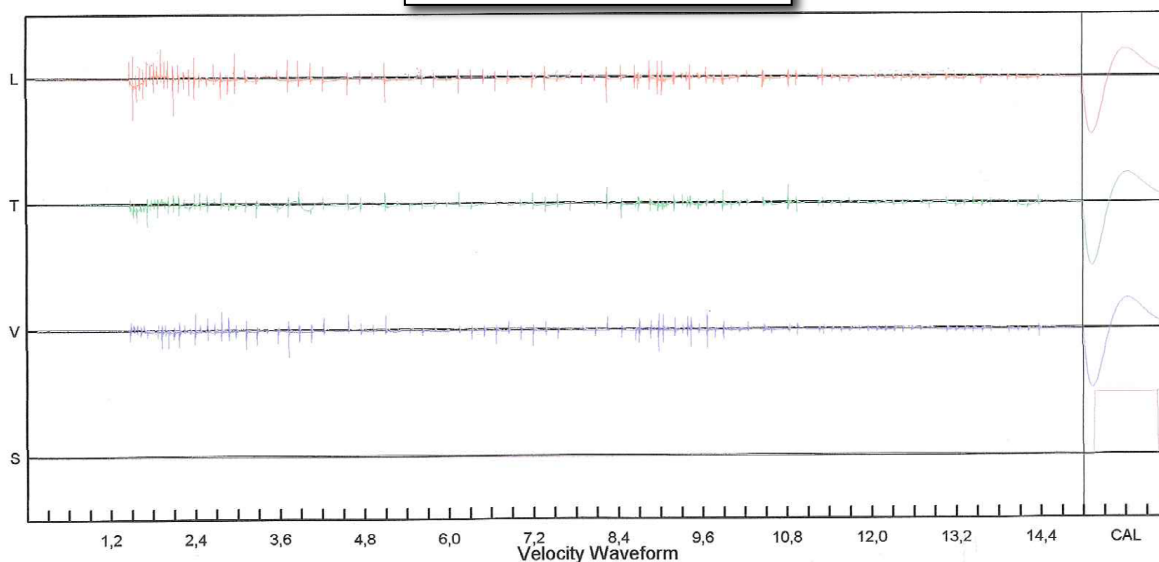
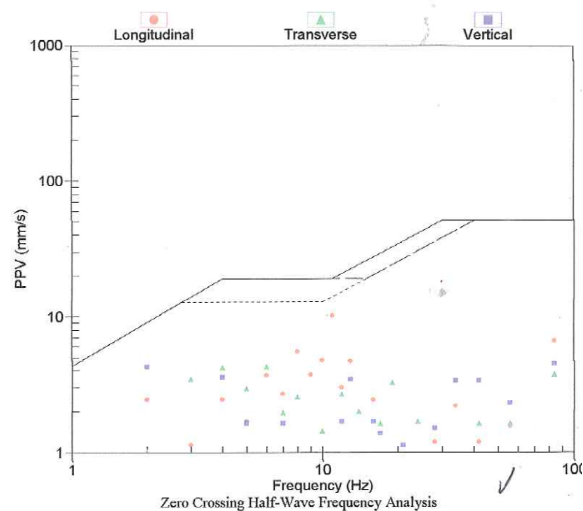
SN: 8938 Firmware: v3.22
 Date: 16.05.2013 Time: 11:50:02
 Event: 39 Record Time: 15,0 s
 Client: [Redacted]
 Operation: EXPANSÃO ESTACAO GOS
 Location: EMB T SERV SA FREIRE
 Distance: 0,
 Operator: [Redacted]
 Comment: EVENTO 650
 Trigger Level: 0,89 mm/s
 100 db

Velocity Waveform Graph Scale:
 Time = 0,300 s
 Seismic = +/- 0,64 mm/s
 Sound = +/- 0,0023 psi

	Summary Data		
	L	T	V
PPV (mm/s)	10,29	5,52	6,6
PD (.01mm)	20,68	18,61	5,85
PPA (g)	0,560	0,254	0,326
FREQ (Hz)	10,4	41,7	83,3
Resultant PPV:	10,60 (mm/s)		
Peak Air Pressure:	76 db		
	0,0 psi		

Additional Info:

Shaketable Calibrated: 20.03.2013
 By: GeoSonics Inc.
 359 Northgate Drive
 Warrendale, PA 15086 U.S.A.
 TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999



Printed: maio 16, 2013 File: even1039.ev3 (GeoSonics Inc. Analysis v6.3.37)

Figura 35. Relatório da Leitura do Sismógrafo de engenharia.
 Fonte: Acervo da empresa.

Os gráficos são analisados pela Projetista e pelo setor de Engenharia da obra que alimenta uma planilha com os valores obtidos de vibração do terreno.

4.15. EPI – EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL

Antes do início das obras da Expansão General Osório, o Engenheiro de Segurança contratou uma empresa especializada para elaborar o Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção Civil (PCMAT), conforme requerido na norma NR 18, e Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA), conforme requerido na norma NR 9, cujos riscos para cada função foram identificados.

Em obras de túnel, as funções Frentista de Túnel e Frentista Líder atuam em atividades como instalação de tirantes, colocação de tela de aço, bate choco, além da montagem dos explosivos e seus acessórios conforme FVS Plano de Fogo.

De acordo com o PPRA emitido pela empresa especializada, apresentado na Figura 36, que identificou os riscos inerentes às atividades, o Frentista deve usar protetor auricular do tipo Plug, botina de couro, capacete, óculos de proteção e máscara descartável do tipo PFF2. Na entrada do túnel, existe uma placa com os EPIs definidos como obrigatórios a todos os trabalhadores e visitantes, mostrado na Figura 37.

G.H.E	FUNÇÕES	AGENTE	RISCO	UN	FONTE GERADORA	MEDICÇÃO	LT (NR15)	ACGIH	EXPOSIÇÃO	OBSESRVAÇÃO	
ESCAVAÇÃO-TÚNEL GHE 7	-Frentista de túnel; -Frentista líder;	Físico	Ruído	dB(A)	-Movimentação e operação de máquinas e equipamentos pesados; -Serviços de perfuração ou apicoamento com utilização de martelo de coluna e martete respectivamente; -Ruído de fundo produzido pelo sistema de ventilação;	LAVG 87,8 LAVG 87,2	85	85	Habitual e Intermitente	-	
		Químico	Químico (Poeira total)	mg/m³	-Proveniente da operação de martelo de coluna e material particulado dos procedimentos de desmonte de rocha com utilização de explosivos, movimentação de equipamentos e serviços de carregamento de caminhões caçamba.	<0,018 mg/m³ <3,60 %	-	0,0025		-	
			Químico (Poeira Respirável)	mg/m³		<0,1 mg/m³	4	3		-	
		Químico	Químico (Sílica Cristalina)	mg/m³		<0,022 mg/m³ <22,00 %	-	0,0025		-	

Figura 36. PPRA referente à função de Frentista de túnel.
Fonte: Acervo da empresa.



Figura 37. Placa localizada no Portão de Isolamento com os EPIs obrigatórios no interior do túnel.
Fonte: Acervo da empresa.

O Laudo Técnico de Condições Ambientais do Trabalho (LTCAT) foi realizado por empresa especializada com a amostragem foi definida pelo Engenheiro de Segurança através do método Exposto de Maior Risco (EMR). O EMR é o trabalhador, de determinada função, com maior exposição aos agentes de risco da atividade. O método utilizado foi amostra pessoal com a técnica pontual. A duração da coleta foi de aproximadamente três horas para um trabalhador com jornada diária de sete horas e jornada semanal de 42 horas.

O LTCAT identificou, através de medições e ensaios, que os trabalhadores estão expostos a poeira mineral com sílica livre cristalizada.

Nesse caso, o uso da máscara descartável PFF2 sozinha não é eficiente e foi necessário o desenvolvido o Sistema de Aspersão no interior do túnel, como pode ser observado na Tabela 7 que apresenta as medições realizadas no LTCAT. Além do EPI e do Equipamento de Proteção Coletiva (EPC), a Médica do Trabalho do setor Medicina monitora todos os trabalhadores que acessam o interior do túnel

através do exame carboxihemoglobina, que verifica a taxa de monóxido de carbono no sangue, visto que esse gás é tóxico, inodoro e causa envenenamento fatal.

Tabela 7. Resultados da Medição Poeira

Ano medição	Poeira Total com sílica		Poeira Respirável com sílica		Status
	Medido*	Norma	Medido*	Norma	
2012	0,5mg/m ³	8mg/m ³	<0,024mg/m ³	<0,025mg/m ³	Eficaz

*já subtraído o uso de protetor respiratório.

Fonte: LTCAT realizado pela empresa contratada especializada, 2012.

Com relação ao nível de ruído encontrado no interior do túnel, o LTCAT realizado pela empresa contratada especializada e apresentado na Tabela 8 identificou o ruído dos equipamentos como a principal fonte geradora e o tempo de exposição como intermitente. Recomendou o uso de protetor auricular tipo plug e por cima o protetor auditivo tipo concha.

Tabela 8. Resultados da Medição Ruído

EPI	Medido	Atenuado	Total	Norma	Status
Protetor auricular tipo Plug	87,8 dB(A)	17,0 dB(A)	70,8 dB(A)	85,0 dB(A)	Eficaz

Fonte: LTCAT realizado pela empresa contratada especializada, 2012.

5. DISCUSSÕES

Na obra Expansão General Osório, utilizada como estudo de caso, observa-se que foram adotados três pontos para mitigação dos riscos referente ao uso de explosivos todos eles baseados nas normas de segurança e técnicas. A proteção individual e a proteção coletiva são partes do todo da gestão do processo buscando a redução dos impactos ambientais.

Atendendo os requisitos previstos e pertinentes nas normas identificadas e adequando esses a realidade da obra, permitiu-se que a obra Expansão General Osório não tivesse nenhum acidente de trabalho ou mesmo acidente de engenharia, que fatalmente levaria a um acidente de trabalho, relacionada com a atividade de explosivos. Ao longo dos dois anos que a obra tem de atividades, acidentes de trabalho aconteceram, mas nenhum relacionado com a atividade de explosivos.

A equipe dirigente da obra juntamente com a liderança direta tem buscado não só atender aos requisitos normativos, mas analisar e propor melhorias e maneiras mais eficientes e eficazes de atendimento e gestão dos processos existentes como um todo.

A atividade de desmonte de rocha com uso de explosivos em áreas urbanizadas produz impactos nos trabalhadores e na comunidade vizinha. Nesse caso, falar de prevenção de acidentes dos trabalhadores mitiga apenas uma parte dos problemas. O fato de a obra estar isolada durante a detonação coloca os trabalhadores e a comunidade vizinha expostos aos mesmos riscos e impactos ambientais.

Quando a obra segue as ações solicitadas nas normas e portarias, o risco ao trabalhador é mitigado. A mitigação dos riscos de um acidente com o trabalhador acontece, também, quando se tem uma mão de obra qualificada e, principalmente, constantemente treinada. É fundamental para mitigar o risco de acidentes, que os trabalhadores envolvidos estejam cientes dos riscos a que estão expostos e, principalmente, conheçam a dinâmica da atividade da qual fazem parte.

Os níveis de vibração passíveis de serem sentidos são consideravelmente menores que aqueles requeridos para produzir danos. A reação humana às vibrações depende da duração do evento para as mesma amplitudes, ou seja, a vibração produzida por uma detonação típica seria tolerável pela maioria das pessoas que as considerariam como “claramente perceptível”. Contudo, é considerado relevante, na percepção e reação às vibrações, o grau de interferência que provocam em atividades normais como sono, conversação, entre outras. Para esse caso apenas existe a norma da CETESB, válida para o Estado de São Paulo. Não Existe norma válida em âmbito federal.

6. CONCLUSÕES

A construção de túneis remete a obras de engenharia com risco acentuado, principalmente quando subterrâneas. O risco de engenharia associado aos impactos ambientais do uso de explosivos geram efeitos nos trabalhadores da obra e na comunidade vizinha.

A obra analisada como estudo de caso permite constatar que os impactos ambientais gerados pelo uso de explosivos podem ser mitigados com o cumprimento dos requisitos constantes nas normas e portarias.

As regulamentações existentes, em sua maioria, são para o controle e gerenciamento das atividades relacionadas ao explosivo. Algumas ações são propostas em mais de uma regulamentação. Existe apenas a norma ABNT NBR 9653 (2005) com parâmetros para vibração e ruído que não gerem impacto a construções. Não existem normas e parâmetros para reduzir os impactos e incômodos causados à comunidade vizinha no âmbito nacional, exceto no Estado de São Paulo.

Dessa maneira, as mitigações não devem se limitar apenas em cumprir as ações propostas pela legislação em vigor. É preciso seguir o ciclo do PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), retroalimentar o sistema de gestão para que ações de melhoria sejam implementadas ao processo. As ações de mitigação de acidentes e incômodos precisam ir além da legislação, dando prioridade a proteção coletiva e a redução dos incômodos à comunidade vizinha.

É preciso averiguar cada reclamação da comunidade vizinha, independente da vibração do terreno e ruído resultantes de uma detonação atender aos parâmetros da norma e se for o caso, revisar a norma para que obras e comunidade convivam com segurança e mitigando os impactos ambientais da detonação.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9653: Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas.** Rio de Janeiro, 2005. 11 p.

_____. **NBR 10151: Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas.** Rio de Janeiro, 2005. 11 p.

_____. **NBR ISO 9001: Sistemas de gestão da qualidade - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2008. 28 p.

BRASIL. Portaria nº 3.214, de 08 de julho de 1978. **Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – NR 9.** Brasília, DF, Ministério do Trabalho, 2014.

_____. **Atividades e Operações Insalubres – NR 15.** Brasília, DF, Ministério do Trabalho, 2014.

_____. **Atividades e Operações Perigosas – NR 16.** Brasília, DF, Ministério do Trabalho, 2014.

_____. **Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção – NR 18.** Brasília, DF, Ministério do Trabalho, 2014.

_____. **Explosivos – NR 19.** Brasília, DF, Ministério do Trabalho, 2014.

_____. **Trabalhos Subterrâneos – NR 22.** Brasília, DF, Ministério do Trabalho, 2014.

_____. Portaria nº. 03, de 10 de maio de 2012. **Aprova as normas relativas às atividades com explosivos e seus acessórios e dá outras providências.** Brasília, DF, Ministério da Defesa, 2012.

_____. Decreto nº 24602, de 6 de julho de 1934. Dispõe sobre instalação e fiscalização de fábricas e comércio de armas, munições, explosivos, produtos químicos agressivos e matérias correlatas. Diário Oficial da União, Brasília, 11 de julho de 1934.

_____. Decreto nº 3665, de 20 de novembro de 2000. Dispõe sobre o Regulamento para a fiscalização de produtos controlado (R-105), na forma do Anexo ao Decreto. Diário Oficial da União, Brasília, 20 de novembro de 2000.

CAMPANHÃ, C.A. **Manual NATM. Manual Técnico Figueiredo Ferraz/CBPO.** 111p., 1994.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **D7.012: Mineração por escavação – procedimento.** São Paulo, 1990. 5 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 001/1990, de 08 de março de 1990. Dispõe sobre critérios e padrões de emissão de ruídos, das atividades industriais. Diário Oficial da União, Brasília, de 02 de abril de 1990, p. 6408.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 003/1990, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Diário Oficial da União, Brasília, de 22 de agosto de 1990, p. 615937-15939 - Complementada pela Resolução nº 08, de 1990.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 005/1989, de 15 de junho de 1989. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar - PRONAR. Diário Oficial da União, Brasília, de 25 de agosto de 1989, p. 14713-14714 - Complementada pelas Resoluções nº 03, de 1990, nº 08, de 1990, e nº 436, de 2011.

DICIONÁRIO MICHAELIS. Consultado sobre o significado de túnel. Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/>. Acesso: 02 de Janeiro de 2014.

FERREIRA, Patrick Luiz de Castro Rocha. **Impactos ambientais e a possibilidade de implantação do sistema de gestão ambiental (NBR ISO 14001:2004) em uma mineração de agregados.** 2013. 178 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013.

FERREIRA, G. C.; DAITX, E. C., DALLORA NETO, C. **Impactos ambientais associados a desmonte de rocha com uso de explosivos.** São Paulo, UNESP, Geociências, v.25, n. 4, p. 467 – 473, 2006.

MARTINS, Álvaro Rocha. **Segurança na aplicação de explosivos na indústria da construção civil.** Lisboa: Instituto Superior Técnico, 1997. 168 p. Digital.

NETO, F. R.; KOCHEN, R.. **Segurança, ruptura e colapso de túneis urbanos em NATM**. Revista Engenharia, São Paulo, n.540 ,p. 55-62, 2000.

SILVA, G.G; TORRES, V. F. N. **Desmonte de rochas de aberturas subterrâneas em zonas sensíveis às vibrações**. In: Red Iberoamericana “Medio Ambiente Subterráneo y Sostenibilidad”, CYTED – 3. 2013, Guadalajara, México .

SILVA, Wilson Carlos Lopes. **Blast – Efeitos da onda de choque no ser humano e nas estruturas**. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Tecnológico da Aeronáutica. São José dos Campos, 2007.

TRAVAGIN, Vinícius Bernardino. **Subsídios para escolha do método construtivo de túneis**. 2012. 125 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

USP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Curso de Especialização **Segurança do Trabalho, Disciplina Proteção contra incêndios e explosões**, edição 2012, página 16.

8. REFERÊNCIAS CONSULTADAS

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. Métodos construtivos de metrô subterrâneo. Disponível em: <http://www.metro.sp.gov.br/tecnologia/construcao/subterraneo.aspx>. Acesso em: 21 de janeiro de 2014.

ESCAVAÇÕES em túneis – Detonações e interferências. Revista Obras Civis, Rio de Janeiro, n. 4, dezembro, 2012.

EXÉRCITO BRASILEIRO. Apresenta informações sobre Produtos Controlados. Disponível em: <http://www.eb.mil.br/produtos-controlados>. Acesso em: 02 de dezembro de 2013.

EXÉRCITO BRASILEIRO COMANDO LOGÍSTICO. Apresenta a legislação pertinente a explosivos. Disponível em: <http://www.dfpc.eb.mil.br/>. Acesso em: 20 de novembro de 2013.

FRANÇA, Pedro Teodoro. **Estudo do comportamento de túneis: análise numérica tridimensional com modelos elasto-plásticos.** 2006. 206 f. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE GEOTÉCNICA DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO. Apresenta leis sobre exploração mineral e contenção de encostas. Disponível em: <http://obras.rio.rj.gov.br/>. Acesso em: 02 de dezembro de 2013.

FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO. **RPT-03: Recomendação Técnica de Procedimentos – Escavações, Fundações e Desmonte de Rochas.** 1º ed. São Paulo, 2002.

KOCHEN, Roberto. **Gerenciamento de riscos em obras subterrâneas de engenharia.** Revista Engenharia, São Paulo, n. 595, p. 100-107, 2009.

KOCHEN, Roberto. **Sucessos e Acidentes na Engenharia.** Revista Engenharia, São Paulo, n.585, p. 104-109, 2008.

NIEBLE, C.M. e SERMAN, C.. Observação, Instrumentação e interpretação da obra. p. 509-529.

URBURBIS – Blog d'Urbanisme. Apresenta imagens das favelas do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://urbsurbis.wordpress.com/>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2014

<http://www.revivendoviagens.com/2013/11/conheca-niteroi-e-se-apaixone-ainda.html#.U1psZ8Y70Rw>