



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DE  
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL



ANDRÊZA LEITE DE ARAUJO

**DESMONTE DE ROCHA COM O USO DE EXPLOSIVOS: ESTUDO  
DE CASO EM TRECHO DA FERROVIA NOVA  
TRANSNORDESTINA**

Cajazeiras-PB, 2020

ANDRÊZA LEITE DE ARAUJO

**DESMONTE DE ROCHA COM O USO DE EXPLOSIVOS: ESTUDO  
DE CASO EM TRECHO DA FERROVIA NOVA  
TRANSNORDESTINA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, sob Orientação do Prof. Me. Jefferson Heráclito Alves de Souza e Coorientação do Prof. Me. Cícero Joelson Vieira Silva.

Cajazeiras-PB, 2020

A663d

ARAUJO, Andrêza Leite de

Desmonte de rocha com o uso de explosivos: Estudo de caso em trecho da ferrovia nova Transnordestina. Andrêza Leite de Araujo. - Cajazeiras, 2020. 36f..

TCC (PDF)

Orientador: Jefferson Heráclito Alves de Souza

Título. 1.Ferrovia. 2. Explosivos . 3. Segurança. I. Andrêza Leite de Araujo. II.

CDU: 625.1(81)

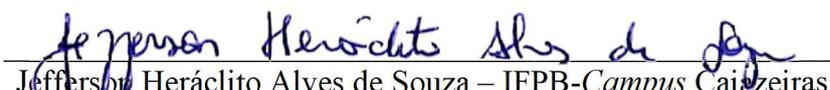
ANDRÊZA LEITE DE ARAUJO

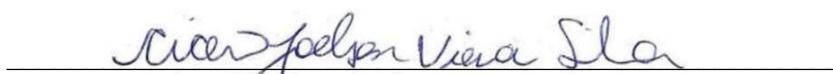
**DESMONTE DE ROCHA COM O USO DE EXPLOSIVOS: ESTUDO DE CASO  
EM TRECHO DA FERROVIA NOVA TRANSNORDESTINA**

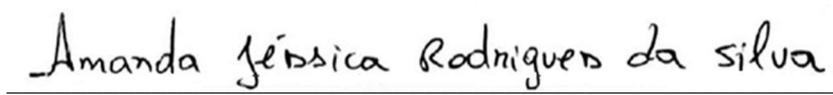
Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Bacharelado em  
Engenharia Civil do Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,  
*Campus* Cajazeiras, como parte dos  
requisitos para a obtenção do Título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 16 de dezembro de 2020.

**BANCA EXAMINADORA**

  
Jefferson Heráclito Alves de Souza – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Orientador

  
Cicero Joelson Vieira Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Coorientador

  
Amanda Jéssica Rodrigues da Silva – Engenharia Civil  
Examinadora

*"Nada te perturbe, nada te espante,  
Tudo passa, Deus não muda,  
A paciência tudo alcança;  
Quem a Deus tem, nada lhe falta:  
Só Deus basta."*

(Santa Teresa D'Ávila)

## AGRADECIMENTOS

A Deus, todo louvor e toda glória, Ele que sempre foi meu sustento durante a caminhada e minha companhia nos 112 km de estrada percorridos diariamente. Foi tudo por Ele e para Ele.

À minha família, que tanto amo, que sempre foram meus maiores incentivadores e que muitas vezes deixaram seus sonhos de lado para que eu pudesse realizar o meu. Minha mãe, Luzinete, nunca me deixou desistir e esteve comigo em todo tempo me apoiando e me dando forças pra continuar. Meu pai, Donizete, sempre vibrando com minhas conquistas e acolhendo minhas decisões. Meu irmão, Anderson, que é também meu melhor amigo, que cuida de mim com tamanho zelo. Vovó Zenir que sempre acreditou em mim e me deu tanto amor, através de seu abraço e conselhos repletos de sabedoria. Agradeço imensamente também aos demais familiares que torceram por mim.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB, campus Cajazeiras, que foi minha segunda casa por tanto tempo e que me acolheu tão bem, dando o devido suporte para um ensino superior de qualidade, minha eterna gratidão. Também sou grata a todos os professores e servidores dessa Instituição tão querida e tão comprometida com a educação.

Ao meu orientador Jefferson Heráclito, que me deu total suporte na execução dessa pesquisa, com muita paciência, disponibilidade e bom humor. Um profissional sem defeitos, que me inspira a sempre buscar ser melhor não só na profissão, mas como ser humano, alguém que quero sempre me lembrar e me orgulhar ao dizer que fui sua orientanda durante a graduação.

Ao meu coorientador Joelson Vieira, que também foi meu orientador no estágio e que me ajudou incansavelmente nessa reta final do curso, sempre muito prestativo, atencioso e empático em todas as circunstâncias. Me faltam palavras pra dizer o quanto foi edificante a sua presença nessa etapa tão importante da vida.

À Construtora Marquise, que me proporcionou uma experiência incrível de estágio - requisito fundamental para conclusão do curso -, e me deu todo o aparato necessário para a realização dessa pesquisa. Em especial, ao Engenheiro Silvino Cordeiro, que me apresentou essa temática e com tamanha disposição me instruiu e me fez despertar para o assunto aqui abordado. Ao Engenheiro Felipe Abreu, meu supervisor de estágio, que tanto me ensinou durante a minha passagem pela empresa e que não mediu esforços para me capacitar. Faltam palavras para agradecer ao Técnico de projetos, Thiago Albuquerque, um profissional que

muito me inspira pelo seu potencial técnico, que sempre me motivou, me deu suporte e tornou-se um verdadeiro amigo em tão pouco tempo. Ao setor de SMS (Segurança, Meio ambiente, Serviço Social e Saúde) da empresa, que também foi imprescindível para a execução dessa pesquisa. E aos demais colaboradores, com destaque à Sala técnica, que tive o prazer de conviver durante os nove meses de estágio.

Ao Engenheiro de Minas Lucemarques, que sempre foi muito prestativo, se dispondo a me acompanhar e a tirar todas as minhas dúvidas acerca do tema. Um profissional com vasto conhecimento no assunto e muito querido por toda a equipe.

Aos meus colegas de faculdade que dividiram comigo todas as incertezas e angústias, assim como as conquistas, que possamos nos lembrar sempre uns dos outros com o mesmo carinho, e que alcancemos todos os objetivos que tanto almejamos durante a graduação.

Não tenho nem como agradecer a todos os meus amigos que torceram por mim e me deram apoio durante a longa jornada. O que posso dizer é que contem comigo e com minhas orações.

Por fim, mas não menos importante, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a produção dessa pesquisa. Meu muito obrigada.

## RESUMO

Para promover a integração e dinamizar a economia do Nordeste, está sendo implantada a Ferrovia Transnordestina, a qual tem origem em Eliseu Martins (PI), em direção aos portos do Pecém (CE) e de Suape (PE). A obra possui 1753 km de extensão. Para execução de obras de infraestrutura como essa, são realizados cortes e aterros. Na maioria dos casos é possível encontrar material de 3ª categoria em que se faz necessário o desmonte de rocha, onde opta-se, com frequência, pela utilização de explosivos, devido à análise da economia e da confiabilidade. Nesse contexto, esse trabalho apresenta um estudo de caso do desmonte de rocha com o uso de explosivos em trecho da obra, fazendo análise dos possíveis riscos e falhas nos quais a obra e o meio ambiente podem estar expostos, diferenciando os métodos de detonação utilizados na obra e detalhando o processo de desmonte de rochas. Por meio do levantamento fotográfico e da revisão bibliográfica, foi possível constatar as diferenças entre o explosivo encartuchado e a emulsão bombeada, bem como as aplicações de acordo com a localização e o estado da rocha. Os resultados obtidos através dessa pesquisa nos permitem concluir que os dois tipos de explosivos são seguros e amplamente utilizados na atualidade, mas a emulsão bombeada apresenta maior vantagem em relação a emulsão encartuchada.

**Palavras-Chave:** Detonação; Explosivos; Desmonte de rocha.

## ABSTRACT

In order to promote integration and boost the economy of the Northeast, the Transnordestina Railway, which originates in Eliseu Martins (PI), towards the ports of Pecém (CE) and Suape (PE) is being implemented. The work is 1753 km long. For carrying out infrastructure works like this, cuts and landfills are carried out. In most cases it is possible to find material of the 3rd category in which it is necessary to dismantle rock, where it is often opted to use explosive, due to the analysis of economy and reliability. In this context, this work presents a case study of rock dismantling with the use of explosives in a stretch of the work, analyzing the possible risks and failures to which the work and the environment may be exposed, differentiating the methods of detonation used in the work and detailing the process of dismantling rocks. Through the photographic survey and bibliographic review, it was possible to verify the differences between the encased explosive and the pumped emulsion, as well as the applications according to the location and state of the rock. The results obtained through this research allow us to conclude that the two types of explosives are safe and widely used today, but the pumped emulsion has a greater advantage over the cartoned emulsion.

**Keywords:** Detonation; Explosives; Dismantle rock

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Tipos de explosivos: Emulsão encartuchada (a); Emulsão bombeada (b).....	15
Figura 02 - Conjunto acoplado de iniciação .....	15
Figura 03 - Área de estudo: Mapa de trecho da obra de execução da Ferrovia (a); Intervalo de detonação (b).....	19
Figura 04 - Fluxograma com as etapas da pesquisa .....	20
Figura 05 - Locação topográfica.....	22
Figura 06 - Exemplos de malhas: Retangular (a); Alternada (b).....	23
Figura 07 - Marcação da malha de perfuração .....	23
Figura 08 - Dados de um dos planos de fogo .....	25
Figura 09 - Recorte de um dos planos de fogo .....	25
Figura 10 - Perfuração da rocha .....	26
Figura 11 - Amarração do cordel detonante ao explosivo.....	27
Figura 12 - Corte de explosivo de fundo de carga.....	27
Figura 13 - Dispositivo de retardo.....	28
Figura 14 - Booster conectado ao cordel detonante.....	28
Figura 15 - Bombeamento da emulsão: Unidade móvel (a); Carregamento dos furos (b).....	29
Figura 16 - Solo de 3ª categoria: Antes da detonação (a); Após a detonação (b) .....	30

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	13
2.1 DESMONTE DE ROCHAS COM EMPREGO DE EXPLOSIVOS E SEUS ACESSÓRIOS PRINCIPAIS .....	13
2.1.1 Explosivos : tipo emulsão.....	14
2.1.2 Conjunto acoplado .....	15
2.1.3 Cordel detonante e retardos .....	15
2.1.4 Booster ou Reforçador .....	16
2.2 PLANO DE FOGO .....	16
2.3 SEGURANÇA .....	17
3 METODOLOGIA.....	19
4 RESULTADOS .....	22
4.1 PRÉ-DETONAÇÃO.....	22
4.2 DETONAÇÃO .....	26
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	31
REFERÊNCIAS .....	32

## 1 INTRODUÇÃO

A infraestrutura de transporte tem diversos benefícios para a sociedade em geral, como a facilidade no acesso aos bens, a expansão do mercado, a redução dos custos dos produtos, entre outros. É preciso entender que o transporte aumenta a disponibilidade dos bens de consumo quando possibilita o acesso a produtos que não estão disponíveis ou só podem ser obtidos por preços mais elevados, portanto, tem a função econômica de promover a integração das comunidades produtoras de bens diversos (MARTINS e CAIXETA FILHO, 1998).

A Transnordestina é a maior obra linear em execução no Brasil. São 1.753 km de extensão, percorrendo 81 municípios, ao qual tem origem em Eliseu Martins-PI em direção aos portos do Pecém (CE) e Suape (PE). A obra promete consolidar um elo essencial para dinamizar a economia nordestina e dessa maneira, aproximar o Brasil dos grandes mercados mundiais. A ferrovia terá capacidade de transportar 30 milhões de toneladas por ano, com destaque para granéis sólidos como ferro e grãos (TLSA, 2020).

De acordo com o Diário do Nordeste (2020) a Transnordestina é considerada um dos projetos mais importantes de infraestrutura do país, pois tem o potencial de reduzir o custo logístico e de atrair novos investimentos. O modal ferroviário poderá representar uma redução do frete superior a 60% em relação ao modal rodoviário.

Para execução de obras de infraestrutura, como essa, são realizados cortes e aterros. Na maioria dos casos é possível encontrar material de 3ª categoria, no qual é necessário o desmonte de rocha, que, analisando economia e confiabilidade opta-se, com frequência, pela utilização de explosivos. Segundo Gama (2003) o desmonte de rochas é definido como um conjunto de atividades utilizadas para promover a fragmentação de um determinado volume de rocha pertencente ao maciço; classificado em quatro tipos: desmonte com explosivo, mecânico, hidráulico e manual.

A utilização de explosivos para a fragmentação de rochas é uma técnica do século XVII, quando começaram a utilizar a pólvora em minas, e veio se aperfeiçoando até os dias de hoje, sendo um dos métodos mais populares de desmonte de rochas (NIEBLE, 2017).

O presente trabalho trata do desmonte de rochas com o uso de explosivos em uma ferrovia, apresentando sua grande importância para a construção civil. São muitas as medidas adotadas para a execução de um desmonte de rocha: conhecer e diferenciar os roteiros é de

fundamental importância para quem deseja se aprofundar no tema, pois esse assunto precisa de dedicação em razão de suas particularidades.

Diante disso, o objetivo desse estudo de caso é analisar o desmonte de rochas com o uso de explosivos na ferrovia Nova Transnordestina, identificando suas formas de detonações e apresentando a diferença existente entre os métodos de explosões, além de realizar o detalhamento do processo de desmonte de rochas, diferenciando as técnicas de detonação utilizadas e analisando os possíveis riscos e/ou falhas para os quais a obra pode estar exposta.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Todas as obras de infraestrutura necessitam de movimentação de massa e um dos métodos utilizados na construção de rodovias e ferrovias é o desmonte de rocha. O desmonte de rochas é a técnica de escavação mais adotada nos ramos da indústria da construção e da mineração, pois se trata de um método econômico, confiável e seguro (SILVA FILHO, 2015).

### 2.1 DESMONTE DE ROCHAS COM EMPREGO DE EXPLOSIVOS E SEUS ACESSÓRIOS PRINCIPAIS

Desde 1940, os explosivos vêm passando por um desenvolvimento tecnológico considerável, juntamente com a aprimoração dos métodos de mineração, tendo como principal foco: a segurança no manuseio e no transporte, uma melhor fragmentação da rocha, maior resistência à água e menor custo por rocha desmontada. A escolha adequada para qual o explosivo será aplicado é uma das partes que merece mais destaque, a fim de que seja mais detalhada no projeto de desmonte de rocha, ou seja, o plano de fogo, visto que muitos fatores são determinantes nas condições de campo existentes e pelas considerações econômicas (SILVA, 2009).

Para execução do desmonte de rocha com explosivos, primeiramente são executadas algumas perfurações na rocha, mas que devem ser previamente calculadas através do plano de fogo. Após as devidas perfurações deve-se efetuar o preenchimento dos furos com os explosivos, para em seguida realizar a detonação. O explosivo que é carregado em furos na rocha, e detonado de acordo com uma sequência preestabelecida, tem a função de fraturar, fragmentar e deslocar uma parte bem definida de rocha (SILVA FILHO, 2015).

De acordo com Silva (2007), os explosivos são substâncias ou misturas encontradas em qualquer estado físico. Quando expostos a condições térmicas ou mecânicas de alta energia (calor, fricção, impacto, etc.), serão parcialmente ou totalmente convertidos em gás em um menor tempo, liberando uma grande quantidade de calor.

Geraldi (2011) descreve a ação do explosivo no desmonte de rocha da seguinte maneira: no momento da detonação é liberada uma onda de choque que percorre a área rochosa, com uma velocidade que varia de 3000 a 5000 m/s, o que causa tensões a partir do furo detonado, além da abertura de outras fissuras na rocha. Toda a expansão de gases faz com que seu estado elástico se rompa e promova a fragmentação da rocha. Dessa forma, é importante que essa

energia seja aproveitada corretamente para que não sobrevenham mais prejuízos ao maciço e ao meio ambiente.

De acordo com Ricardo e Catalani (2007), na escolha do explosivo adequado deve-se observar suas propriedades no que diz respeito às suas características aliadas às suas composições e se é ou não recomendado para determinada aplicação. Os explosivos utilizados para a realização do desmonte de rochas têm como características: a força aplicada, a velocidade da detonação, a resistência à água, o manuseio seguro, a densidade, a sensibilidade, o volume de gases e os gases tóxicos que podem ser liberados.

Os explosivos industriais podem ser divididos em dois grupos: explosivos detonantes e rápidos: com velocidades de 2.000 m/s a 7000 m/s; e explosivos deflagrantes e lentos: com uma velocidade inferior a 2.000 m/s; os deflagrantes têm relação com a área de artilharia e fogos de artifício. Já os explosivos detonantes estão divididos em explosivos primários e secundários. Os primários são conhecidos como os iniciadores dos secundários, por serem altamente sensíveis, a exemplo têm-se o fulminato de mercúrio, o PETN, a pentolita, etc. Os secundários são menos sensíveis, mas não menos importantes, pois são eles os responsáveis pela própria quebra e desmonte da rocha (JIMENO e CARCEDO, 1987).

A classificação dos explosivos mais utilizada pelas agências reguladoras é a identificação e classificação de produtos perigosos da ONU - Organização das Nações Unidas (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals, 2011). Entre eles, a emulsão, que é um tipo de explosivo que consiste em micro gotículas de solução oxidante supersaturada dentro de uma matriz de óleo (SILVA, 2014).

### **2.1.1 Explosivos: tipo emulsão**

De acordo com Geraldi (2011), as emulsões são tipos de explosivos elaborados a partir do nitrato de amônio, combinado com outras composições químicas que estabilizam o produto e o faz resistente à água, como o nitrito de sódio. Quando embalados industrialmente, são conhecidos como emulsão encartuchada, Figura 01a. No entanto, se tratando de grandes maciços de rocha, a emulsão pode ser aplicada diretamente no furo sem a sua embalagem, o que caracteriza a emulsão bombeada. Para o uso como explosivo bombeado, a emulsão deve ser armazenada e transportada em uma unidade móvel ou caminhão-bomba que contenha uma unidade misturadora, pois apenas no momento do bombeamento para os furos é que a emulsão se tornará explosiva, uma vez misturada ao nitrito de sódio, Figura 1b.

**Figura 1** – Tipos de explosivos: Emulsão Encartuchada (a); Emulsão bombeada (b).



Fonte: Autora, 2020.

### 2.1.2 Conjunto acoplado

De acordo com Geraldi (2011), o estopim é um dispositivo utilizado para iniciação e se dá por chama direta. Este objeto é fabricado com pólvora, a qual é queimada a uma velocidade de um minuto a cada 40 cm para então acionar a espoleta que contém pequena carga explosiva e, assim, provocar a detonação do acessório de ligação em contato, Figura 2.

**Figura 2** – Conjunto acoplado de iniciação.



Fonte: Autora, 2020.

### 2.1.3 Cordel detonante e Retardos

Segundo Ricardo e Catalani (1977), o cordel detonante é um acessório de detonação formado por um núcleo de tetraintrato de penta-eritritol (PETN), que possui uma velocidade de detonação de aproximadamente 6000 m/seg., revestido com plástico, cera e algodão. Ele funciona como escorva das cargas explosivas que se tem contato e é ele quem determina a

velocidade da detonação. Além disso, sua iniciação pode ser realizada através da espoleta comum ou elétrica.

#### **2.1.4 Booster ou Reforçador**

O booster ou reforçador é um dispositivo revestido com plástico que tem a função de amplificar a onda de choque para dar início à explosão. Para garantir que toda a carga do furo seja detonada é necessário reforçar. Recomenda-se o uso desse acessório para obtenção do máximo rendimento no momento em que se dá início à detonação (SILVA, 2009).

## **2.2 PLANO DE FOGO**

Segundo Dorneles (2013), todo desmonte de rocha que faz uso de explosivos deve ser bem planejado e bem executado, considerando diversos fatores que caracterizam um plano de fogo eficiente.

O maior problema do desmonte de rocha com explosivos é a sua otimização, pois envolve aspectos como perfuração, carga explosiva nos furos e a própria detonação em si. Segundo Rossi (2018), um plano de fogo deve ser simples e completo, devido à grande probabilidade de ocorrer falhas, gerando assim, prejuízos materiais e até mesmo danos físicos, os quais podem ser fatais aos seres humanos. O profundo conhecimento e entendimento dos requisitos de uma detonação são fundamentais para a segurança e bom êxito de qualquer projeto. Para o sucesso de um plano de fogo, isto é, para que um projeto de detonação esteja tecnicamente correto, é preciso superestimar a utilização da energia de explosão, direcionando-a para a fragmentação da rocha, e, assim, alcançar o objetivo.

Dentre os problemas ambientais da demolição com explosivos, o ultralancamento (lançamento acidental de fragmentos) é o maior perigo direto, pois pode causar vítimas fatais e danos a estruturas residenciais. Sua prevenção realiza-se através do desenvolvimento de um bom plano de fogo, todavia, sabe-se que apenas evitar esse comportamento ainda não é suficiente. De acordo com Silva (2006), as principais causas de ultralancamentos são as seguintes: afastamento inadequado; alinhamento incorreto dos furos; iniciação instantânea dos furos em fileiras consecutivas; ocorrência de anomalias e eventos geológicos; tampão impróprio ou quebras decorrentes das detonações anteriores.

Segundo a o artigo primeiro da Decisão Normativa nº 071, de 14 de dezembro de 2001 do CONFEA, a execução de desmonte de rochas com a utilização de explosivos compete aos: engenheiros de minas; geólogos ou engenheiros geólogos e outros profissionais da mesma modalidade, que tenham formação específica na área de explosivos e/ou especialização, mestrado ou doutorado, nos trabalhos de pesquisa e extração de bens minerais e de obras civis; engenheiros civis com atribuições conferidas pelo Decreto nº 23.569, de 1933, nas obras civis a céu aberto e subterrâneas e com atribuições conferidas pela Resolução nº 218, de 1973, que tenham formação específica na área de explosivos e/ou especialização, mestrado ou doutorado, nas obras civis a céu aberto e subterrâneas; ou técnicos industriais em mineração que tenham formação específica na área de explosivos (BRASIL, 2001).

O responsável por executar o plano de fogo desmonte de rocha com o uso de explosivo é o blaster, que também pode ser chamado de cabo de fogo. A este profissional cabe não somente desmonte de rocha, mas também implosões, shows pirotécnicos, destruições e qualquer outra atividade com a utilização de explosivos. Cabe ressaltar que ele deverá seguir o plano de fogo assinado pelo engenheiro civil ou de minas, geólogo ou técnico industrial de mineração, de acordo com cada caso (ANDRADE, 2020).

### 2.3 SEGURANÇA

A ABNT NBR 9653 de 2018: Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas, estabelece que não devem ocorrer, de forma alguma, ultralançamentos de fragmentos nas detonações com o uso de explosivos. Para isso, é adotado um sistema de segurança e controle das detonações, pois qualquer atividade com uso de explosivos é de alto risco, logo, uma das primeiras medidas é a garantia de vida dos operários.

Quando efetuado o carregamento de furos em rochas fraturadas, a atenção deverá ser redobrada, tendo em vista a possibilidade de ocorrer o escapamento do material, o que pode acarretar o comprometimento da eficiência do explosivo e na existência de fragmentos no fundo do furo. Esse e outros cuidados devem ser tomados quando o assunto é desmonte de rocha com explosivos (SILVA, 2009).

Segundo Pontes (2013), em relação aos acidentes de trabalho e às doenças e danos à saúde, os trabalhadores são afetados pelo uso de materiais explosivos e acessórios de detonação, pois

estes estimulam a existência de nuvens de partículas ultrafinas, além de ultralanchamentos de rochas, ruídos e vibrações oriundos da detonação.

O manuseio de material explosivo, assim como a utilização, deve sempre ser efetuado por pessoas devidamente capacitadas, atendendo e respeitando-se a legislação vigente e normas do Departamento de Fiscalização de Produtos Controlados do Ministério da Defesa (SILVA FILHO, 2015).

O decreto nº 96.044, de 18 de maio de 1988, é a regulamentação do transporte rodoviário de produtos perigosos. O autor da lei preocupou-se em incluir no decreto pontos indispensáveis para a eficiência da atividade de transporte de cargas perigosas, como o acondicionamento da carga, o itinerário, a documentação necessária e até a conduta diante de um caso de emergência (VIEIRA, 2006).

Segundo Freitas (2003), o transporte de cargas perigosas explosivas encontra-se em um cenário bastante delicado em comparação com quaisquer outras cargas e exige um planejamento de análise de riscos bem mais rígido e que zele pela segurança não só da carga, como também do meio ambiente e das pessoas que se encontram expostos a este risco, dado que estes podem ser diretamente prejudicados por consequência de uma má gestão dos explosivos.

A Norma Regulamentadora - NR 19 determina todos os procedimentos para manusear, transportar e armazenar explosivos de forma segura. Nos locais de manuseio de explosivos, matérias primas que ofereçam risco de explosão devem permanecer nas quantidades mínimas possíveis, admitindo-se, no máximo, material para o trabalho de quatro horas. A seguir é possível observar algumas restrições quanto ao manuseio dos explosivos (BRASIL, 2015):

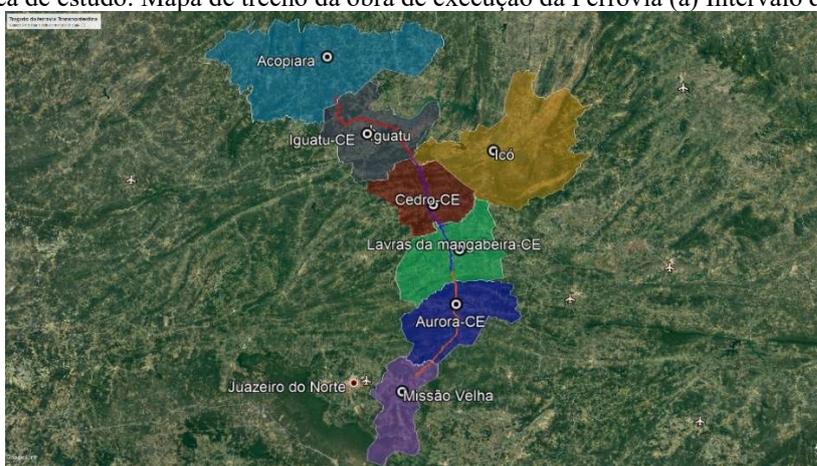
- a) utilizar ferramentas ou utensílios que possam gerar calor por atrito;
- b) fumar ou praticar atos suscetíveis de produzir fogo;
- c) usar calçados cravejados com pregos ou peças metálicas externas;
- d) manter por perto objetos que não tenham relação direta com a atividade desempenhada.

Segundo a Norma Regulamentadora - NR 22, podem-se destacar as seguintes medidas relacionadas à sinalização de áreas de trabalho e circulação: os espaços que haverá a utilização de material inflamável ou que estão sujeitos à ocorrência de explosões e/ou incêndios devem estar devidamente sinalizados com indicação de área de perigo, além de proibir o uso de fósforos, cigarros ou quaisquer meios que possam produzir calor. Nas vias de cruzamentos devem estar indicadas as direções e as saídas do local, inclusive as de emergência (BRASIL, 2015).

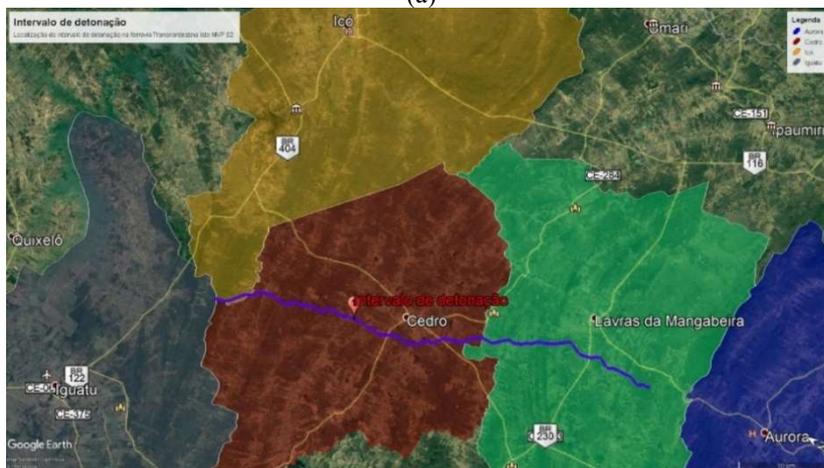
### 3 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos deste estudo do caso foi efetuada uma pesquisa de campo em uma obra de implantação da ferrovia Transnordestina, no trecho que liga Missão Velha a Iguatu no Ceará, como pode ser visto no traçado da Figura 3a. Realizou-se acompanhamento de alguns desmontes de rocha com uso de explosivos, para descrever todo o processo de detonação de corpos rochosos, necessários para realização do corte da ferrovia no trecho compreendido entre Lavras da Mangabeira (CE) e Cedro (CE) de acordo com a Figura 3b.

**Figura 3** – Área de estudo: Mapa de trecho da obra de execução da Ferrovia (a) Intervalo de detonação (b).



(a)



(b)

**Fonte:** Adaptação do Google Earth, 2020.

O presente trabalho é de natureza aplicada e exibirá um estudo de caso, que segundo Gil (2008), é definido como sendo o estudo profundo e exaustivo de maneira que se permita o seu mais amplo e detalhado conhecimento sobre um determinado assunto, tarefa praticamente impossível frente a outros tipos de metodologias existentes.

Já do ponto de vista de seus objetivos, a pesquisa é considerada como descritiva, com uma abordagem qualitativa e finalidade exploratório-descritiva, pois visa descrever e analisar as características de determinado fenômeno, no caso o desmonte de rocha com uso de explosivos (SILVA E MENEZES, 2005).

Para alcançar os dados, tem-se uma técnica de observação sistemática, isto é, quando o pesquisador sabe exatamente quais os aspectos do objeto que são significativos para chegar às metas almeçadas, o que exige a elaboração um plano de observação (GIL, 2008).

É possível entender todo esse processo de pesquisa a partir do fluxograma apresentado na Figura 4, pois partindo-se dele é possível visualizar toda a trajetória do trabalho, objetivando resultados e conclusões bem definidos acerca do assunto abordado nesse estudo.

**Figura 4** - Fluxograma com as etapas da pesquisa.



**Fonte:** Autora, 2020.

A revisão bibliográfica foi executada de acordo com a necessidade apresentada ao longo das visitas in loco, pois à medida em que o processo foi sendo apresentado, muitas dúvidas e questões em relação a este método foram levantadas, tendo em vista que é um assunto pouco abordado na graduação, mas de imensa importância na vida profissional, em se tratando de obras de infraestrutura e da necessidade de realizar cortes e aterros em locais com presença de maciços rochosos.

A empresa cedeu, livremente, o acesso aos documentos analisados para a compreensão do processo de desmonte dos maciços rochosos e os explosivos utilizados. Estes materiais serviram para compreensão do objeto em estudo e para auxiliar na organização do referencial teórico.

A coleta de dados foi realizada na própria obra, junto aos responsáveis técnicos pela execução do plano de fogo e demais atividades interligadas ao desmonte de rocha.

As visitas aconteceram de acordo com a programação de planos de fogo e com a disponibilidade dos responsáveis técnicos. Através de algumas detonações realizadas no trecho em análise, foi possível identificar o processo de desmonte de rocha, bem como a diferenciação dos explosivos utilizados em cada situação.

Junto às visitas foi possível realizar o levantamento fotográfico para anexar à pesquisa e desenvolver análise sobre o assunto. Além disso, os profissionais responsáveis pelo diário de obra da empresa também disponibilizaram algumas fotos relacionadas ao desmonte de rocha.

A análise foi realizada através da descrição dos procedimentos e a distinção entre os explosivos utilizados. Como ponto de partida sabe-se que o desmonte de rocha inicia-se com a equipe de topografia definindo a marcação topográfica, seguida da coleta de informações e realização do plano de fogo. O processo de planejamento é seguido pela execução quando o plano de fogo tem seus furos perfurados, os explosivos são colocados, e ocorre a detonação. O desmonte de rocha, utilizando os dois explosivos estudados neste trabalho, realizam os mesmos procedimentos.

## 4 RESULTADOS

### 4.1. PRÉ-DETONAÇÃO

O desmonte de rochas é uma das etapas mais importantes no ciclo de produção em frentes de trabalho como cortes de rodovias ou ferrovias. A primeira ação a ser realizada nesse processo é a limpeza da área do desmonte. A limpeza consiste na retirada do material solto (solo vegetal) que fica sobreposto à rocha que deve ser fragmentada, além da supressão vegetal.

Após a limpeza da área, a equipe de topografia inicia a locação topográfica, conforme a Figura 5.

**Figura 5** – Locação topográfica.

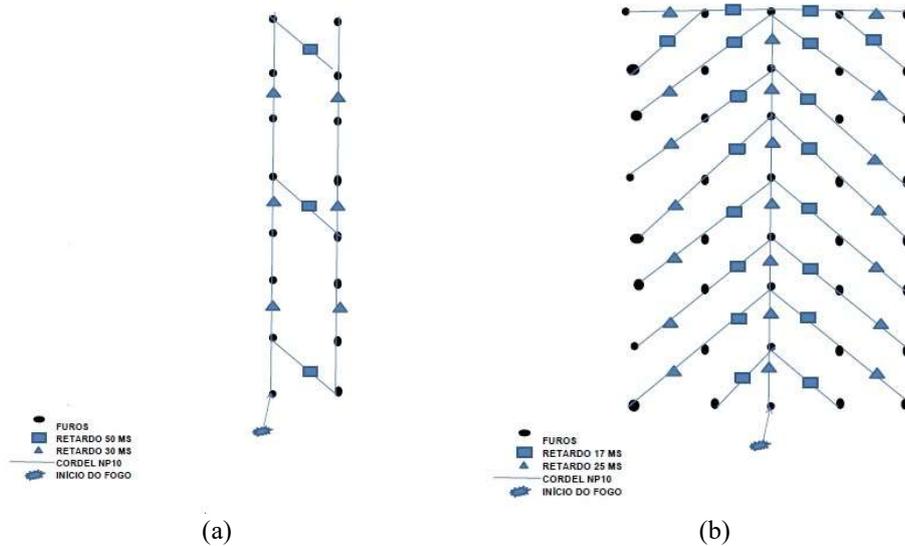


**Fonte:** Autora, 2020.

O levantamento topográfico do corpo rochoso é realizado e esses dados são repassados para a sala técnica, e servirá como referência para o cálculo de volume a ser desmontado. Com isso, a sala técnica devolve esse levantamento com todos os dados necessários para a execução do plano de fogo, incluindo largura da plataforma finalizada, do berma e altura do talude para só então dar início à marcação. Esta etapa é essencial para a realização do plano de fogo, pois, através da locação topográfica é possível determinar a profundidade média dos furos, altura da rocha e o volume a ser desmontado.

Inicia-se a marcação padrão de campo dos offsets (pontos de início e final da obra), com estacas cravadas a cada 20 ou 10 metros, a depender do projeto, depois são criadas as malhas, pois no projeto só informa o tipo de malha. A malha é a marcação de como os furos serão distribuídos, para que a perfuratriz possa entrar em ação, as mais utilizadas são as malhas retangulares, Figura 6a e as malhas alternadas, Figura 6b.

**Figura 6** – Exemplos de malhas: Retangular (a); Alternada (b).



**Fonte:** Construtora Marquise, 2020.

O modelo de malha adotada para a detonação com emulsão encartuchada foi a malha retangular que compreende duas linhas interligadas por três cordéis detonantes com os devidos retardos. Em contrapartida, o carregamento de emulsão bombeada utilizou a malha alternada, popularmente conhecida como pé de galinha. A marcação da malha é feita com pedras pintadas com as alturas dos furos ou em papelão, conforme Figura 7.

**Figura 7** – Marcação da malha de perfuração



**Fonte:** Autora, 2020.

Esse é o procedimento pré-detonação, a equipe volta a campo após a detonação para conferir se o desmonte foi eficiente e se não será necessário um retrabalho para chegar ao objetivo almejado e dar continuidade à terraplanagem.

Para o cálculo dos furos é necessário saber o grau de perfuração, pois no projeto só informa o tipo da rampa (inclinação) e as mais comuns, nessa obra, foram 1:1, 1:4 e 1:80. Feito isso encontra-se o afastamento por metro, dividindo a base por altura do corte.

Ainda em relação aos procedimentos pré-detonação é importante citar algumas informações para execução do desmonte de rocha com o uso de explosivos:

- a) É necessário realizar o mapa de risco com distanciamento adequado de cerca de 500 m no caso de estar dentro do raio de isolamento quaisquer espécies de tubulações de gás em atividade, pontes, adutoras, estacas raiz, residências, rodovias, redes elétricas, canteiros, fábricas, postos de gasolina, equipamentos da obra, entre outros;
- b) Os proprietários dos objetos de risco devem receber treinamento e assistência com medidas preventivas, como o plano de comunicação (verbal, visual, sonora e escrita). Esta atividade, normalmente é realizada pela equipe de assistência social e segurança do trabalho da empresa responsável pela execução da obra;
- c) Distanciamento mínimo de 500 m para isolamento da área, a depender da carga de detonação;
- d) Horários previstos para início da detonação e do momento que é entregue a carga explosiva na frente de serviço, além dos demais acessórios;
- e) Dados sobre resultados de ensaios laboratoriais quanto ao tipo de rocha a ser fragmentada, nesse caso todos os planos de fogo acompanhados eram de rocha alterada;
- f) Dados sobre diâmetros dos furos, quantidade de carga para cada furo, espaçamento, afastamento, volume a ser desmontado, altura da rocha, número de furos, profundidade média, tipo de carga a ser utilizada e razão da carga ( $\text{kg/m}^3$ ).

De acordo com a Figura 8 é possível observar um recorte do plano de fogo nº 103 executado no dia 23/11/2020 localizado na zona rural de Cedro.

**Figura 8** – Dados de um dos planos de fogo.

Localização:	Estaca inic.	89+090	final	89+180		
Município	Cedro					
Estado:	Ceará					
Tipo de Rocha:	Alterada					
Diâmetro do Furo		3,00	"	Carga p/Furo:	26,344	kg
Espaçamento		3,00	m	Afastamento:	2,00	m
Reperforação						
N.º de Furos:	Unid	80,00		Total perfurado	1072,36	m
N.º de Furos Encamisados 0,00 Unid. N.º. de metros encamisados 0,00m						
Volume a Desmontar:	4.413,98 m <sup>3</sup>					

**Fonte:** Construtora Marquise, 2020.

Com extensão de 90 metros de rocha alterada e uma malha retangular contendo 80 furos onde foram utilizadas cargas de 23,344 kg/furo com explosivo do tipo emulsão encartuchada. Ainda sobre o mesmo Plano de Fogo, a Figura 9 traz mais detalhes sobre a importância da topografia no planejamento dos desmontes de rocha.

**Figura 9** – Recorte de um dos planos de fogo.

Nº de filas:	2	Unid
Profundidade média:	9,20	m
Carga de fundo (tipo):	<b>Emulsão</b>	
Quantidade:	26,344	KG Média
Altura da carga em metros:	11,405	m Média
Espaçamento :	3,00	m
Afastamento:	2,00	m
Carga Total:	2.107,55	kg
Razão de carga (Kg/m <sup>3</sup> )	0,477	
Tampão:	<b>Cascalho</b>	
Comprimento (m):	2,00	m
carga por espera:	37,98	kg
Volume de Rocha:	4.413,98	m <sup>3</sup>

**Fonte:** Construtora Marquise, 2020.

A partir dos dados levantados pela equipe de topografia que o responsável técnico pelo plano de fogo, neste caso, o engenheiro de minas, pode determinar qual seria a profundidade média que cada perfuratriz teria que executar, assim como os afastamentos, espaçamentos e

carga total, podendo assim, realizar a compra dos explosivos e acessórios necessários para realizar este plano de fogo.

Com o plano de fogo estabelecido, a equipe de perfuração se dirige ao trecho que será desmontado para executar os furos, Figura 10, respeitando os aspectos sugeridos pelo projeto, sendo um procedimento fundamental para eficácia das cargas explosivas na qual a rocha será submetida.

**Figura 10**– Perfuração da rocha.



**Fonte:** Autora, 2020.

Para a realização dos furos na rocha é necessária a operação com perfuratriz (rock-drill), que por sua vez, possui movimentos de rotação e percussão, nos quais cisalham a rocha. A limpeza do furo acontece paralelamente à perfuração, com auxílio de compressão de ar que empurra o pó para fora do orifício.

#### 4.2. DETONAÇÃO

Realizada a perfuração é iniciado o carregamento dos explosivos (escorva), ou seja, preenchimento dos furos com o explosivo. No caso da emulsão encartuchada é feita uma amarração junto ao cordel detonante determinado no plano de fogo antes de colocá-la no furo, de acordo com a Figura 11.

**Figura 11** – Amarração do cordel detonante ao explosivo.



**Fonte:** Autora, 2020.

Em alguns casos são necessários alguns cortes na embalagem dos explosivos que ficaram no fundo do furo, conforme Figura 12, para atingir um melhor adensamento dos explosivos dentro do furo, e conseqüentemente um bom êxito da detonação.

**Figura 12** – Corte de explosivo de fundo de carga.



**Fonte:** Autora, 2020.

Após o total carregamento dos explosivos é realizada a conexão de todos os cordéis detonantes, e inserção do dispositivo de retardo, de acordo com o plano de fogo, na qual pode ser observado na Figura 13.

**Figura 13** – Dispositivo de retardo



Fonte: Autora, 2020.

No caso da emulsão bombeada, o procedimento inicia-se com a conexão do cordel detonante ao booster ou reforçador, Figura 14, que funciona como o próprio nome diz, para reforçar a onda de choque, dando início à explosão.

**Figura 14** – Booster conectado ao cordel detonante.



Fonte: Autora, 2020.

Após carregar os furos com reforçador é iniciado o bombeamento através da unidade móvel, conforme a Figura 15a e o operador inicia o carregamento dos orifícios com a emulsão bombeada, Figura 15b:

**Figura 15**– Bombeamento da emulsão: Unidade móvel (a); Carregamento dos furos (b).



(a)

(b)

Fonte: Autora, 2020.

Finalizado o carregamento, segue o processo de conexão dos cordéis e a inserção do retardo no cordel detonante. No momento de dar início ao fogo, o estopim é anexado ao cordel detonante e deve-se acender a extremidade do tubo flexível do acessório.

De acordo com o referencial teórico e a análise in loco foi possível alimentar o Quadro 1 com um comparativo de vantagens de acordo com os tipos de emulsão explosiva utilizadas no trecho analisado.

**Quadro 1** - Vantagens da emulsão explosiva de acordo com o tipo.

<b>ENCARTUCHADA</b>	<b>BOMBEADA</b>
Ideal para rochas maciças de alta dureza	Preenche totalmente os furos, mesmo com a presença de água
Possui alta intensidade e liberação de energia	Possui um menor tempo de carregamento
Utilizada como carga de fundo	Permite o aumento da malha de perfuração
Não causa efeitos fisiológicos	Possui uma potência bastante elevada

Fonte: Autora, 2020.

De acordo com a Figura 16 é possível perceber a ação dos explosivos em um desmonte de rocha e a praticidade dessa técnica, pois a diferença em tempo das duas imagens é de cerca de 10 minutos.

**Figura 16** – Solo de 3ª categoria: Antes da detonação (a) Após a detonação (b).



(a)



(b)

**Fonte:** Autora, 2020.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do levantamento fotográfico e revisão de literatura foi possível constatar as diferenças entre a emulsão encartuchada e a emulsão bombeada, assim como as suas aplicações de acordo com o estado da rocha. Além de mostrar como é realizado um desmonte, o seu processo e as suas formas de detonações.

Os resultados obtidos através dessa pesquisa nos permitem concluir que os dois tipos de explosivos são seguros e amplamente utilizados na atualidade, mas a emulsão bombeada apresenta maior vantagem em relação a emulsão encartuchada nos aspectos de manuseio, transporte, carregamento, armazenamento, segurança, além de reduzir a poluição sonora, a emulsão bombeada consegue preencher todo o furo, dessa forma, pode-se colocar mais explosivos por furo, o que conseqüentemente aumenta a malha de perfuração, podendo também precisar de menos furos para o mesmo resultado. Além da vantagem de ter um carregamento mais prático e fácil, necessitando de menos trabalhadores envolvidos. Como o nitrato de amônia só vira explosivo no momento em que é misturado ao nitrito de sódio e isso só acontece dentro do furo, pode-se dizer que ele pode ser armazenado em qualquer local, enquanto o encartuchado necessita de um depósito adequado para explosivos (paiol). Além de não precisar de gastos adicionais com o bombeamento de água nos furos, e nem ser necessário parar a produção em dias de chuva ou caso atinja o lençol freático.

Portanto, pode-se dizer que este estudo de caso, atingiu os desafios propostos, esclarecendo também que o uso da emulsão nesta obra, permite minimizar os custos de operação do carregamento dos explosivos, por precisar de menos tempo para o carregamento, permitindo o aumento da malha de perfuração e reduzindo assim o custo total do processo de desmonte de rocha.

Recomenda-se desenvolver em estudos futuros uma análise mais detalhada do desmonte de rochas com o uso de explosivos, assim como a análise de casos já existentes.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9653. **Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas**. Norma de Procedimento. São Paulo: ABNT, 2018.

ANDRADE, R. **Apostila do Minicurso Gratuito de Desmonte de Rocha com o Uso de Explosivos**. 1. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2020.

BRASIL. Decisão Normativa nº 071, CONFEA, de 14 de dezembro de 2001. **Define os profissionais competentes para elaboração de projeto e utilização de explosivos para desmonte de rochas e dá outras providências**, BRASIL, Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, de 21 de DEZ 2001, p. 384.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 1 – Disposições Gerais**. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 16 – Atividades e Operações Perigosas**. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 19 - Explosivos**. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 22 - Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração**. 2015.

DIÁRIO DO NORDESTE, 2020. **Novo marco regulatório deve favorecer conclusão da Transnordestina**. Edição de 01/12/2020. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/negocios/novo-marco-regulatorio-deve-favorecer-conclusao-da-transnordestina-1.3017829>. Acesso em: 1 dez. 2020.

DORNELES, F. T. **Controle e Previsão de Vibrações e Ruídos gerados por Desmonte de Rochas com Explosivos**. Caçapava do Sul, RS: UNIPAMPA - Universidade Federal do Pampa, 2013.

FREITAS, I. M. D. P., **Planejamento e gestão do transporte de produtos perigosos: a necessidade de implementação de medidas de controle de risco para salvaguardar o meio ambiente**. In Líderes: curso internacional para gerentes sobre saúde, desastres e desenvolvimento. [Em linha]. Salvador, BA: Organização Pan-Americana da Saúde, 2003.

GAMA, C. D. da. **Curso vibrações em geotécnica: geração, monitorização, impactos ambientais, critérios de dano e sua mitigação**. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2003.

GERALDI, J. L. P. **O ABC das Escavações de Rocha**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. p. 1-284.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 220 p.

GOOGLE. Google Earth website. <http://earth.google.com/>, 2020.

JIMENO, C.L.; JIMENO, E.L.; CARCEDO, F.J.A.; **Drilling and Blasting of Rocks**. Nova

York. 2º Edição.1987.

MARTINS, R.; CAIXETA FILHO, J. **O desenvolvimento dos sistemas de transporte: auge, abandono e reativação recente das ferrovias.** Revista Teoria e Evidência Econômica, 1998. v. 6, n. 11, 11.

NIEBLE, Carlos Manoel. **Desmontes cuidadosos com explosivos: aspectos de engenharia e ambientais.** 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. p. 1-126.

PONTES, J. C. de. **Impactos de vizinhança proporcionados pelo desmonte de rocha com uso de explosivos: estudo de caso na "Mineração Dantas Gurgel & cia Ltda", Caicó/RN.** 2013. 86 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

RICARDO, H. D. S; CATALANI, G.; **Manual Prático de Escavação** (Terraplenagem e Escavação de Rocha). 1. Ed. São Paulo: McGraw- Hill do Brasil.1977.

RICARDO, H. D. S; CATALANI, G.; **Manual prático de escavação: terraplanagem e escavação de rochas.** 3. ed. São Paulo:: Pini, 2007.

ROSSI, F.: Pedreira – **Desmonte em Rocha: Conceitos Basicos, Passo a Passo!** Disponível em: <https://pedreira.com.br/desmonte-em-rocha-conceitos-basicos-passo-a-passo/>. Acesso em: 08 out. 2020.

SILVA, E. L.; Menezes, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação.** 4. ed. rev. atual. – Florianópolis: UFSC, 2005. 138p.

SILVA FILHO, V. – **Gestão da segurança no manuseio e operação com explosivos e acessórios de detonação em pedreiras,** 2015. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/handle/1/4011>. Acesso em: 12 nov. 2020.

SILVA, V. C.; MAIA, G. F. **Normas para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MINA A CÉU ABERTO, 4., 2006, Belo Horizonte: IBRAM, 2006.

SILVA, V. C. **Curso de Min 210 – Operações Mineiras.** Ouro Preto: Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da UFOP, 2007.

SILVA, V. C. **Curso – Operações Mineiras.** Ouro Preto: Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da UFOP. 2009.

SILVA, V.C. **Apostila do Curso de Desmonte de Rochas. Universidade Federal de Ouro Preto.** Departamento de Engenharia de Minas. 2014.

TLSA – **Transnordestina Logística S/A** (2020). Disponível em: [http://www.tlsa.com.br/conteudo\\_pti.asp?idioma=0&conta=45&tipo=59542&prSv=1](http://www.tlsa.com.br/conteudo_pti.asp?idioma=0&conta=45&tipo=59542&prSv=1). Acesso em 01 out. 2020.

VIEIRA, B. M., **Diagnóstico dos principais problemas no transporte de produtos perigosos**, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia: 2006.