



Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Escola Politécnica  
Programa de Engenharia Urbana

Anthony Clayton de Paula

UMA ABORDAGEM SOBRE REUTILIZAÇÃO E DESTRUIÇÃO DOS RESÍDUOS  
EXPLOSIVOS DA INDÚSTRIA BÉLICA NO BRASIL.

Rio de Janeiro

2024



**UFRJ**

Anthony Clayton de Paula

UMA ABORDAGEM SOBRE REUTILIZAÇÃO, DESCARTE E DESTRUIÇÃO DOS  
RESÍDUOS EXPLOSIVOS DA INDÚSTRIA BÉLICA NO BRASIL.

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana do Programa de Engenharia Urbana, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Urbana.

Orientadora: Elaine Vazquez

Rio de Janeiro

2024

Paula, Anthony Clayton.

Uma abordagem sobre reutilização e destruição dos resíduos explosivos da Indústria Bélica no Brasil./ Anthony Clayton de Paula. – 2023.

66 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de Engenharia Urbana, Rio de Janeiro, 2023.

Orientador: Elaine Vazquez

1. Explosivo. 2. Resíduo. 3. Reutilização. 4. Destruição. Vazquez, Elaine. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica. Uma abordagem sobre reutilização e destruição dos resíduos explosivos da indústria bélica no Brasil.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob a responsabilidade de Miguel Romeu Amorim Neto - CRB-7/6283.



**UFRJ**

**UMA ABORDAGEM SOBRE REUTILIZAÇÃO E DESTRUIÇÃO DOS RESÍDUOS  
EXPLOSIVOS DA INDÚSTRIA BÉLICA NO BRASIL.**

Anthony Clayton de Paula

Orientadora: Elaine Vazquez

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Aprovada pela Banca:

Presidente, Prof.<sup>a</sup> Elaine Garrido Vazquez, D.Sc., PEU/POLI/UFRJ

Prof. Claudio Fernando Mahler 1, D.Sc., COPPE/POLI/UFRJ

Prof. Mohanmad Najjar 2, Ph.D., DCC/UFRJ

Prof.<sup>a</sup> Renata Gonçalves Faisca 3, D.Sc., CEPEX/UFF

Rio de Janeiro

2024

## **AGRADECIMENTOS**

Mesmo sendo clichê e talvez não usual, agradeço primeiro a Deus por estar sempre abençoando meu caminho, na vida como um todo, profissionalmente, na vida acadêmica, em minha trajetória e escolhas, meus relacionamentos e principalmente por minha família que sempre foi e ainda é minha base.

Agradeço aos meus pais, Antônio Eustáquio de Paula e Cleide Moraes de Paula, pelo apoio, motivação, cobrança e o excelente suporte de valores, princípios, objetivos; principalmente agradeço todo o esforço que fizeram para me proporcionar condições que foram fundamentais no meu desenvolvimento como estudante e como pessoa.

Agradeço a minha irmã Isabela Caroline de Paula por toda a motivação que me transmite e por ser um exemplo e orgulho para mim, exemplo de dedicação, esforço e constância. Fazendo-me enxergar que somos capazes de enfrentar e vencer todos os desafios que são impostos a nós e que podemos alcançar todos os objetivos.

Agradeço aos meus mestres que dedicaram seu tempo para transmitir o conhecimento. Em especial a minha orientadora, Elaine Vazquez, por me acompanhar e guiar por boas rotas em direção à conclusão do meu curso de mestrado, um objetivo tão almejado por mim.

## RESUMO

Paula, Anthony Clayton. **Uma abordagem sobre reutilização e destruição dos resíduos explosivos da Indústria Bélica no Brasil**. Rio de Janeiro, 2024. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

A produção de explosivos e a realização de serviços de detonação sempre foram acompanhadas da geração de resíduos explosivos, que em sua grande maioria são originados da indústria e são resíduos perigosos, com grande capacidade destrutiva e de grande impacto ambiental. Dessa forma, a pesquisa buscou apresentar as empresas produtoras melhores condições para redução e ou eliminação dos resíduos explosivos, garantindo segurança e diminuição dos impactos ambientais. Essa dissertação tem por objetivo indicar metodologias que favoreçam a diminuição dos impactos ambientais na destinação de resíduos explosivos, gerados pela indústria, com a reutilização ou destruição dos resíduos de forma adequada a cada tipo de explosivo e circunstância de descarte. Foram adotados os métodos validados pelo Exército Brasileiro, que auxiliam na tomada de decisão e direcionam a escolha dos processos adequados, ou seja, processos compatíveis com o tipo de explosivo e de acordo com as condições do local em que se encontram os resíduos, mostrando padrões seguros de destruição ou queima que possa ser utilizada e replicada em empresas produtoras de explosivos. Além do exposto, nos últimos anos, vêm sendo realizados processos de reuso de explosivo e desenvolvimento de técnicas de retrabalho, que diminuem as quantidades a serem descartadas, aumentam o rendimento produtivo das fábricas e reduzem as emissões ao ambiente. Com isso, essa pesquisa visa apresentar características da reutilização e destruição dos resíduos explosivos no processo produtivo, exemplificando-os, indicando suas características e condições de aplicabilidade, assim, suas condições mínimas para que a empresa consiga realizar a ação. Os resultados obtidos com o exemplo prático mostram que os métodos utilizados são eficientes, quando seguem as etapas de boas práticas deste trabalho em seu gerenciamento de resíduos explosivos. A aplicação das boas práticas garantiu bons resultados na redução dos resíduos explosivos chegando em alguns casos a 60% a menos de material descartado; gerando, mais segurança aos envolvidos, a redução do volume de resíduo explosivo na área de produção; o aumento da produtividade e a maior conservação do ambiente.

**Palavras-chave:** Resíduo Explosivo, Reutilização, Descarte, Meio Ambiente.

## **ABSTRACT**

Paula, Anthony Clayton. **An approach to the reuse and destruction of explosive waste from the war industry in Brazil**. Rio de Janeiro, 2024. Dissertation (Master's Degree) – Urban Engineering Program, Politécnica School, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

The production of explosives and the performance of blasting services have always been accompanied by the generation of explosive waste. Most of these wastes originate from industry and are hazardous waste, with great destructive capacity and great environmental impact. In this way, the research sought to present producing companies with better conditions for reducing and/or eliminating explosive waste, ensuring safety and reducing environmental impacts. This dissertation aims to indicate methodologies that favor the reduction of environmental impacts in the disposal of explosive waste, generated by industry, with the reuse or destruction of waste in an appropriate way for each type of explosive and disposal circumstance. Methods validated by the Brazilian Army were adopted, which assist in decision-making and guide the choice of appropriate processes, that is, processes compatible with the type of explosive and in accordance with the conditions of the location where the waste is located, showing patterns destruction or burning insurance that can be used and replicated in explosives producing companies. In addition to the above, in recent years, explosive reuse processes and the development of reworking techniques have been carried out, which reduce the quantities to be discarded, increase the production performance of factories and reduce emissions into the environment. Therefore, this research aims to present characteristics of the reuse and destruction of explosive waste in the production process, exemplifying them, indicating their characteristics and conditions of applicability, therefore, their minimum conditions for the company to be able to carry out the action. The results obtained with the practical example show that the methods used are efficient, when they follow the good practice steps of this work in the management of explosive waste. The application of good practices guaranteed good results in reducing explosive waste, in some cases reaching 60% less discarded material; thus, greater safety for those involved, reduction of the volume of explosive residue in the production area; increased productivity and greater environmental conservation.

**Palavras-chave:** Explosive residue, Reuse, Discard, Environment.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Reforçadores Refugados.....	15
Figura 2: Área de queima IMBEL FE.....	17
Figura 3: Fluxograma do trabalho.....	20
Figura 4: Fluxograma tomada de decisão.....	37
Figura 5: <i>Booster Belex</i> .....	40
Figura 6: Estrutura hierárquica.....	42
Figura 7: Exemplo controle de preparação de carga.....	44
Figura 8: Caixa de TNT lacrada.....	45
Figura 9: Azida de chumbo.....	47
Figura 10: Processo produtivo RDX.....	49
Figura 11: Processo produtivo <i>Booster</i> .....	50
Figura 12: Resíduo explosivo de Pentolite.....	51
Figura 13: Área de detonação IMBEL FE.....	54
Figura 14: Área de queima IMBEL FE.....	55
Figura 15: Termo de destruição de explosivo.....	59
Figura 16: Relatório de destruição de explosivo.....	60



## LISTA DE TABELAS E QUADROS

<b>Quadro 1: Portarias normativas.....</b>	<b>17</b>
<b>Tabela 1: Granulometria das classes das Pólvoras.....</b>	<b>30</b>
<b>Tabela 2: Registro de matéria prima do <i>Booster Belex</i>.....</b>	<b>43</b>
<b>Quadro 2: Comparativo entre reutilizar ou destruir.....</b>	<b>45</b>

## LISTA DE SIGLAS

**ABNT**- Associação Brasileira de Normas Técnicas  
**ANFO**- Ammonium Nitrate / Fuel Oil  
**COLOG**- Comando Logístico  
**DESMAG**- Descarte de Explosivo e Artíficos Pirotécnicos  
**DPatr**- Diretoria de Patrimônio  
**DPIMA**- Diretoria de Patrimônio Imobiliário e Meio Ambiente  
**EB**- Exército Brasileiro  
**EME**- Estado Maior do Exército  
**EMGEPRON**- Empresa Gerencial de Projetos Navais  
**HMX**- High Melting point eXplosive  
**IMBEL**- Industria de Material Bélico do Brasil  
**IMBEL FE**- Industria de Material Bélico do Brasil Fabrica Estrela  
**ITR**- Instrução de Trabalho  
**MVR**- Massa Volume Real  
**NBR**- Norma Brasileira  
**NEB**- Norma do Exército Brasileiro  
**PENT**- Tetranitrato de Pentaeritrina  
**PNRS**- Política Nacional dos Resíduos Sólidos  
**RDX**- Royal Demolition eXplosive  
**RJ**- Rio de Janeiro  
**RSU**- Resíduos Sólidos Urbanos  
**SIGAEB**- Sistema de Gestão Ambiental do Exército Brasileiro  
**SST**- Segurança e Saúde no Trabalho  
**TNT**- Trinitrotolueno

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	12
1.2 JUSTIFICATIVA.....	18
1.3 OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO.....	18
1.4 METODOLOGIA.....	18
1.5 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS.....	19
<b>2 REUTILIZAÇÃO E DESTRUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPLOSIVOS EM PROCESSOS PRODUTIVOS.....</b>	<b>21</b>
2.1 ATIVIDADE DE DESTRUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPLOSIVOS.....	21
2.2 ATIVIDADE DE DESTRUIÇÃO E REUTILIZAÇÃO NO MEIO AMBIENTE.....	24
2.3 REGULAMENTAÇÃO E NORMAS DE DESTRUIÇÃO DE EXPLOSIVO.....	25
2.4 ANÁLISES DOS RESÍDUOS EXPLOSIVOS ORIUNDOS DA PRODUÇÃO.....	28
2.5 CLASSIFICAÇÕES DOS EXPLOSIVOS.....	30
2.5.1 Velocidade de detonação.....	31
2.5.2 Sensibilidade.....	31
2.5.3 Composição química.....	32
2.5.4 Finalidade.....	32
<b>3 PROPOSTA METODOLÓGICA PARA SELEÇÃO DE PROCEDIMENTO DE REDUÇÃO DOS NÍVEIS DE RESÍDUOS EXPLOSIVOS.....</b>	<b>33</b>
3.1 IDENTIFICAÇÃO DE VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM NA ESCOLHA DO PROCEDIMENTO PARA REDUÇÃO DOS RESÍDUO EXPLOSIVO.....	34
3.1.1 Análise da etapa do Processo de Fabricação.....	35
3.2 OS MÉTODOS DE REDUÇÃO DOS RESÍDUOS EXPLOSIVOS.....	35
3.2.1 Reutilização.....	35
3.2.2 Detonação.....	36
3.2.3 Queima.....	36
3.3 DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA DE TOMADA DE DECISÃO.....	37
3.4 VALIDAÇÃO DA INDICAÇÃO DO PROCEDIMENTO.....	38

<b>4</b>	<b>COLETA DE DADOS NO ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>39</b>
4.1	DESCRIÇÃO DO PRODUTO DE ESTUDO.....	40
4.2	ESTRUTURA HIERÁRQUICA.....	41
4.3	TRATAMENTO DE DADOS.....	43
4.3.1	Identificação do explosivo.....	46
4.3.2	Identificação da fase do processo produtivo do explosivo.....	48
4.3.3	Condições do resíduo explosivo.....	50
4.3.4	Local para a destruição do resíduo explosivo.....	52
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>56</b>
5.1	REUTILIZAÇÃO.....	58
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>61</b>
6.1	TRATATIVAS DO TRABALHO.....	62
6.2	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	63
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com a questão da eficiência, produtividade, segurança e preservação do meio ambiente em pauta em toda a indústria, as empresas produtoras de explosivos não escapam dessas questões e têm o foco no descarte seguro dos resíduos explosivos, visando a preservação do ambiente. Assim, este trabalho aborda metodologias de reutilização e destruição dos resíduos explosivos, que buscam auxiliar no gerenciamento dos resíduos da produção das empresas produtora desse tipo de material, indicando o procedimento mais eficiente e de menor impacto ambiental, de acordo com as variáveis de cada empresa.

Nesse capítulo introdutório, é apresentada a contextualização do tema, a justificativa da realização dessa pesquisa, o objetivo e a organização do trabalho como um todo.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A indústria Bélica no Brasil, mesmo que pouco conhecida, é de grande importância para o país. Pois é através dela que a Nação e as Forças Armadas se apoiam para manter seus “paióis” abastecidos, garantindo munição e poder bélico para exercícios, treinamentos, guarda das fronteiras, ações de defesa e segurança, além das previsões em possíveis combates.

Desse modo, tem-se, em território brasileiro algumas empresas públicas e outras privadas que fazem este papel. Empresas como a Indústria de Material Bélico do Brasil (IMBEL) que é gerenciada pela Força Terrestre (Exército), há também a Empresa Gerencial de Projetos Navais (EMGEPRON) que é de responsabilidade da Força Naval (Marinha), além de outras empresas privadas como a CBC e Avibras, que são produtoras de explosivos ou artefatos pirotécnicos, regidas por rigorosas normas de controle e segurança, oriundas, em sua maioria, do Exército Brasileiro.

A indústria moderna como um todo é baseada em uma filosofia que se baseia na melhoria, e no desenvolvimento contínuos. Com isso, seus níveis de eficiência, produtividade e segurança devem estar cada vez mais elevados, buscando o rendimento máximo. Para isso, as empresas se baseiam em pilares que norteiam e visão garantir o crescimento constante. Assim sendo, a produtividade, qualidade e

segurança estão sempre discutidas na maioria das pautas das empresas que não podem deixar de lado a preocupação com o meio ambiente.

Essa preocupação das empresas com a eficiência, produtividade e segurança refletem também em empresas produtoras de explosivos que lidam com as mesmas questões. A atividade produtiva das indústrias bélicas exige uma série de procedimentos exclusivos do seu setor, alguns com elevado grau de risco à segurança e danos ao meio ambiente e outros fatores industriais similares a maioria dos outros ramos fabris, mas também com alta complexidade.

Atividades inerentes a qualquer indústria exigem cuidados, atenção e respeito às normas, por exemplo: transporte, produção, armazenamento, tratamento de efluentes, manutenções e conservação do patrimônio. Quando realizadas no setor bélico essas atividades tomam outras proporções e necessitam de tratamento direcionado.

Para que sejam bem executadas essas atividades utilizam técnicas e métodos específicos voltados à prevenção de acidentes, que podem atingir não apenas aos trabalhadores do setor, mas também a sociedade e meio onde habitam. Com isso é extremamente necessária uma boa aplicação de segurança e saúde no trabalho (SST), (HALE, 2011, p.11) “A abordagem de Segurança e Saúde no Trabalho (SST) também pode ser compreendida como parte integrante de uma gestão mais ampla da organização”.

A segurança e Saúde no Trabalho (SST) é um campo de estudo e prática que se concentra na proteção da saúde, segurança e bem-estar dos trabalhadores em seu ambiente de trabalho. É uma abordagem multidisciplinar que envolve a identificação, avaliação e controle dos riscos ocupacionais, bem como a promoção de condições de trabalho saudáveis

As empresas produtoras de explosivos preocupadas em atingirem seus objetivos e cumprirem as normas e legislações trabalham de forma constante a alcançarem rígidas metas secundárias que as guiam ao objetivo contínuo de se manterem competitivas, eficientes e rentáveis. Com isso passam a desenvolver novos processos de produção, procedimentos de segurança, métodos de reutilização dos resíduos explosivos que vão ao encontro da preservação do ambiente e levam aumento de eficiência produtiva à empresa. Essas atividades praticadas em todas as fábricas, geram grandes benefícios ao país.

Assim como são gerados os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em indústrias de diversos setores, também são gerados Resíduos Explosivos nas indústrias bélicas,

que devem ser tratados de forma coerente e descartados de forma segura. Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSUs) são os resíduos gerados nas áreas urbanas, resultantes das atividades domésticas, comerciais, institucionais e de serviços públicos. (HOORNWEG, 2018, p.14) Eles, geralmente, incluem materiais descartados como alimentos, papel, plástico, vidro, metal, tecido, madeira, produtos eletrônicos, entre outros.

O Estado do Rio de Janeiro, assim como outros Estados do Brasil, tem, em seu território, empresas de material bélico, pedreiras e outras empresas de serviço de detonação, contudo, essas empresas, na sua grande maioria, geram uma quantidade considerável de resíduos explosivos, como em outros estados do Brasil, que ao longo do tempo se acumulam de forma perigosa. Posto isso, com o passar dos anos a necessidade de se descartar os resíduos de forma correta, minimizando os impactos ambientais e garantindo a segurança dos envolvidos. Essa preocupação com o descarte, aliada a políticas de redução de custos obrigaram as empresas a agirem e buscarem soluções.

Para alterar este cenário, foram desenvolvidos métodos de reutilização e destruição dos resíduos explosivos que servem como parâmetro de boas práticas a serem seguidos por outras empresas. (REVISTA MEU RESÍDUO, 2022, p.21) “A reutilização, por sua vez, consiste em aproveitar a função de um produto ao máximo, mas sem que ele seja transformado em outro item de consumo”.

Este processo de reutilização dos resíduos explosivos tem como princípios fundamentais a eficiência, a segurança e a equidade. Inclui também a gestão das ações de descarte dos resíduos explosivos, definindo seu destino, sendo destruições, com a proteção ao meio ambiente ou à própria reutilização.

Serão estudados, neste trabalho, alguns processos de destinação dos resíduos explosivos, que são adotados em outros estados e/ou países que possam ser utilizados no estado do Rio de Janeiro, servindo como base para indicação do método mais adequado para a realização da atividade, os que mais se destacam são: reutilização no processo produtivo, detonação e incineração.

O Processo de reutilização dos resíduos explosivos constitui em retroalimentar o processo produtivo com o próprio refugo, devidamente analisado e limpo de impurezas. Como exemplo, os processos de produção de explosivos de ruptura envazados (reforçadores, como são conhecidos esses explosivos) gera-se refugo explosivo, como ilustra a Figura 1, que após análise química e limpeza de suas impurezas, podem ser reprocessados.

Figura 1 - Reforçadores Refugados



Fonte: próprio autor

O referido processo tem por objetivo reduzir consideravelmente a quantidade de resíduo explosivo sem destinação, originada da produção. Além de ir ao encontro com as políticas das empresas que visam a redução dos custos, obtendo assim benefícios diretos como os econômicos com as reduções e também os ambientais, que geram benefícios de imagem e políticos.

Com o avanço da tecnologia melhorando os processos, máquinas e equipamentos, os níveis de reutilização dos resíduos explosivos aumentaram consideravelmente, diminuindo a necessidade de destruição de um constante volume de rejeito explosivo. Mesmo que a destruição dos resíduos tenha um baixo custo, o impacto à sociedade e ao ambiente podem ser de grande escala quando não há um controle e acompanhamento rigoroso do processo, ou quando é praticado por um longo período de tempo em um mesmo ambiente. Com isso, as empresas passaram a aderir às novas técnicas de reutilização dos rejeitos, que utilizam os resíduos explosivos que não têm grandes alterações em sua composição química e ou física, tratando-se apenas de um material que não completou seu processo produtivo e que pode ser realimentado em outras etapas da manufatura. Por se tratar de explosivo, antigamente, não havia a possibilidade de se fazer uma análise detalhada da composição química e estrutura física, criando, assim, um receio de se reutilizar o material, transformando a prática de destruição dos resíduos em uma ação



recomendada na maioria dos cenários, pois com isso privilegiaria e garantiria a segurança do processo e dos envolvidos.

A atividade de reutilizar o resíduo explosivo, sem as devidas checagens e análises, pode causar acidentes graves lesando os envolvidos e o patrimônio, já que a maioria dos resíduos tem alta capacidade destrutiva visto suas composições químicas e dinâmica de propagação. Comprova-se que esse poder é altamente destrutivo pois é definida como uma rápida reação química geradora de gases que se propagam com elevadas temperaturas em um curto espaço de tempo (ELLEN, 1968, p. 64).

As técnicas de reutilização dos resíduos explosivos no processo produtivo, desenvolvidas pelas empresas, foram permitidas pelo avanço da tecnologia e acúmulo de conhecimento ao longo do tempo. O processo de reutilização executado na IMBEL foi amparado pelas literaturas específicas, análises e testes químicos em laboratório e desenvolvimentos práticos, feitos de forma controlada, nas linhas de produções. Por isso as técnicas de reutilização são únicas a cada planta produtiva, difícil de se replicarem seguindo apenas um descritivo teórico.

Em paralelo à reutilização dos resíduos explosivos está a destruição correta deles, que constituem, em sua maioria, na sua detonação ou incineração. São procedimentos que corroboram para a redução dos resíduos explosivos e garantia da segurança dos envolvidos direta e/ou indiretamente, dependendo do local onde eles estejam alocados.

As detonações e ou incinerações, como exemplificado na Figura 2, são geralmente realizadas nas próprias fábricas, as quais têm locais apropriados e controlados para realizarem o processo de destruição. Esses locais recebem resíduos explosivos, além da própria empresa, originados dos processos produtivos; recebem dos clientes fruto de refugo e sobras de detonação e, em casos raros, há destruição de resíduos explosivos de origem desconhecida e ou ilícita.

Figura 2 - área de queima da IMBEL FE



Fonte: próprio autor

Outro fato relevante é que o controle de explosivos no Brasil é regulamentado pelo Exército Brasileiro por meio de portarias, que podem ser vistas no Quadro 1:

Quadro 1: Portarias normativas

Portarias	Assunto
Portaria Nº 118 – COLOG, de 04 de outubro de 2019. EB: 64447.041399/2019 – 31	Dispõe sobre listas de produtos controlados pelo Exército e de outras providências
Portaria Nº 147 – COLOG, de 21 de novembro de 2019. EB: 64447.044665/2019-87	Dispõe sobre procedimentos administrativos para o exercício de atividades com explosivos e seus acessórios e produtos que contêm nitrato de amônio

Esta dissertação iniciará analisando as publicações das normas reguladoras que tratam a respeito de produção, estocagem, manuseio e descarte de explosivos e os impactos às empresas, ao meio ambiente e à sociedade, de modo que, seja realizada uma análise completa e eficaz da realidade que cerca o descarte de explosivos. Além disso, serão analisadas as boas práticas das empresas produtoras de explosivos e das prestadoras de serviços de detonação em relação ao descarte e destruição dos resíduos explosivos.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A indústria de explosivos, como se sabe, gera seus resíduos de produção assim como outras indústrias. Não sendo diferente no exemplo acompanhado pelo trabalho, onde, em média, 15% do explosivo produzido pela IMBEL FE torna-se resíduo; refugo este de difícil descarte e de alto risco à segurança das pessoas e ao meio ambiente. Com isto, é de grande valia a utilização e o desenvolvimento de procedimento de reutilização dos Resíduos Explosivos, retroalimentando seus processos produtivos, além da realização de detonação e queima controlada.

O trabalho desenvolvido visa auxiliar as empresas produtoras de explosivos a tratarem os seus resíduos de forma mais segura e com menor impacto ambiental, sendo relevante na tomada de decisão no momento do descarte desses resíduos. A segurança para os envolvidos é uma questão muito importante quando se trata de resíduo explosivo, que deve ser discutido e sempre revisto para revalidar e ou criar técnicas seguras de descarte. Técnicas estas que quando são eficientes colaboram para uma melhor preservação do meio ambiente.

## 1.3 OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO

O objetivo desta dissertação é apresentar os resultados de uma análise dos procedimentos de reutilização e destruição, seus meios e técnicas viáveis, adequadas as condições da empresa que a esteja aplicando, permitindo a melhor tomada de decisão na gestão dos resíduos explosivos no processo produtivo de forma segura e de menor impacto ambiental. A análise da indicação do método mais adequado à empresa pode ser acompanhada ao longo deste trabalho em um exemplo prático realizado na empresa pública Indústria de Material Bélico do Brasil, (IMBEL), localizada em Magé RJ, onde aplicou-se os métodos pertinentes a alguns tipos de explosivos.

## 1.4 METODOLOGIA

A metodologia proposta para a dissertação tem como estrutura as seguintes etapas: releitura das normas que norteiam a destruição de explosivos e sua reutilização no processo produtivo, que pode ser observada na Figura 3. Além de uma explanação sobre a classificação e características dos produtos explosivos.

Em uma outra etapa da dissertação, é realizada uma comparação entre o método de destruição e reutilização, por meio de um exemplo prático na IMBEL FE, referente à gestão dos resíduos explosivos gerados pelo processo produtivo. O resíduo descartado, em um primeiro momento, é analisado e dependendo de suas características e condições é destinado à destruição, ou à reutilização após confirmado sua compatibilidade com o processo produtivo, assim sendo reintroduzido ao processo.

O exemplo busca validar e quantificar o quanto as técnicas abordadas na dissertação para a redução de resíduo explosivo e preservação do meio ambiente trazem à empresa em questão, relatando os resultados. Visando embasar tomadas de decisões e conclusões sobre descarte ou reutilização na gestão dos resíduos explosivos.

## 1.5 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

O texto que formaliza a dissertação divide-se da seguinte maneira:

No capítulo um, a introdução e justificativa são contextualizadas e o objetivo geral da dissertação é apresentado.

No capítulo dois, uma revisão de literatura referente à definição e classificações dos explosivos, à atividade de reutilização dos resíduos explosivos nos processos produtivos, à atividade de destruição dos resíduos explosivos é apresentada.

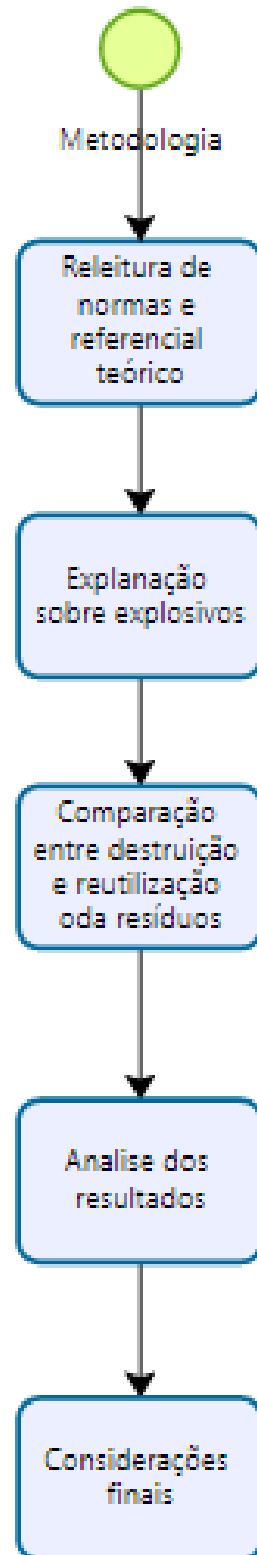
No capítulo três, a proposta metodológica para escolha de reutilização ou destruição dos resíduos explosivos em indústrias produtoras de explosivos é apresentada.

No capítulo quatro, os dados sobre o processo de reutilização e destruição dos resíduos explosivos extraídos do exemplo prático são apresentados.

No capítulo cinco, as análises e os resultados do comparativo entre os processos de reutilização e destruição dos resíduos explosivos e conclusões são apresentados.

Por fim, as considerações finais, os anexos e as referências são evidenciadas.

Figura 3 - fluxograma do trabalho



Fonte: próprio autor

## **2 REUTILIZAÇÃO E DESTRUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPLOSIVOS EM PROCESSOS PRODUTIVOS**

O presente capítulo abordará os fundamentos que a pesquisa demanda. Para tanto, a atividade de destruição de resíduos explosivos e a reutilização deles em processos produtivos, assim como os diferentes métodos de detonação e queima, a análise das variáveis requisitadas para a reutilização dos resíduos e suas normas e interações com o meio serão contextualizadas.

A seguir, são apresentados a norma de destruição do exército e o método de reutilização, detonação e queima utilizado pela IMBEL.

### **2.1 ATIVIDADE DE DESTRUIÇÃO DE RESÍDUO DE EXPLOSIVO**

A destruição dos resíduos explosivos foi uma prática largamente utilizada pelas empresas públicas produtoras de explosivos que visavam a segurança dos envolvidos e não tinham tanto comprometimento pela eficiência da planta produtora. Por não terem como analisar o produto refogado de forma correta e segura, era utilizado o método de destruição, pois quando aplicado corretamente dava destino ao resíduo, de forma segura.

Outra atividade típica é a destruição de explosivos e munições inservíveis, a qual se caracteriza como um procedimento operacional adotado pelas Forças Armadas que consiste em uma medida de segurança, sendo que esta destruição garante que as armas e a munição descartadas não sejam desviadas para grupos criminosos, além de diminuir a possibilidade de acidentes, já que quanto mais velho o material, maior risco existe em função da instabilidade química daquilo que está armazenado. (GUEDES, 2009, p.78)

A gestão da segurança representa um aspecto importante e essencial na condução das atividades da maioria das organizações. Trabalhando de forma responsável, a empresa pública IMBEL apresenta práticas e procedimentos consistentes na área da segurança, visto que é responsável por garantir meios seguros de trabalho para a vida de seus quase 300 funcionários e zelar por seu patrimônio físico. Por possuir grande risco de causar acidentes de grandes proporções a IMBEL tem que fiscalizar diariamente seus protocolos de segurança. Com objetivo

de se evitar acidentes de trabalho, que é definido pelo art. 19 da Lei nº 8.213/91, como o que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço da empresa ou pelo exercício do trabalho dos segurados referidos no inciso VII do art. 11 desta lei, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte ou a perda ou redução, permanente ou temporária, da capacidade para o trabalho".

Em seu processo produtivo atual a IMBEL, ainda que em menor escala, mantém o procedimento de destruição de resíduos explosivos para os que não podem ser reutilizados. Explosivos instáveis, com impurezas, fora da especificação ou em final de processo, quando não há a continuação da produção, são destruídos garantindo a redução de potências acidentes e contaminação ambiental.

A IMBEL tem como uma de suas atribuições indicadas por decreto elaborar normas que atendam de forma positiva o descarte de resíduos explosivos oriundos do processo produtivo. De acordo com a Portaria Nº386, de 09 de junho de 2008: os seguintes órgãos de direção setorial ficarão encarregados de elaborar e enviar ao Departamento de Engenharia e Construção normas afins, que considerem o transporte, o armazenamento, a coleta, o tratamento, a destinação final, a eliminação de expurgos e resíduos, quando necessário, bem como todas as medidas passíveis de evitar danos ou degradação ao meio ambiente, que estejam em suas esferas de competência, dentre outras: II - ao Departamento de Ciência e Tecnologia – cabe a eliminação de resíduos laboratoriais usados em pesquisas, considerando que a Indústria de Material Bélico do Brasil (IMBEL) deve ficar responsável por propor normas específicas para a gestão de resíduos industriais decorrentes de suas atividades.

Uma outra grande preocupação da empresa é com o impacto ambiental decorrente das destruições, sendo esse mais um motivo para se incentivar a reutilização dos resíduos explosivos no processo produtivo, pois, na destruição, por detonação ou por queima dos resíduos, há liberação de partículas dos produtos destruídos, que se depositam no solo, na água e no ar. Caso não executado em local próprio a essa prática e controlado podem alterar a composição biológica, física e química do meio ambiente representando um enorme perigo ao ecossistema e à sociedade.

A grande preocupação da IMBEL em relação ao meio ambiente é garantir a preservação do seu entorno, reduzindo as contaminações que podem ocorrer pelos lançamentos de metais pesados ao solo ou à água, metais como cobre, antimônio e chumbo. Além de outras substâncias, como azida de chumbo, estifinato de chumbo e

outros explosivos. Sem mencionar é claro os possíveis danos físicos como a queima da vegetação, poluição sonora, propagação de ondas de choque, mudanças drásticas do cenário com as detonações e os fragmentos deixados no solo após as queimas e ou detonações.

Mesmo que se consiga atingir 100% de eficiência produtiva as empresas produtoras de explosivos não eliminariam a necessidade de executar a atividade de detonação e queima, pois é um procedimento necessário para a confirmação e validação da eficiência do produto, são os testes práticos destrutivos. Outra ação de destruição por detonação ou queima é originária das devoluções de clientes, isto é, produtos não utilizados que passaram da validade, que estão com algum defeito por mau uso ou armazenagem. Devoluções que têm a destruição como seu caminho único. Com isso, há necessidade de se aprimorar e controlar cada vez mais o processo de destruição, com objetivo de eliminar a cada dia os riscos de acidentes ambientais, humanos e patrimoniais, visto que são danos, em sua maioria, irreversíveis e permanentes.

As regulamentações inseridas pelo Exército, vistas na Tabela 01, são de grande relevância pois atuam diretamente na produção e na destruição dos explosivos, assim, em toda a cadeia produtiva desde testes ao tratamento e descarte de rejeitos explosivos. A fiscalização por parte do exército é exercida em todos os explosivos, rastreando e abrangendo todos os processos, inclusive a destinação dos resíduos.

A fiscalização do Exército gera resultados também na rastreabilidade do explosivo, em que suas informações de produção são imputadas por meio de um serial permitindo a checagem de seus dados, identificando-os e facilitando o levantamento de suas informações. Essas informações têm maior importância quando há indícios de ilicitude que, depois das apurações, destinarão os explosivos a destruição em locais adequados, reduzindo os riscos de acidentes e eliminando os acúmulos de resíduos.

Com a regulamentação do exército, o controle produtivo, utilização e descarte ficaram mais padronizados facilitando seu monitoramento, rastreando as origens, destinos e descartes. Com isto toda a cadeia passou a seguir critérios únicos. Mesmo os prestadores de serviço, como o que atuam em pedreiras, seguem normas rigorosas de segurança, manuseio e armazenagem. Assim, caso os prestadores de serviço não utilizem todo o material explosivo nas detonações, os artefatos têm que ser corretamente descartados, com as devidas comprovações.



## 2.2 ATIVIDADE DE DESTRUIÇÃO E REUTILIZAÇÃO NO MEIO AMBIENTE

As atividades industriais em sua maioria causam graves problemas ao meio ambiente, quando não se tem uma gestão ambiental adequada. O aumento do ritmo das explorações e a despreocupação com o uso dos recursos naturais contribuíram de forma considerável para o agravamento dos problemas ambientais ligados ao solo, ar, água, fauna e flora. Não sendo diferente na indústria de explosivo, que deve sempre manter operante seu plano de gestão ambiental, garantindo o mínimo de impacto possível ao meio ambiente.

Assim, a preocupação com o aspecto ambiental é pauta global, discutida por todos, da sociedade de forma informal aos Chefes de Estado em tratados internacionais, o que não é diferente na indústria nacional e muito menos no setor de explosivo. A IMBEL não fica à parte dos processos que visam a preservação do meio ambiente, visto que além de trazer uma série de benefícios à empresa, a sua responsabilidade é ainda maior quando se olha o entorno de suas instalações. Situada na cidade de Magé, no Rio de Janeiro, fica localizada na encosta da serra de Petrópolis, cercada da mata atlântica, nativa do local.

As empresas produtoras de explosivo têm uma grande preocupação em relação aos possíveis impactos ambientais que podem acontecer caso ocorra um acidente, pois podem causar contaminações ao solo, ar e água, visto a utilização de insumos como o ácido, metais pesados e até mesmo os impactos por detonações.

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais. (CONAMA 1986, p. 17)

O planejamento de suas atividades de produção, armazenamento, descarte, transporte e destruição devem ser bem elaboradas para que sejam minimizados os riscos de acidente ambiental, pois o erro, nessas atividades, pode causar consequências graves e até irreparáveis ao ambiente. Falhas no recebimento do ácido nítrico, insumo de grande relevância na produção de explosivo como a Nitropemta, podem causar acidentes com vítimas e danos graves ao solo, subsolo e água. Por

esses motivos, a atenção e o cumprimento dos procedimentos de segurança devem ser totais na atividade exercida. Outras atividades exigem os mesmos níveis de atenção e cuidado; ao se fazer uma destruição, sempre deve se cumprir o procedimento, realizar no local certo, utilizar as precauções de acidente, executar a atividade sempre em condições climáticas ideais e realizar a descontaminação da área após o fim da atividade evitando que resíduos sólidos fiquem espalhados e que haja contaminação por infiltração de elementos químicos, oriundos do explosivo no solo, subsolo ou água.

Além disso, não apenas as atividades secundárias, mas o processo produtivo deve cumprir as regulamentações e legislações ambientais. A IMBEL, por ser uma empresa pública e vinculada ao Exército Brasileiro, segue também a Diretriz Estratégica de Gestão Ambiental do Exército Brasileiro que criou o Sistema de Gestão Ambiental do Exército Brasileiro SIGAEB (EXÉRCITO BRASILEIRO, 2001). Em dezembro de 2007, foi aprovada a atualização do SIGAEB, para em junho de 2008 criar-se a IG (Instruções Gerais) 20-10 para o SIGAEB. Em 2009, foi criada a Seção de Meio Ambiente, vinculada à DPatr (Diretoria de Patrimônio), e, em 2013, foi alterada a denominação da DPatr para DPIMA (Diretoria de Patrimônio Imobiliário e Meio Ambiente), que passou a ser o órgão supervisor e consultor técnico das ações e questões ambientais do Exército Brasileiro. Já em 2010, a Portaria No 1.275, aprova a diretriz para adequação do EB à PNRS (Política Nacional dos Resíduos Sólidos) (MARGONI C, 2015).

A indústria de explosivo com o intuito de preservar o ecossistema e ainda manter-se competitiva no mercado, cria suas estratégias e recursos para cumprir as legislações ambientais, como a reutilização de resíduos explosivos no processo produtivo, queima e destruição controlada do resíduo, a não produção para estoque, pois vinculado à preocupação ambiental está a prevenção de acidentes, fator de suma importância, pois os impactos que uma explosão podem causar são enormes, de vítimas à destruição e à contaminação do ambiente.

### 2.3 REGULAMENTAÇÃO E NORMAS DE DESTRUIÇÃO DE EXPLOSIVO

De forma a tornar viável e possível a realização da dissertação sobre o descarte dos resíduos explosivos da indústria bélica do estado do Rio de Janeiro, será necessário, em primeiro lugar, realizar um trabalho de releitura da legislação vigente para a destruição de munições, explosivos e artifícios, como se sabe, a Portaria N.º

107-EME, de 20 de outubro de 1970 é uma releitura necessária que deverá ser analisada para apontar a legislação vigente, assim como outras normas.

A portaria Nº 107-EME, de 20 de outubro de 1970 traz diretrizes para a destruição de munições, explosivos e artifícios em diversos pontos. O manual tem por finalidade fixar normas a serem observadas no armazenamento, manuseio, conservação e destruição de munições, explosivos e artifícios, dentro das melhores condições de segurança. Visa, outrossim, fornecer aos profissionais uma base de conhecimentos indispensáveis a quem tem encargos relacionados a esses materiais.

Em um dos primeiros princípios, a portaria (107-EME 1970) mostra a importância de se trabalhar com o máximo de segurança, mostrando que qualquer operação que envolva o manuseio de munições, explosivos e artifícios requer o emprego, durante o menor tempo possível, do pessoal estritamente necessário. As quantidades de material perigoso a ser manuseado devem ser reduzidos ao mínimo, conciliando-se sempre a segurança do pessoal com a eficiência das atividades.

A portaria (107-EME 1970) traz importantes conceitos como os de munições: são corpos carregados com explosivos ou agentes químicos destinados a produzir danos. Conceitua explosivos como substâncias capazes de, com rapidez muito grande, se transformarem em gases, produzindo calor intenso e pressões elevadas. Já o conceito de artifício é descrito como engenhos destinados a produzir efeitos visuais ou auditivos, ou provocar inflamação ou detonação de explosivos.

Embora os termos munição, explosivo e artifício tenham significado distintos, para facilidade de expressão, será usada, indistintamente, nesse trabalho, a expressão explosivo com seu significado próprio ou para englobar os três tipos de material.

Explicações sobre os tipos de explosivos são relevantes para melhor entender o processo de destruição dos resíduos explosivos, pois a aplicação de determinados explosivos é vastamente utilizada na indústria de explosivos, pedreiras e em exercícios militares. Outro ponto importante desta explanação é conhecer a aplicação dos explosivos iniciadores, reforçadores e de ruptura.

Explosivos iniciadores são aqueles empregados, em mistos, para iniciação ou excitação das cargas explosivas. São muito sensíveis ao atrito, calor e choque. Quando sob efeitos de fogo, explodem sem incendiar-se. Temos como exemplos a Azida de Chumbo, Estifnato de Chumbo, Tetraceno, espoleta entre outros (107-EME 1970).

Explosivos Reforçadores servem como intermediário entre o iniciador e a carga explosiva. São iniciados por calor, atrito ou choque, além da possibilidade de detonarem quando queimados em grandes quantidades. Exemplos são a ciclonita (RDX, HMX), Nitropenta e Tetril (107-EME 1970).

Explosivos de Ruptura, constituem os alto-explosivos, são quase todos tóxicos. Responsáveis pela maior detonação, são as cargas explosivas que causam impacto e destruição, utilizadas em bombas, granadas, alto-explosivos e outros. Exemplos são a Pentolite, Amatol, Trotil (*booster*, petardo), Tritonal e outros (107-EME 1970).

Uma forma de eliminar o resíduo explosivo é por desmonte. Segundo a Portaria 107-EME (1970), “desmonte é o trabalho destinado a desmontar o explosivo ou seus elementos com a finalidade de se retirar os componentes”. Esse processo só poderá ser executado por pessoa especializada e de competência de órgãos ou empresas autorizadas.

A destruição acontece quando o explosivo que não pode ser desmontado, recuperado ou que não apresente segurança para ser manuseado será destruído por queima ou detonação. A destruição de explosivo será executada por pessoal habilitado, devendo-se, em cada caso, observar as prescrições em manuais, portarias, normas e boas práticas. Não é relevante levar em consideração a parte econômica quando necessária a destruição, pois os prejuízos serão maiores em caso de acidente. Outra restrição é o emprego de piso de concreto nos locais de destruição seja por queima ou detonação, os locais devem ser limpos de vegetação e longe de estradas e sempre que possível fora da zona urbana.

A detonação é o método empregado para destruir o explosivo utilizando um sistema detonador com explosivos iniciadores e de ruptura. Constitui em alocar um explosivo de ruptura, já montado com o explosivo iniciador, no resíduo explosivo que se deseja destruir; em que a transmissão de calor se dá por meio de um estopim, formado por uma trança de fios de algodão envolvido em pólvora e protegidos por uma cama de polietileno.

A queima ou combustão dos resíduos explosivos seguem o processo em que se deve empilhar o material de descarte, fora da embalagem, sobre o material inflamável e atear fogo. Deve ser feito à distância, através de um rastilho de material inflamável podendo ser pólvora ou estopim.

Essas informações, assim como outras relacionadas à portaria, foram analisadas de modo a propor uma explicação mais apurada sobre explosivos e permitir uma análise futura dos métodos de destruição.

## 2.4 ANÁLISES DOS RESÍDUOS EXPLOSIVOS ORIUNDOS DA PRODUÇÃO

Constantemente as atividades produtivas exigem mais precisão em suas execuções: o que se produzir, quando se produzir, como se produzir, a quantidade a ser produzida e prazo para entrega. Assim, torna-se necessário que as empresas lancem mão de ferramentas que as auxiliem nessa organização síncrona das atividades. Uma das ferramentas que podem ser utilizadas é o *Just in Time*, que tem como filosofia otimizar os recursos empregados na produção, reduzindo estoques, melhorando a produtividade, diminuindo tempo de fabricação, agregando valor ao produto. Segundo Cheng e Podolsky (2008), *Just in Time* é um sistema de Administração de Produção que determina que nada deve ser produzido, transportado ou comprado antes da hora exata. Pode ser aplicado em qualquer organização, para reduzir estoques e os custos decorrentes.

A saída para essas questões está pautada no cumprimento de etapas, que visam atender a um objetivo. O desejo na maioria das empresas gira em torno dos números financeiros, aumentando as receitas, diminuindo os custos. São objetivos que podem ser mensurados e impostos de forma clara, expressos de forma *tangível*. Mas outros objetivos de importância para as empresas também são buscados, os chamados *intangíveis*, os quais não têm uma mensuração tão fácil de ser feita, às vezes impossíveis de serem quantificados, exemplos não faltam, como: a satisfação do cliente com a empresa e seus produtos, a satisfação dos funcionários com as atividades exercidas, o nível de segurança no trabalho aplicado; os impactos ambientais oriundos da atividade de manufatura etc. Assim é necessária a presença de um ser humano para avaliar e quantificar se os objetivos *intangíveis* estão sendo alcançados.

O atingimento das metas passa então a ser uma necessidade das empresas, pois garante pouco a pouco a permanência no mercado e até mesmo a liderança de um segmento ou de todo mercado. Para as empresas produtoras de explosivos não é diferente, a luta pela sobrevivência é diária, tendo como meio para se manter competitiva o cumprimento das metas: redução de custos, aumento de receita, elevação dos níveis de segurança, satisfação do cliente, entre outros objetivos *tangíveis* e *intangíveis*. E de forma convexa ao alcance dos objetivos a atividade de reutilização dos resíduos explosivos veio contribuir para melhorar o índice de muitas dessas metas, reutilização que passou a ser mais eficiente após a melhora nos

processos de análise dos resíduos, dando mais segurança e confiabilidade ao processo e reduzindo os impactos ambientais.

A análise dos resíduos dos processos de produção de explosivos ganhou notoriedade, pois com ela pode-se definir com mais clareza e exatidão quais rejeitos da produção poderiam ou não retornar ao processo produtivo, além de definir também as quantidades e suas especificações e fazer os ajustes caso fosse necessário. Outro ponto positivo é que hoje as análises dos produtos acabados auxiliam na redução das atividades de destruição desses produtos, pois eliminam a necessidade de alguns testes práticos destrutivos para se avaliar a confiabilidade do produto final, que são feitas através dos laboratórios que garantem as especificações pré-definidas em suas análises.

Os testes e análises mais utilizadas pelas empresas produtoras de explosivos são: a análise química da composição, a análise física de massa volume e a umidade e concentração. São testes que tem por objetivo conferir se os parâmetros do produto estão de acordo com as especificações requeridas, para que assim, haja certeza de que o produto refugado seja reutilizado no processo produtivo. Na esfera da IMBILFE, exemplo utilizado nesse trabalho, as análises feitas são baseadas em normas preestabelecidas pelo Exército Brasileiro denominadas de Norma do Exército Brasileiro (NEB).

A cada produto é destinada uma NEB que serve como base para se determinar as especificações técnicas, a forma de recebimento, o manuseio do produto, além de ser um guia para se determinar o processo de análise. Outras normas complementam a NEB, as empresas estudam e criam, de acordo com suas possibilidades, suas normas internas e manuais de análise. Todas essas normas utilizadas em conjunto garantem uma análise correta do produto gerando veracidade dos resultados e segurança para os que executam a atividade. Conseqüentemente a garantia da qualidade e segurança do processo são transferidos graças ao método cumprido. Desse modo, não apenas o processo produtivo é beneficiado, mas também a eficiência, a segurança e o meio ambiente que valem da análise para reaproveitar os resíduos explosivos.

Um exemplo de NEB utilizada como base para análises e especificações é a NEB/T E-269 que trata sobre pólvora negra classe 1 a 8. Essa Norma fixa as características e as condições exigíveis para a aceitação de Pólvora Negra utilizada no Exército Brasileiro (NEB/T E-269). A Norma informa a definição, as condições de fabricação, características gerais, características específicas, inspeção, métodos de

ensaio e procedimentos. A Tabela 1 apresenta uma referência a ser seguida quando se trata de granulometria de pólvora:

Tabela 1: Granulometria das classes das Pólvoras

CLASSE (B)	RETENÇÃO NA PENEIRA (A)		PASSAGEM NA PENEIRA (A)	
	ABNT (MM)	% MÁx	ABNT (MM)	% MÁx
1	4,8	3	2,4	5
2	3,4	3	1,7	5
3	2,4	3	1,2	5
4	1,2	3	0,600	5
5	1,2	3	0,420	5
6	0,840	3	0,300	5
7	0,420	3	0,150	7
8	0,150	5	0,053	50

Seguindo com o exemplo da pólvora negra, a NEB traz métodos de ensaio, de procedimentos, análise de embalagem, submissões a ensaios destrutivos. Ela também detalha como deve ser o preparo das amostras: de cada amostra primária, tomar uma porção de 30 g exceto para a classe 8, cada porção deve ser reduzida a pó em um almofariz e peneirada na peneira ABNT 0,250 mm. O tempo utilizado na redução e peneiramento não deve exceder a três minutos para cada porção. Podem ser utilizadas, se necessário, porções adicionais de 30 g. Homogeneizar cada amostra, oriunda da mesma amostra primária, e guardar em recipiente hermeticamente fechado (NEB/T E-269). Após o preparo é possível determinar parâmetros como umidade, calcular o percentual dos elementos no produto, determinar a Massa Volumétrica Real MVR.

Essa característica, quando dentro de suas especificações garantem a utilização ou reutilização dos produtos, sendo um procedimento necessário tanto para o processo produtivo, como para o teste de validação do produto, como também para a reutilização dos resíduos explosivos do processo. Essa atividade contribui diretamente para o atingimento das metas da empresa, sendo um indicativo de informação para a tomada de decisões dos gerentes de produção.

## 2.5 CLASSIFICAÇÕES DOS EXPLOSIVOS

As definições e classificação dos explosivos são necessárias para melhor entendimento do trabalho. Visto isso, classificam-se os explosivos das diferentes maneiras, dependendo dos critérios de classificação utilizados. Uma das formas mais comuns de classificar os tipos de explosivos é com base na sua sensibilidade e na

velocidade de detonação. De acordo com essa classificação, os explosivos são divididos em: (i) velocidade de detonação; (ii) sensibilidade; (iii) composição química; (iv) finalidade. Cada uma dessas classificações é descrita a seguir.

### **2.5.1 Velocidade de detonação**

Os explosivos podem ser classificados com base em sua velocidade de detonação, como os explosivos de alta velocidade (por exemplo, emulsão) e os explosivos de baixa velocidade (por exemplo, explosivo plástico). (EDGARD,2007, p.15).

Alta velocidade: São os explosivos mais potentes e rápidos. Eles têm uma velocidade de detonação superior a 1000 m/s e são utilizados em operações de demolição, escavação e fragmentação de rochas. Exemplos de explosivos de alta velocidade são a dinamite, a emulsão e o ANFO.

Baixa velocidade: São explosivos que apresentam uma velocidade de detonação menor que a dos explosivos de alta velocidade. Eles são utilizados em aplicações que requerem menor potência, como desmonte de rochas em pedreiras, em operações de mineração a céu aberto e em operações de demolição controlada. Exemplos de explosivos de baixa velocidade são a pólvora negra, o explosivo plástico e o gel explosivo.

### **2.5.2 Sensibilidade**

São os explosivos que têm uma alta sensibilidade à iniciação e são mais propensos a acidentes. Eles são utilizados principalmente em aplicações militares, como minas terrestres e dispositivos explosivos improvisados (IEDs). Exemplos de explosivos sensíveis são o TNT, o PETN e o RDX.

Os explosivos podem ser classificados com base em sua sensibilidade à iniciação, como os explosivos insensíveis (por exemplo, ANFO) e os explosivos sensíveis (por exemplo, PETN). (ZUKAS, 2007, p.8).



### **2.5.3 Composição química**

Além desses critérios, os explosivos também podem ser classificados de acordo com a sua composição química, como os explosivos à base de nitrato (ANFO), os explosivos à base de clorato (pólvora negra) e os explosivos à base de nitroglicerina (dinamite). A classificação dos explosivos pode variar de acordo com a aplicação, a norma utilizada e a região do mundo em que são produzidos e utilizados.

Segundo Roque (2006) os explosivos podem ser classificados com base em sua composição química, como os explosivos à base de nitrato (ANFO), à base de clorato (pólvora negra) e à base de nitroglicerina (dinamite).

### **2.5.4 Finalidade**

Os explosivos também podem ser classificados de acordo com a finalidade para a qual são utilizados, como explosivos para demolição, explosivos para mineração, explosivos militares, entre outros. (DICINOSKI 2011, p.32).

### 3 PROPOSTA METODOLÓGICA PARA SELEÇÃO DE PROCEDIMENTO DE REDUÇÃO DOS NÍVEIS DE RESÍDUOS EXPLOSIVOS

Este trabalho utilizará um exemplo de Campo, acompanhado durante esta pesquisa, realizado na IMBEL FE, Indústria de Material Bélico do Brasil Fábrica Estrela, para comparar os métodos utilizados para reduzir os níveis de resíduos explosivos no processo produtivo. Identificando pontos comuns e divergentes entre o método de destruição e de reutilização dos resíduos explosivos no processo produtivo. Além disso, também serão apontados pontos particulares da empresa que visa a eliminação de tipos específicos de resíduos explosivos, devido às características e às limitações das empresas, na composição do ambiente e do clima da região.

Tendo ainda como base o exemplo de campo, na IMBEL-FE, será feito a análise das atividades produtivas que seguem as portarias e as normas, com o objetivo de registrar e comprovar a eficiência e segurança dos métodos de Reutilização do Resíduos Explosivos e os Processos de Destruição empregados.

A pesquisa de campo utilizada para embasar esta dissertação seguiu a linha de comparação entre os métodos de reutilização e destruição dos resíduos explosivos e diz respeito a uma investigação empírica, na qual o pesquisador tem o objetivo de analisar as características de um fato ou fenômeno, além de isolar as variáveis. (VIACARREIRA 2011, 31).

Ao acompanhar o processo de reutilização dos resíduos explosivos no processo produtivo da IMBEL FE, foi escolhido a planta produtiva de *Booster* para a análise, a qual tem seus procedimentos de produção descritos na Instrução de Trabalho (ITR) que descreve o procedimento de trabalho que o operador deve executar, garantindo sua segurança e eficiência no processo produtivo.

Para cada explosivo há uma ITR diferente, no caso do *Booster*, explosivo utilizado no exemplo de campo, a quantidade de resíduo explosivo reaproveitado por processo produtivo é de 10% do peso líquido total. Desse modo, a cada quatrocentos quilos (400kg) de insumo utilizado, pode-se compor quarenta quilos (40kg) de resíduo explosivo do *Booster*.

Com o acompanhamento do processo por um período de três meses foi levantado dados suficientes para se mensura os ganhos adquiridos com a adoção da reutilização dos resíduos explosivos no processo produtivo. Estes dados, foram coletados por meio de formulários preenchidos diariamente pelos operadores responsáveis pela fabricação.

Importante informar que os resíduos explosivos utilizados no período de observação são oriundos de: devoluções de clientes motivados por falhas no produto, 8% do total armazenado; devoluções por não utilização do produto em consequência da restrição de guarda dos produtos, levando a devolvê-los, 34% do total armazenado; descarte do processo produtivo, 58% do total armazenado. Não há um padrão na quantidade de produto refugado, pois depende de diversas variáveis do processo produtivo, como estado físico do insumo (umidade), condições mecânicas do maquinário (temperatura de aquecimento, adequação de seus atuadores...), garantia de energética e ou de vapor das caldeiras. Assim, são inúmeras as variáveis que levam à geração de refugo que em seu pico não ultrapassa 15% da produção diária.

A coleta de dados quantitativa descritiva também foi utilizada no exemplo de campo voltada a destruição dos resíduos explosivos. Por meio da Instrução de Trabalho (ITR), com isso a IMBEL normatiza os procedimentos para a destruição, elevando os índices de segurança para o operador e garantindo menores impactos ao meio ambiente.

A ITR de destruição define como devem ser procedidas as etapas e as condições para uma destruição segura, mas as quantidades a serem destruídas são calculadas pelo Responsável Técnico e equipe que consideram variáveis como as condições físicas e químicas do produto, quantidades e locais armazenadas, condições climáticas, tempo seguro de permanência de estocagem do produto e local da destruição.

Com isto, a dissertação será baseada em comparação de dados técnicos, coletados nas referências bibliográficas citadas e dados levantados em observações do exemplo de campo. Levando, então, a uma conclusão validada por informações técnicas e precisas de casos práticos.

### 3.1 IDENTIFICAÇÃO DE VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM NA ESCOLHA DO PROCEDIMENTO PARA DIMINUIÇÃO DOS NÍVEIS DE RESÍDUO EXPLOSIVO

A abordagem do tratamento e escolha do método, visando reduzir os impactos ambientais e de segurança que os resíduos explosivos podem gerar quando não tratados, dependem de alguns fatores, como o tipo de explosivo, a etapa do processo de fabricação, a condição físico-química do explosivo, o armazenamento, o ambiente externo e condições meteorológicas no período do tratamento do resíduo. A partir disso, é necessário que se determine os possíveis caminhos que podem ser

percorridos pelo resíduo para que se conheça os impactos e danos ambientais que ele pode desencadear. Verificada as possibilidades de caminhos que o resíduo pode seguir, identificam-se as possíveis formas de como o resíduo se apresentará, como por exemplo o seu grau de sensibilidade à detonação, o formato estrutural que se encontra, a forma de alocação, e a localização do resíduo.

### **3.1.1 Análise da etapa do Processo de Fabricação**

A identificação do método que traz melhores resultados visando a preservação do ambiente e a segurança em cada caso, inicia-se observando os fatores e ações que ocorrem no meio em que estão inseridos. Para o método de reutilização, deve-se observar se haverá continuidade da produção e as condições do resíduo explosivo. Para o método de destruição, leva-se em consideração se há a possibilidade de reutilizar e caso não haja, analisa-se as condições do local de destruição. Com isso, o processo de produção de explosivos se torna um fator determinante na escolha do método, pois é a partir da análise de suas variáveis que há a tomada de decisão por qual método utilizar.

## **3.2 OS MÉTODOS DE REDUÇÃO DOS RESÍDUOS EXPLOSIVOS**

Destacados os fatores e variáveis que influenciam na definição do procedimento a ser adotado para a redução dos níveis de resíduos explosivos, descreve-se cada procedimento que pode ser utilizado, que são a reutilização e a detonação e ou Queima.

### **3.2.1 Reutilização**

A reutilização do resíduo explosivo no processo produtivo pode variar dependendo do tipo de explosivo e das condições em que o resíduo foi gerado. No entanto, de maneira geral, o processo de reutilização pode envolver etapas nas quais o resíduo é coletado e armazenado em um local seguro e adequado, para evitar riscos de explosões, vazamentos e contaminações. Em seguida, classificado de acordo com suas características físicas e químicas e segregado de acordo com sua finalidade de reutilização. Posteriormente, é submetido a processos de tratamento, que podem

incluir lavagem, secagem, trituração e moagem, com o objetivo de reduzir o tamanho das partículas e remover contaminantes. E, finalmente, é incorporado em novos processos.

Neste procedimento, é importante ressaltar que o processo de reutilização do resíduo explosivo deve ser realizado com cautela e seguindo normas e regulamentações ambientais, para evitar riscos à saúde humana e ao meio ambiente.

### **3.2.2 Detonação**

O processo de detonação do resíduo explosivo pode variar dependendo do tipo de explosivo e das condições em que o resíduo foi gerado. Para que haja a detonação do resíduo é necessário a preparação do local de acordo com as normas de segurança e as exigências legais. Isso pode incluir a construção de estruturas de contenção, a delimitação de áreas de exclusão e a implementação de sistemas de monitoramento ambiental. Posteriormente, o resíduo explosivo é carregado em um dispositivo de detonação, que pode ser um furo, uma carga a granel ou outro dispositivo apropriado para o tipo de explosivo.

A detonação em si só é iniciada por meio de um sistema de ignição, que pode ser elétrico, mecânico ou químico. A detonação ocorre quando uma onda de choque se propaga pelo explosivo, produzindo energia suficiente para fragmentar ou deslocar o material a ser demolido. Esse processo necessita de monitoramento para garantir que as normas de segurança e as exigências legais sejam cumpridas. Isso pode incluir a medição de níveis de ruído, vibração, poeira e outras emissões. A detonação de resíduos explosivos deve ser realizada por profissionais qualificados e experientes, seguindo as normas de segurança e as exigências legais. Além disso, como já citado, a detonação deve ser planejada de forma a minimizar os impactos ambientais e sociais.

### **3.2.3 Queima**

A queima controlada, é uma alternativa para a destruição de resíduos explosivos que não podem ser reciclados ou reutilizados. O processo envolve a queima do resíduo em uma instalação especializada, onde são controlados diversos

parâmetros, como temperatura, velocidade do ar e tempo de residência, para garantir a completa destruição do explosivo.

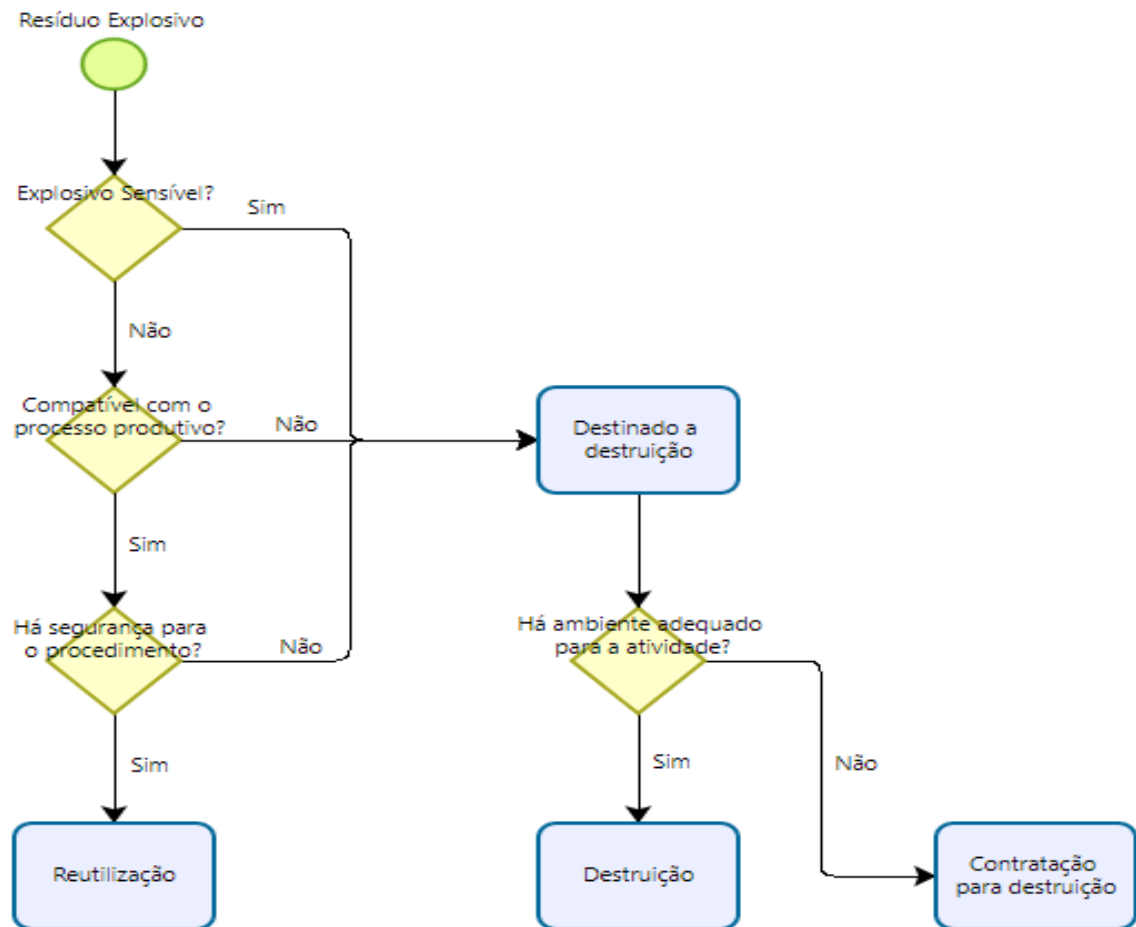
De acordo com Cunha et al. (2019), o processo de queima controlada de resíduos explosivos é realizado em fornos rotativos ou incineradores que podem operar em temperaturas de 1000°C ou mais. Durante a queima, os resíduos são submetidos a reações químicas que transformam os compostos orgânicos em gases e em outros resíduos inorgânicos.

Após a queima, os gases resultantes passam por um sistema de controle de poluição, em que são tratados para remover os contaminantes e evitar a emissão de poluentes atmosféricos. As cinzas e outros resíduos sólidos resultantes da queima são geralmente tratados para remoção de contaminantes e descartados de forma segura.

### 3.3 DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA DE TOMADA DE DECISÃO

Para auxiliar a tomada de decisão das empresas produtoras de explosivo, com relação ao procedimento a ser adotado para redução dos níveis de resíduos explosivos, este trabalho elaborou um esquema estruturado em fluxograma, apresentado na Figura 4, que leva em consideração as características e variáveis dos tipos de resíduos e ambiente. A finalidade é determinar qual o procedimento mais adequado a se utilizar, levando à empresa a realizar a atividade ou não, ou até mesmo contratar outra empresa especializada para executar, evitando e ou reduzindo os danos ao ambiente, aos colaboradores e suas estruturas físicas.

Figura 4 - fluxograma tomada de decisão



Fonte: próprio autor

### 3.4 VALIDAÇÃO DA INDICAÇÃO DO PROCEDIMENTO

A validação deve avaliar as variáveis que são inerentes ao resíduo explosivo no momento do tratamento e compará-las aos exemplos práticos semelhantes já aplicados e às características de cada método, assim, definindo o método mais adequado para a melhor destinação e redução dos níveis de resíduos explosivos.

Com a indicação do procedimento a ser utilizado para reduzir os níveis de resíduos explosivos na indústria bélica, pode-se chegar à algumas conclusões. No caso do resíduo ser compatível ao processo produtivo, é indicado a reutilização. Já no caso de o resíduo não ser compatível, é indicado a destruição nas próprias dependências da empresa ou contratação do serviço de destruição, quando não há meios e condições de se fazer, garantindo, assim, o mínimo de impacto ao ambiente.

#### 4 COLETA DE DADOS NO ESTUDO DE CASO

Para definir o produto explosivo, gerador de resíduo, foram levadas em conta algumas considerações: (1) O processo produtivo é de responsabilidade da IMBEL FE, portanto deve seguir os critérios da ITR da empresa; (2) em função das informações necessárias, devem ser utilizados dados reais do período de observação; (3) outro fato importante é que o produto escolhido é largamente utilizado no meio civil, sendo assim, o produto de estudo foi escolhido como base do exemplo prático pela facilidade de acesso e a necessidade inicial de um estudo completo e abrangente em torno do método; (4) para um estudo de caso a nível geral dos explosivos, seria necessário traçar uma estratégia específica para trabalhar nesse nível de informação, por exemplo, utilizar critérios mais genéricos em um primeiro momento para análise dos diferentes tipos explosivos, e, conseqüentemente, uma posterior filtragem das técnicas, com isso, melhora-se a qualidade do nível de informação, agregando mais critérios.

A área de estudo se encontra em uma linha de produção da IMBEL FE, que está situada na cidade de Magé, no estado do Rio de Janeiro. A Fábrica em questão localiza-se no início da serra de Petrópolis, local estratégico, que tem a serra como barreira de segurança natural em caso de acidente. Nesse local, é realizada a atividade de produção do explosivo, reutilização do resíduo explosivo e destruição, quando necessário, desde a década de 80, mas somente a partir de 2015 que pesquisas de cunho ambiental começaram a ser realizadas, buscando conhecer melhor o processo e como ele pode interferir no meio ambiente.

O objetivo desta pesquisa é propor um caminho que auxilie na tomada de decisão no gerenciamento do resíduo explosivo indicando o procedimento mais adequado, sendo ele a reutilização dos resíduos explosivos no processo produtivo de forma segura e de menor impacto ambiental ou a destruição. A metodologia desenvolvida nesta dissertação pode ser aplicada em outras empresas produtoras de explosivos, podendo ou não variar os critérios envolvidos, de acordo com as condições da empresa. A IMBEL FE realiza a atividade apenas em área de sua propriedade, a qual possui dimensões que não têm pontos com diferentes climas em um mesmo período, e as possíveis variações não são impeditivos a seleção do procedimento, assim sendo possível utilizar em outras empresas em diferentes regiões.



#### 4.1 DESCRIÇÃO DO PRODUTO DE ESTUDO

O produto em estudo, apresentado na Figura 5, é um explosivo de demolição, denominado pela IMBEL FE como *Booster Belex* e pelo mercado como Explosivo Reforçador. Os explosivos de demolição são utilizados para desmonte de rochas, detonações de até médio impacto e destinado também a propiciar a iniciação de explosivos de baixa sensibilidade (Anfo, emulsões, pastas etc.). O explosivo é constituído de uma mistura de outros dois explosivos Trinitrotolueno (TNT) e Pentolite; envazado em recipientes plásticos de variados tamanhos, os quais determinam seu poder de detonação, devido à quantidade de explosivo contido nele.

Figura 5 - *Booster Belex*



Fonte: Catálogo de produtos IMBEL

Os recipientes que suportam o *Booster Belex* são corpos plásticos que são carregados com explosivos de massa de 30g, 150g, 230g e 300g. E seus corpos têm uma geometria cilíndrica e estrutura interna que permite ao explosivo se conectar a outros iniciadores e detonadores com a devida segurança. Exemplos de iniciadores

são as espoletas, pirotécnicos de alta sensibilidade, que entram facilmente em ignição e servem para iniciar uma cadeia de detonações. Outro explosivo que pode ser utilizado para iniciar o *Booster Belex* é o cordel detonante, que é um explosivo em formato de um fio que pode se estender por metros proporcionando entre outros usos a iniciação do *Booster Belex*.

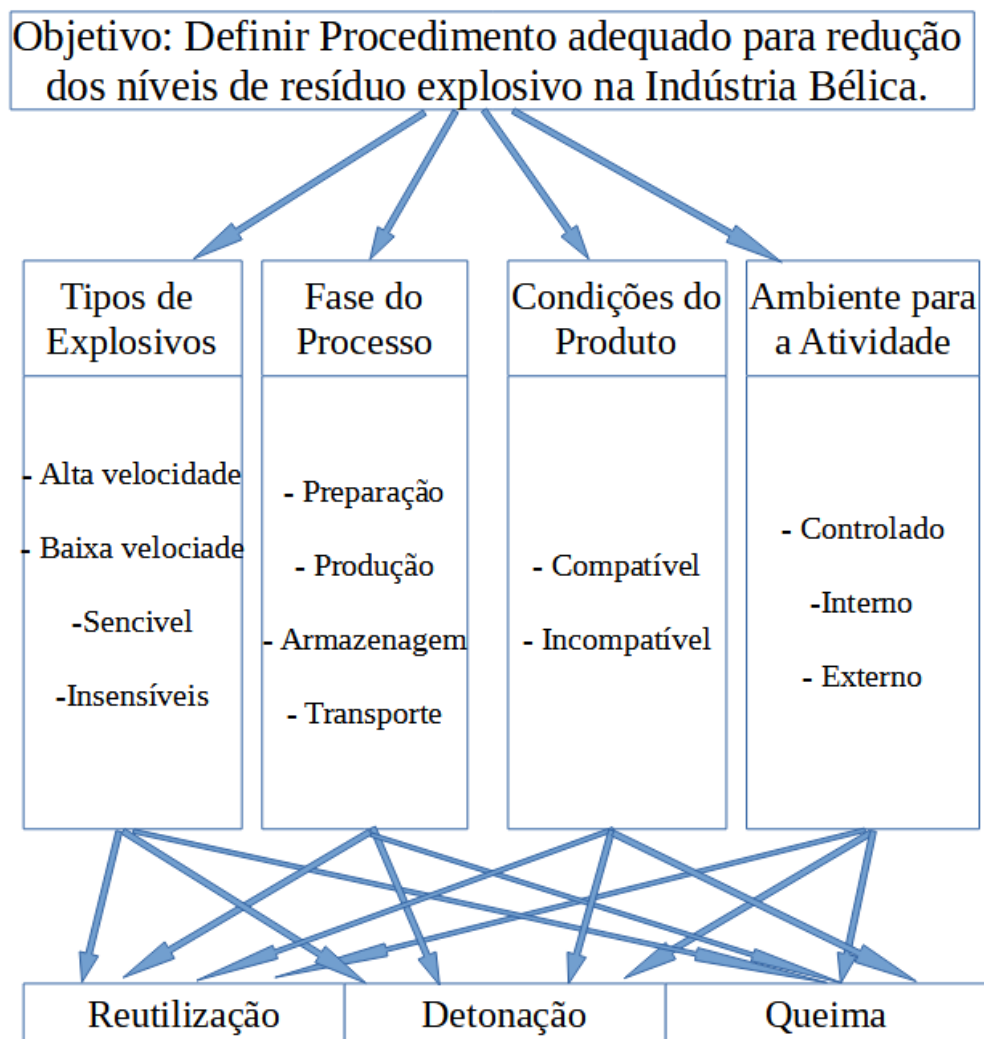
Um exemplo de aplicação do explosivo *Booster Belex* pode ser visto nas pedreiras, na destruição de rochas. Dependendo da dimensão do bloco a ser destruído, há a necessidade de uma estrutura mais complexa, com vários acessórios e um alto explosivo, que podem ser emulsão encartuchada, um cordel detonante, um iniciador da onda de choque, que é a espoleta, e um elemento de transmissão de fogo, isto é, o estopim. Para chegar ao resultado esperado para uma grande destruição introduz a emulsão nos furos para a destruição e logo o outro explosivo de ruptura, *booster*, para ativar a massa explosiva. Atrelado ao explosivo de ruptura, *booster*, conecta-se o cordel que serve como elo entre os conjuntos de explosivos. Para a ignição do cordel, se acopla uma espoleta iniciadora que está ligada a um estopim que transmite a carga de fogo pelo seu percurso.

#### 4.2 ESTRUTURA HIERÁRQUICA

A estrutura hierárquica desta pesquisa foi desenvolvida com os critérios que levam em consideração: tipo de explosivo, fase de processo, condições do produto, quantidade e local para destruição. A faixa de segurança e preservação ambiental foram utilizados como critérios de exclusão, pois elas são determinantes para a atividade. Já, o clima e o vento não serão inseridos nessa estrutura hierárquica, devido à área de estudo ser restrita aos limites da empresa e ou Organização Militar, a variação dessas condições dentro do perímetro é o mínimo. Dessa forma, devem ser utilizados como base para determinar o dia em que será realizada a destruição, por exemplo, em um dia com ventos intensos, umidade abaixo de 50% e alta precipitação, não é possível realizar o procedimento, pois o vento pode propagar partículas geradoras de princípios de incêndio ou contaminação do ambiente. Dias com baixa umidade facilitam a ignição, o que é um risco a mais no processo, assim, é motivo para se evitar atuar nos dias mais secos. Por outro lado, dias de precipitação, por formarem uma barreira com nuvens mais baixas intensificam a propagação do som, podendo causar danos à região com uma onda de choque sonora mais forte.

Desse modo, desenvolve-se, neste trabalho uma estrutura hierárquica, conforme a Figura 6, que se divide em níveis: o objetivo, as variáveis e as classes alternativas.

Figura 6 - estrutura hierárquica



Fonte: Próprio autor

Para facilitar o entendimento da atividade, o método de definição de procedimento de destruição e ou reutilização de explosivo sugere uma representação hierárquica. Neste estudo, o objetivo é definir o procedimento mais adequado, seguro e de menor impacto ambiental, para a destruição e ou reutilização do explosivo inservível. Em segundo plano, estão as informações necessárias para desenvolvimento do problema, que são: tipo de explosivo, fase de processo, condições do produto, quantidade e local para destruição; e a elas, são associadas suas respectivas classes. Assim, cada um dos dados contribui para a tomada de

decisão, chegando às alternativas finais que são as ações de reutilização ou detonação do resíduo explosivo.

#### 4.3 TRATAMENTO DE DADOS

Os dados utilizados, sintetizados na Tabela 2, tem origem de um levantamento feito por meio de observações e acompanhamento das atividades produtivas na Fábrica da Estrela, IMBEL FE, em Magé RJ.

Tabela 2: registro de matéria prima do *Booster Belex*

Janeiro 2023					
Dia	TNT kg	Pentolite kg	Reutilizado kg	Produzido kg	Resíduo gerado kg
04	416,70	416,70	25,00	858,40	18,40
05	416,70	416,70	25,00	858,40	15,00
06	231,50	231,50	-	463,00	9,00
09	416,70	416,70	-	833,40	11,20
10					
11	416,70	416,70	25,00	858,40	15,00
12	416,70	416,70	-	833,40	11,20
13	231,50	231,50	-	463,00	5,50
16	416,70	416,70	25,00	858,40	9,20
17	416,70	416,70	-	833,40	8,30
18	416,70	416,70	25,00	858,40	15,00
19	416,70	416,70	-	833,40	18,00
20	231,50	231,50	-	463,00	7,50
23	416,70	416,70	25,00	858,40	15,00
24	416,70	416,70	-	833,40	9,00
25					
26	416,70	416,70	25,00	858,40	5,50
27	231,50	231,50	-	463,00	5,50
30	416,70	416,70	25,00	858,40	7,20
31	416,70	416,70	25,00	858,40	10,00
<b>Total</b>	<b>6.759,80</b>	<b>6.759,80</b>	<b>225,00</b>	<b>13.744,60</b>	<b>190,00</b>

Como pode ser observado a parti da tabela acima, os dados refletem um período de produção específico de um mês, um acompanhamento diário do processo produtivo, com levantamento das quantidades de matéria prima utilizada, produção realizada e os rendimentos parciais e acumulados. As informações imputadas na tabela foram obtidas através de apontamentos de documentos oficiais da empresa como o da Figura 7:



Quadro 2: Comparativo entre reutilizar ou destruir

Reutilizar	Destruir
Reutilizado 100% do resíduo explosivo oriundo da produção de <i>Booster</i> no mês de janeiro de 2023 dentro do próprio mês.	Por meio de um histórico da IMBEL FE, sabe-se que a destruição de todo o resíduo explosivo oriundo da produção de <i>Booster</i> no mês de janeiro de 2023 se estenderia por três meses.
Ganhos econômicos para a empresa, redução do impacto ambiental, maior segurança aos trabalhadores.	Gasto com a atividade interna ou externa para a destruição dos resíduos, Impacto ambiental com a sucessivas detonações, exposição do funcionário ao risco das detonações.

A classe indicando o tipo de explosivo pode ser obtida na embalagem inviolável do produto, como ilustrado na Figura 8, e ou com a confirmação do laboratório. A classe, fase do processo, foi coletada ao longo do processo por meio de observação visual e comparação do momento com o descrito na instrução de trabalho. Condições do produto é uma classe que é indicada após comparações visuais e analíticas com base comparativa entre amostra e especificação técnica. As quantidades são mensuradas através de contagem e medições. Já a classe local para destruição é uma indicação de local específico ou o mais apropriado possível no momento da prática da destruição e ou reutilização do produto.

Figura 8 - Caixa de TNT lacrada



Fonte: Próprio autor

A coleta de dados no processo de reutilização dos resíduos explosivos foi possível, pois enquadrou-se nas boas práticas mencionadas nos itens a seguir.

#### **4.3.1 Identificação do explosivo**

A identificação do tipo de explosivo é fundamental para a escolha do método adequado para o descarte do resíduo explosivo, pois os explosivos sensíveis são destinados diretamente para a destruição, visto sua instabilidade, facilidade de detonação, sendo inseguro para manuseio em análises laboratoriais e reutilização no processo produtivo. Com isto, o tipo de explosivo deve ser observado em primeiro instante para se tomar a decisão do método a ser escolhido entre destruí-lo ou reutilizá-lo assim que gerados, quando se trata de explosivos sensíveis.

Como já mencionado, os explosivos são caracterizados por suas propriedades físicas e químicas, que determinam seu desempenho e segurança. As características físicas e químicas dos explosivos variam amplamente de acordo com o tipo de explosivo e sua composição específica, sendo essa uma especificação determinante para a escolha do método de descarte do resíduo explosivo.

Eles podem variar de acordo com a Potência que é a energia liberada pela detonação do explosivo. Essa propriedade é importante para determinar a capacidade do explosivo de realizar uma tarefa específica, como romper rochas ou derrubar edifícios. Ela pode ser medida através de testes de potência, como o Teste de Balística.

A Estabilidade também é uma característica, pois é a capacidade do explosivo de manter suas propriedades físicas e químicas ao longo do tempo e sob diferentes condições ambientais. Essa propriedade é importante para garantir a segurança do manuseio, do armazenamento e do transporte de explosivos. E pode ser avaliada através de testes de estabilidade, como o Teste de Armazenamento.

Outro ponto é a Densidade, relação entre a massa do explosivo e seu volume. Essa propriedade é importante para determinar a quantidade de explosivo necessária para realizar uma tarefa específica e para o armazenamento e transporte do explosivo, medida através de testes de densidade, como a relação entre a massa e o volume do explosivo.

Toxicidade é a capacidade do explosivo de liberar produtos químicos tóxicos ou gases durante a detonação. Essa propriedade é importante para garantir a

segurança das pessoas e do meio ambiente. O teste de inalação é por onde se avalia o nível de toxicidade.

Uma característica importante é a Compatibilidade, capacidade do explosivo de ser misturado e manuseado com outros explosivos e materiais sem causar reações indesejadas. Essa propriedade é importante para garantir a segurança do manuseio e do transporte de explosivos.

Todas essas características são importantes para se definir se o resíduo explosivo é compatível ou não com os processos de reutilização ou se eles são seguros para serem encaminhados a um processo de destruição, queima ou detonação.

Os explosivos sensíveis produzidos na empresa do exemplo de campo, IMBEL FE, são: azida de chumbo, ilustrado na Figura 9, espoleta e estifnato de chumbo, que são produzidos em escala mensal por volta de 100 kg e, quando geram resíduo explosivo, são destinados diretamente à destruição, levando em consideração a segurança de todos os envolvidos devido à instabilidade do explosivo.

Figura 9 - azida de chumbo



Fonte: Próprio autor



Explosivos mais estáveis, os insensíveis, demandam uma análise mais completa, levando em consideração outros fatores para determinar o método mais indicado para redução ou eliminação dos resíduos, podendo ser a destruição ou reutilização. No exemplo de campo acompanhado na IMBEL FE o explosivo observado foi o de ruptura, com o nome comercial de *Booster*.

#### **4.3.2 Identificação da fase do processo produtivo do explosivo**

A análise da fase do processo produtivo em que o resíduo explosivo é gerado, é de suma importância para os interessados agirem da maneira mais eficiente com o objetivo de eliminar ou reduzir o refugo da produção de explosivo.

As variáveis dentro do processo produtivo dependem do tipo de explosivo produzido e das especificidades do fabricante. De maneira geral, o processo de fabricação de explosivos segue algumas etapas básicas e de acordo com a norma ABNT NBR 15861:2010.

As etapas do Processo de Fabricação do explosivo são: Formulação, Mistura, Granulação, Secagem, Revestimento, Embalagem, Armazenagem e Transporte.

**Formulação:** Nesta etapa, são definidos os componentes que serão utilizados na fabricação do explosivo, bem como as proporções de cada um. A formulação é um processo crítico que deve ser realizado com muita precisão, uma vez que pequenas variações nas proporções podem afetar a qualidade e a segurança do explosivo.

**Mistura:** os componentes definidos na etapa anterior são misturados em um misturador especializado, que garante uma homogeneização completa da mistura.

**Granulação:** a mistura é então granulada, ou seja, é transformada em pequenos grãos uniformes. O tamanho e a forma dos grãos podem ser ajustados para atender às necessidades específicas do explosivo.

**Secagem:** os grãos são então secos em estufas ou em outros equipamentos de secagem para remover a umidade.

**Revestimento:** alguns explosivos podem ser revestidos com uma camada protetora para aumentar sua estabilidade e resistência à umidade. Essa camada pode ser feita de materiais como cera, parafina ou resinas.

**Embalagem:** o explosivo é então embalado em recipientes apropriados para armazenamento e transporte. Os recipientes podem ser sacos de papel ou plástico, tambores de metal ou outros recipientes adequados.

Armazenamento e transporte: o explosivo é armazenado e transportado de acordo com as regulamentações e normas de segurança aplicáveis, garantindo a segurança do produto e das pessoas envolvidas no processo.

Produções sazonais, as que acontecem por um período e são descontinuadas, às vezes por tempo indeterminado, requerem atenção, pois caso haja resíduo explosivo gerado no fim do processo produtivo e não se tenha a definição de reinício da produção, o resíduo deve ser destinado à destruição. Vista a incerteza de quando poderá reutilizá-lo no processo produtivo.

Nos processos de produção contínua de explosivo a análise a ser feita é em relação ao momento em que o resíduo é gerado, pois em alguns processos produtivos há a transformação química e ou física irreversível, que impedem a reutilização do resíduo explosivo na manufatura.

No exemplo de campo pode-se observar uma transformação física e química que ocorre na planta de RDX, Figura 10, um auto explosivo utilizado em munições de grande calibre, após a combinação do ácido nítrico com a hexamina em altas temperaturas e pressão, há alteração de seus grãos deixando mais instável, tornando impossível de se reverter o processo e, conseqüentemente, reutilizar qualquer resíduo gerado, destinando-o exclusivamente à destruição.

Figura 10 - Processo produtivo RDX



Fonte: Próprio autor

O explosivo de ruptura, o *Booster*, visto no exemplo de campo, ilustrado na Figura 11, passa por uma transformação física e química, mas isso não altera sua estrutura de grãos mantendo-se estável, sendo possível a reutilização do resíduo explosivo no início do processo produtivo, verificado em sua Instrução de Trabalho. Com isso, o único impeditivo é a continuidade ou não do processo produtivo.

Figura 11 - Processo produtivo *Booster*



Fonte: Próprio autor

#### 4.3.3 Condições do resíduo explosivo

Os resíduos explosivos armazenados por algum motivo, sendo eles oriundos de terceiros, como retorno de clientes ou por descontinuidade da produção, devem ser avaliados quanto a sua condição para reutilização. A análise deve ser desde visual até laboratorial com o objetivo de se garantir que o resíduo explosivo atenda as

especificações necessárias para retornar ao processo produtivo. Atender às condições de produção são necessárias para se garantir a segurança dos envolvidos, segurança do ambiente, garantia das propriedades do produto e confiabilidade do processo.

No exemplo de campo ao se reutilizar o composto de TNT e Pentolite novamente no processo produtivo do explosivo de ruptura, *Booster*, deve se observar suas condições. Uma verificação visual é necessária identificando alguma impureza, que pode ser auxiliada por uma peneira não metálica tendo assim um melhor resultado na garantia de eliminação de impurezas. A análise da umidade também deve ser feita antes da reutilização do resíduo explosivo. Para a compatibilidade ideal entre o resíduo explosivo e os insumos do processo produtivo é indicado utilizar os mesmos lotes da matéria-prima que compõe o resíduo explosivo e o produto em processo, como exemplo reutilizar o resíduo explosivo do *booster*, Figura 12, no processo produtivo que utiliza o mesmo lote de TNT e ou Pentolite que serão utilizados no processo produtivo. Caso não seja possível a análise laboratorial, deve ser realizada a comparação dos elementos para garantir maior confiabilidade na compatibilidade do produto e resíduo.

Figura 12 - Resíduo explosivo de Pentolite



Fonte: Próprio autor

O espaço físico destinado à destruição tem uma grande relevância na tomada de decisão no gerenciamento dos resíduos explosivos. Dependendo das quantidades

e características do resíduo explosivo, o local deve apresentar construções de contenção, áreas de segurança e escape, além de uma infraestrutura voltada à preservação do ambiente. Caso a empresa não tenha o espaço apropriado o resíduo explosivo deve ser armazenado de forma a respeitar a capacidade imposta e o mais breve possível ser destinado a uma empresa de destruição.

Na IMBEL FE, exemplo de campo, pode-se observar diferentes ações tomadas ao gerenciar o resíduo explosivo. A empresa realizou uma contratação de destruição do resíduo de massa explosiva da emulsão, visto seu volume de 6.000kg; sua condição, contaminada com água de chuva, alta umidade; e a descontinuidade da produção de emulsão encartuchada, que passou a ser bombeada, processos bem distintos.

#### **4.3.4 Local para a destruição do resíduo explosivo**

O ambiente externo também é um fator determinante para a escolha do procedimento de redução dos resíduos explosivos no cenário da indústria bélica. O ambiente externo pode exercer uma influência significativa na redução dos resíduos explosivos, uma vez que a gestão adequada dos resíduos depende de vários fatores ambientais, tais como a localização da unidade de produção, as características do solo e do clima, a existência de fontes de água e de biodiversidade, dentre outros.

Por exemplo, a localização da unidade de produção de explosivos pode afetar a forma como os resíduos são gerenciados. É importante que a unidade de produção esteja situada em uma área onde os resíduos possam ser facilmente coletados, armazenados e transportados para disposição final. Além disso, a existência de fontes de água e de biodiversidade na área deve ser considerada, uma vez que os resíduos explosivos podem contaminar esses recursos naturais e causar danos ao meio ambiente.

Outros fatores, como o clima e as características do solo, também podem influenciar o gerenciamento de resíduos explosivos. Por exemplo, em regiões com alto índice pluviométrico, é necessário implementar medidas para evitar a lixiviação de substâncias tóxicas para o solo e para as águas subterrâneas. Ademais, em áreas de solo permeável, é necessário adotar medidas adicionais para evitar a infiltração dos resíduos no solo e a contaminação de aquíferos.

Os resíduos explosivos podem causar diversos impactos ao ambiente como a contaminação química pois resíduos explosivos contêm substâncias químicas tóxicas

que podem contaminar o solo e prejudicar a qualidade do solo. Algumas das substâncias tóxicas presentes nos explosivos incluem nitratos, nitritos, sulfatos, cloratos, entre outros. Taylor e Clark (2005) destacam que os resíduos explosivos, especialmente os que contêm metais pesados, podem contaminar o solo e prejudicar a qualidade do solo. Essa contaminação pode ter efeitos negativos sobre a saúde humana e a biodiversidade do solo.

Alteração das propriedades físicas: o descarte inadequado de resíduos explosivos pode afetar as propriedades físicas do solo, tais como a estrutura, a porosidade e a permeabilidade. Isso pode prejudicar o desenvolvimento das plantas, a infiltração de água no solo e a capacidade de suporte do solo.

Em locais de muita incidência de chuvas, pode ocorrer a erosão do solo, especialmente em áreas onde o solo é mais vulnerável. A erosão pode levar à perda de nutrientes do solo e à degradação da qualidade do solo. O descarte inadequado de resíduos explosivos pode afetar a biodiversidade, causando a morte de microrganismos e outros organismos que são importantes para a saúde do ambiente e para a produção agrícola. Oliveira et al. (2015) “ressaltam que a contaminação do solo por resíduos explosivos pode causar a morte de microrganismos e outros organismos que são importantes para a saúde do solo e para a produção agrícola”. Além disso, a erosão do solo e a alteração das propriedades físicas do solo também podem ocorrer em função do descarte inadequado de resíduos explosivos. Duarte-Diaz et al. (2013) “destacam que a contaminação química e a alteração das propriedades físicas do solo em função dos resíduos explosivos podem afetar a qualidade do solo a longo prazo, prejudicando a produção agrícola e a biodiversidade do solo”.

A área da IMBEL FE destinada à destruição dos resíduos explosivos tem sua capacidade de utilização limitada de forma a garantir a preservação do meio ambiente em torno e a segurança de seus colaboradores. A área fica instalada no meio da mata, na Serra de Petrópolis, com infraestrutura de taludes de contenção, canais guias de escoamento de efluentes, locais de armazenagem, queima, detonação e coleta de detritos. A limitação de quantidade de destruição na área inviabilizou a destruição das seis toneladas de resíduo de explosivo de emulsão, pois sua capacidade por procedimento é de até 10kg de explosivo, demandando assim, muito tempo de operação, inviabilizando o armazenamento do resíduo explosivo, tornando-o mais instável ao longo do tempo, além de impedir a utilização da área por outros tipos de destruição, sendo ela testes de produção ou gerenciamento dos resíduos explosivos.

Na área de destruição do exemplo de campo, Figura 13, pode-se acompanhar a destruição dos resíduos explosivos insensíveis, que são instáveis para reutilização, limitados a sua capacidade, destruindo em média 2kg do explosivo, fracionados em quatro detonações, garantindo a segurança dos envolvidos e da estrutura física do ambiente.

Figura 13 - Área de detonação IMBEL FE



Fonte: Próprio autor

A queima de resíduos explosivos é realizada em outra área distinta, crematório, Figura 14, também preparada para tal fim com baias de contenção e canais de escoamento. Como exemplo, a queima do Estopim, produtos à base de misto de pólvora, que por sua natureza queimam e não detonam em condições normais. O Estopim refugado não pode ser reutilizado, visto sua transformação física, pois são fios de algodão envoltos com misto explosivo à base de pólvora, cobertos por uma camada extrusada de polietileno.

Figura 14 - Área de queima IMBEL FE



Fonte: Próprio autor

O acompanhamento das destruições é feito de forma documentada, praticada por uma equipe técnica treinada e gerida pelo responsável técnico da empresa, atendendo às normas de produção e ao manuseio de explosivos definidas pelo exército.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após reunir todos os dados, variáveis, especificações e normas, são gerados os primeiros resultados para a indicação do método mais adequado à realidade das empresas produtoras de explosivos, para tomarem decisões sobre o gerenciamento de seus resíduos explosivos. Os resultados foram obtidos através da observação do exemplo prático e de literatura sobre o tema. A seguir apresentam-se as etapas a serem seguidas para auxílio na tomada de decisão sobre o gerenciamento do descarte de resíduos explosivos.

Para a determinação do método a ser utilizado com o objetivo de reduzir as quantidades de resíduos explosivos a empresa deve responder questionamentos que seguem uma sequência lógica baseada no produto, processo e ambiente, na qual a escalada das variáveis que são respondidas levará a tomada de decisão.

Os questionamentos a serem feitos para a tomada de decisão visando o bom gerenciamento dos resíduos explosivos são os mencionados nas etapas abaixo:

Qual o tipo de explosivo a ser gerenciado? Sensível ou insensível? Se a resposta for sensível, o explosivo é destinado diretamente a destruição, visando a segurança dos colaboradores e a integridade das estruturas.

Etapa 1. Caso a resposta à primeira pergunta seja que o resíduo explosivo é insensível, deve-se seguir para a segunda pergunta: O resíduo explosivo é compatível com o produto em manufatura? Caso o resíduo explosivo não seja compatível com o produto em manufatura, ele deve ser destinado à destruição, e dependendo do volume a ser destruído, a atividade pode ser realizada na própria empresa ou externamente, por meio de contratação de uma empresa especializada na destruição de explosivos.

Etapa 2. Na sequência do questionamento, caso a resposta anterior indique que o resíduo explosivo é compatível ao produto em manufatura, deve-se avaliar se o processo está em operação e se é capaz de receber todo o volume do resíduo explosivo, ou apenas parte dele.

Etapa 3. No passo seguinte, a avaliação da capacidade do processo produtivo em receber o resíduo, se a manufatura em atividade não for capaz de receber todo o resíduo explosivo, o questionamento a ser feito deve ser: a empresa tem a capacidade de armazenar o resíduo de forma segura? Caso não tenha, deve ser destinado à destruição.

Etapa 4. Outra indagação para se reutilizar o resíduo explosivo é: o resíduo explosivo armazenado está totalmente apto para ser reprocessado na manufatura? Caso não seja, o resíduo deve ser destinado a destruição.

Etapa 5. Existe ainda o questionamento quanto à destruição que sempre deve ser feita: há a possibilidade de destruir o resíduo explosivo de forma total e segura por meio da empresa produtora? Uma resposta negativa leva à decisão de se contratar uma empresa especializada e autorizada a realizar a destruição do resíduo explosivo.

A destruição dos resíduos explosivos pode ser realizada internamente ou externamente à empresa produtora de explosivos, a decisão de como a atividade de destruição será realizada depende de variáveis, como ambiente propício e destinado à atividade de destruição (queima ou detonação), profissionais treinados e autorizados a realizar a manobra, capacidade de destruição do espaço reservado à prática e condições climáticas ideais à atividade.

A empresa pode ter o espaço destinado à destruição, mas caso algumas das variáveis estejam em desacordo com as condições ideais, que garantam a segurança dos indivíduos e do meio ambiente, a atividade não deve ser realizada internamente e deve ser destinada imediatamente a uma terceira empresa para que ela possa realizar a destruição.

Um grande volume de resíduo explosivo é prejudicial ao meio ambiente em que a empresa está situada, fora o risco de acidente com os colaboradores. A queima ou detonação em grandes escalas de volumes de resíduos explosivos, mesmo sendo destruídos por completo, podem poluir o ambiente com a liberação de resíduos de metais pesados, ácidos, cinzas, óleos, entre outros que podem acabar se infiltrando no ambiente de forma não tratada, poluindo o ambiente e o entorno de forma grave.

A atividade de destruição deve ser tratada de forma muito responsável para que se evite danos ao ambiente. Por isso, há uma grande preocupação com as quantidades de resíduos explosivos a serem destruídos, os tipos de explosivos a serem manuseados, as condições do clima no dia da atividade, além da preocupação com o armazenamento do resíduo explosivo.

Estocar resíduo explosivo é muito crítico, pois a falta de planejamento e tratativa rápida dele podem acarretar danos graves ao ambiente. Caso o armazenamento não seja realizado em local correto e autorizado, podem ocorrer contaminações do solo, ar e água da região. Outro fator de risco são os acidentes com detonações e queimas não controladas.

Visto as possíveis consequências poluidoras e graves que envolvem as destruições dos resíduos explosivos, mostra-se a grande necessidade de se ter um bom gerenciamento dos resíduos explosivos visando a tomada de decisão mais segura e rápida. Levando, então, a tendência de se reutilizar o resíduo explosivo no processo produtivo sempre que de responder favoravelmente a todo o questionamento, garantindo fisicamente a segurança do colaborador e do meio ambiente.

### 5.1 REUTILIZAÇÃO

No exemplo de campo explorado neste trabalho os resultados observados apontaram que a reutilização dos resíduos explosivos foi eficiente, pois reduziram em 90% a quantidade de detonações, não sendo total do volume, pois existem as detonações para teste. Antes se realizavam em média 20 detonações, duas para teste e 18 para destruição do resíduo explosivo, agora realiza-se apenas as duas destruições para o teste. A reutilização evitou que os resíduos explosivos fossem destruídos, impactando diretamente a poluição do meio ambiente. Os impactos evitados são a poluição sonora com as explosões, poluição do ar com o lançamento de cinzas e vapores, poluição do solo e água com a contaminação por ácido, metais pesados e outros elementos não originários da região.

A reutilização do resíduo explosivo do *booster*, observado no exemplo, evitou a destruição de 225 kg de explosivos, registrados na figura 12 e que podem ser analisados na tabela 2. Visto que a quantidade de resíduo explosivo gerada no período de observação foi de 190 kg, pode-se concluir que a reutilização do período foi total.

A eliminação do resíduo explosivo por meio de detonações e ou queima pela empresa produtora são limitados por sua capacidade de destruição, que tem variáveis limitantes como a área destinada para a atividade, influências das condições climáticas no dia da prática, quantidade de explosivo por vez que pode ser manuseada, treinamento dos profissionais envolvidos, tempo de duração da preparação e execução, condições físicas do local que garantam o mínimo de impacto ao meio ambiente e o limite de explosivo que pode ser armazenado.

A empresa produtora de explosivo, mesmo reutilizando o resíduo explosivo em seu processo produtivo, tem a necessidade de uma gestão eficiente de descarte dos resíduos que garanta uma rápida atuação decidindo qual ação a ser empregada de

forma contundente. Assim, tomando a decisão de destruir internamente quando se enquadrar em todos os parâmetros previamente mapeados ou contratando o serviço externo de uma empresa terceira especializada e autorizada para a atividade.

Ao se utilizar da contratação de uma empresa terceira para eliminar o resíduo explosivo, a empresa deve garantir que a contratada está de acordo com a legislação e que cumpre todos os requisitos de preservação do meio ambiente e que faça o descarte e destruição de forma controlada e registrada, como no exemplo de campo onde foi contratada uma empresa para a destruição de 6.000 kg de massa de emulsão, como visto nas Figuras 15 e 16.

Figura 15 - Termo de destruição de explosivo

**DESMAG**  
Descarte/Destruição de Produtos Controlados

**TERMO DE DESTRUIÇÃO Nº 1284/2023**  
CERTIFICADO DE DESTINAÇÃO FINAL

Em cumprimento ao Decreto Presidencial 10.030 de 30 de setembro de 2019, Norma Regulamentadora nº 19 do Ministério do Trabalho, à DESMAG RESP FIRE LTDA, inscrita no CNPJ 16.846.921/0001-00, Certificado de Registro nº 89592, junto ao Serviço de Fiscalização de Produtos Controlados (SFPC/1 – Exército Brasileiro), Licença nº 3963/2023 da Coordenadoria de Fiscalização de Armas e Explosivos (Clac, Polícia Civil - RJ), com sede à Rodovia Christiano Jose da Silva Jr, antiga Rodovia Macaé x Glicério, RJ 168, Km 15 – Virgem Santa – Macaé/RJ, realizou a destruição dos produtos controlados, abaixo descritos, conforme autorização nº 044 / 2023 DO SFPC/1ª RM pertencente à empresa IMBEL - INDÚSTRIA DE MATERIAL BELICO DO BRASIL, CNPJ nº 00.444.232/0008-05, TR nº 31731, estabelecida na Praça Marechal Angelo Mendes de Moraes, s/nº - Vila Inhomirim, 6º distrito – Magé/RJ.

Item	Nomenclatura	Guia de Trafego	Peso Líquido	Data da Destruição
1	EMULSÃO BASE – MASSA EMBEX	20230000271462	883	05/09/2023
			1765	06/09/2023
			1765	08/09/2023

E, para constar, foi lavrado o presente Termo de Destruição, em três vias, datado e assinado pelo responsável técnico abaixo mencionado.

Macaé, RJ, 08 de setembro de 2023.

*Adeilton Navega Santana*  
Adeilton Navega Santana  
Prontuário nº PG-000037/2019  
Blaster

Testemunhas:

*Luan Gomes Claudino*  
Luan Gomes Claudino  
Auxiliar de Blaster

Ciente:

*Itamar Luciano da Silva*  
Itamar Luciano da Silva – Cap.  
Fiscal SFPC/Gu Macaé

Base Operacional:  
Estrada Macaé Glicério, Km 15  
Vila Inri, Macaé - RJ  
CEP: 27910-020  
Brasil

Escritório:  
Rua dos Rouxinóis, no 59, sala 01  
Riviera Fluminense, Macaé – RJ  
CEP: 27937-000  
Brasil

E-mail:  
contato@desmag.com.br

Telefones:  
(22) 2771-492  
(22) 95947-592

Fonte: DESMAG

O fenômeno de eliminação dos resíduos explosivos de uma empresa produtora de explosivo é complexo e envolve variáveis internas, externas, climáticas e ambientais, por isso a necessidade de se realizar um estudo bem detalhado para

embasar o gerenciamento dos resíduos. Mas vale ressaltar que esta metodologia pode reunir diretrizes para outras empresas do mesmo ramo, por exemplo, empresas com pouca capacidade de armazenamento, que não tenham área de destruição, ou que gerem uma quantidade mínima de resíduo explosivo que pode ser absorvida internamente. A partir dessas variáveis, pode-se eliminar várias etapas do método de avaliação para o gerenciamento dos resíduos explosivos.

Figura 16 - Relatório de destruição de explosivo

**DESMAG**  
Destruição de produtos controlados

**RELATÓRIO DESCRITIVO DE ATIVIDADE**  
Documento anexo ao Termo de Destruição nº 1284/2023

**1. OBJETIVO**  
Apresentar os trabalhos de destruição dos materiais pertencentes à empresa IMBEL - INDÚSTRIA DE MATERIAL BELICO DO BRASIL.

**2. MATERIAL DESTRUÍDO**

ITEM	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	DATA RECEBIMENTO
1	EMULSAO - MASSA EMBEX	4413	31/08/2023

**3. LOCAL DA OPERAÇÃO**  
Os serviços foram realizados na Base Operacional da Empresa DESMAG, localizado na Rodovia Macaé x Glicério, Km 15, Vila Iriri, Macaé-RJ, com aproximadamente 96.000 m<sup>2</sup> de área, barreiras naturais, ou seja, acidentes no terreno que por sua disposição impede o arremesso de estilhaços devido a área ser circundada por elevações, onde o ângulo de inclinação de suas encostas formam anteparos que asseguram as condições de segurança à atividade.

**DESMAG RESP FIRE LTDA.**  
CNPJ 16.846.921/0001-00 | E-mail: contato@desmag.com.br  
Endereço: Rod. Christino Jose da Silva Jr, RJ 168 – km 15, Virgem Santa - Macaé/RJ.

1

Fonte: DESMAG

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo da pesquisa foi desenvolver uma metodologia de auxílio para as empresas produtoras de explosivos gerenciarem de forma eficiente seus resíduos, levando em consideração aspectos do meio ambiente, de segurança dos envolvidos, das legislações e estrutura da empresa produtora. Decisões a respeito do gerenciamento dos resíduos explosivos são complexas, considerando as variáveis envolvidas, como também a segurança de todos e a preservação do meio ambiente. A metodologia utilizada para a escolha de qual tratamento se daria ao resíduo explosivo não seguia um critério definido, apenas visava retirá-lo da área produtiva de forma rápida e depois pensa-se na tratativa de eliminação, ressaltando a importância do método proposto que tem como objetivo minimizar o descarte dos resíduos explosivos e suas consequências ambientais, mas não são suficientes para eliminar contaminações e impactos, visto que é uma ação humana que altera o meio.

A partir do exemplo de campo, pode-se observar que a aplicação da metodologia pode auxiliar de forma eficiente na gestão do resíduo explosivo. O questionamento previamente realizado conduz a tomada de decisão de forma mais coerente com a realidade da empresa no momento do tratamento do resíduo explosivo, logo após a produção.

Os resultados obtidos do questionamento realizado apontam o caminho mais eficiente e de menor impacto ambiental de forma segura aos envolvidos, definindo qual o tratamento que a empresa aplicará para eliminação do resíduo explosivo da área produtiva, definindo se a empresa reutilizará o resíduo explosivo ou se destruirá interna ou externamente.

Esse tipo de análise é de extrema importância para as empresas produtoras de explosivos, visto os resultados obtidos por sua utilização, que seguem a legislação, reduzem os impactos ambientais e vão ao encontro com as políticas de segurança, sendo coerente com as aspirações da empresa que buscam o equilíbrio entre o desenvolvimento e a preservação ambiental.

No desenvolvimento do trabalho, foram observadas as atividades de reutilização e destruição dos resíduos explosivos, que contribuíram de forma significativa para elaboração do método para a definição da escolha da tratativa a ser tomada. Recomenda-se uma observação em cada caso e empresa de forma

cuidadosa, para se avaliar as peculiaridades de cada momento e para que se responda de forma correta o método, levando ao resultado mais assertivo e eficiente.

## 6.1 TRATATIVAS DO TRABALHO

Está dissertação abordou pontos a respeito do gerenciamento do resíduo explosivo que tem dois caminhos como os principais meios de tratamento a reutilização e a destruição dos resíduos explosivos. No primeiro caminho, a reutilização, auxilia de forma eficiente reduzindo a quantidade de resíduo explosivo gerado, diminuindo os impactos ambientais, além de auxiliar nos retornos à empresa, mas sua eficiência depende de um somatório de fatores específicas do processo. O segundo caminho, o da destruição dos resíduos explosivos, é mais antigo e tem como objetivo detonar ou queimar o resíduo, eliminando-os por um processo químico irreversível, mas que, inevitavelmente, agride de forma contundente o meio ambiente.

Para um bom gerenciamento dos resíduos explosivos, é necessário fazer uma boa análise dos resíduos, conhecer a respeito das classificações dos explosivos, e saber identificar as variáveis que influenciam na escolha do procedimento para redução de seus resíduos. A tomada de decisão se inicia conhecendo o tipo de explosivo que está sendo tratado, além da etapa de sua produção e a estrutura da empresa para armazenagem e destruição dos resíduos explosivos.

O trabalho trouxe um estudo de caso observando o processo produtivo do explosivo de ruptura, Booster, por um período de um mês. Na coleta de dados pôde-se observar que a reutilização do resíduo explosivo foi de 100%, devido a fatores como a continuidade do processo produtivo, propriedades físicas e químicas dos explosivos envolvidos e compatibilidade do resíduo com o insumo no processo produtivo.

O processo de destruição do resíduo explosivo também foi abordado no exemplo de campo, em que foram relatadas as variáveis que influenciam nas tomadas de decisões que levam ao resultado de destruição. O exemplo identificou também os fatores que influenciam no momento da destruição, desde as influências climáticas, passando pela estrutura física da empresa, até as condições do resíduo explosivo.

O trabalho realizado com esta dissertação sofreu algumas limitações como o pouco material bibliográfico para ser usado como fonte de pesquisa e a legislação em vigor ser antiga e estar em processo de reformulação. No exemplo de campo, as dificuldades apareceram no momento do acompanhamento em campo que

aconteciam em datas que não coincidiam com a agenda de oportunidades, períodos de manutenção e de produção de outros produtos não mencionados no trabalho.

A dissertação conseguiu realizar um bom escopo de sequências que, ao serem analisadas e cumpridas, auxiliam o gerenciamento dos resíduos explosivos de forma eficiente e dentro das capacidades da empresa, fato que pode ser evidenciado no exemplo de campo, em que a empresa IMBEL FE conseguiu reutilizar 100% do resíduo explosivo, booster, em seu processo produtivo. O feito foi possível, porque o resíduo explosivo e o processo produtivo estavam alinhados às boas práticas de reutilização da dissertação, assim, colaborando para um menor impacto ambiental.

## 6.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Medições das quantidades de ruído causados nas destruições. Além dos outros poluentes que impactam o ar, solo, água e vegetação.

Pesquisa de melhores áreas para se realizar a destruição dos resíduos explosivos de forma que impacte menos o meio ambiente.

Realizar estudo de relevância financeira para a empresa produtora de explosivo com a adoção da reutilização dos resíduos explosivos.

Desenvolvimento de novos métodos de destruição que impactem menos o meio ambiente e que sejam mais seguros aos envolvidos na atividade.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. C. A. Roque, M. L. R. Veloso, and R. M. Hespanhol, "Explosivos e suas aplicações," in Fundamentos de Tecnologia de Explosivos, 2006.

AMBSCIENCE ENGENHARIA. Resíduo Sólido Urbano Disponível online em: <https://ambscience.com/o-descarte-correto-de-residuos-solidos/#:~:text=%E2%80%93%20Aterro%20Sanit%C3%A1rio%3A%20Em%20um%20local,e%20do%20volume%20do%20lixo>. acesso em 19 de janeiro de 2022.

CONAMA. RESOLUÇÃO Nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Publicada no DOU, de 17 de fevereiro de 1986, Seção 1, páginas 2548-2549.

CHENG, T. C. E.; PODOLSKY, S. - Just-in-time manufacturing: an introduction [Em linha]. 2ª ed. London: Chapman & Hall, 1996. Disponível em <http://books.google.com/books?id=WL95yzpj1TIC> ISBN 978-0-412-73540-0 acesso em 07 de outubro de 2021.

DUARTE-DIAZ, P. T.; ROMERO-FREIRE, A.; SANTOS-SANCHEZ, A.; BRAVO-RODRIGUEZ, V. A. Impact of explosives on soil quality. Journal of Environmental Science and Health, Part A, v. 48, n. 4, p. 454-461, 2013. Disponível em: <https://www.jssm.org/ara.php>. Acesso em 02 de fevereiro de 2023.

D. S. Dicoski, Explosives Detection Using Magnetic and Nuclear Resonance Techniques, Springer Science & Business Media, 2011.

ELLEN, H. Military and Civilian Pyrotechnics. Chemical Publishing Company, Inc. 1968 Disponível em <http://www.freeinfosociety.com/media/pdf/4651.pdf> acesso em 05 de novembro de 2021.

EXÉRCITO BRASILEIRO. Manual Técnico T9-1903 - Armazenamento, conservação e destruição de munições, explosivos e artifícios. Estado Maior do Exército. Portaria nº 107, 20.10.1970.

EXÉRCITO BRASILEIRO. Norma do Exército Brasileiro NEB / T E-048. Disponível online em: [http://www.dabst.eb.mil.br/\\_upados/\\_biblioteca/\\_antigas/27\\_colete\\_de\\_protecao\\_balistica\\_nivel\\_III.pdf](http://www.dabst.eb.mil.br/_upados/_biblioteca/_antigas/27_colete_de_protecao_balistica_nivel_III.pdf). Acesso em 22 de setembro de 2021.

EXÉRCITO BRASILEIRO. Norma do Exército Brasileiro NEB / T E-205. Disponível online em: [http://www.ctex.eb.mil.br/images/conteudo/normas\\_tecnicas/32\\_-\\_NEB\\_T\\_\\_E-267\\_B\\_-\\_Texto\\_Base\\_2.pdf](http://www.ctex.eb.mil.br/images/conteudo/normas_tecnicas/32_-_NEB_T__E-267_B_-_Texto_Base_2.pdf). Acesso em 22 de setembro de 2021.

EXÉRCITO BRASILEIRO. Norma do Exército Brasileiro NEB / T E-269. Disponível online em: [https://www.google.com/search?q=EX%C3%89RCITO+BRASILEIRO.+Norma+do+Ex%C3%A9rcito+Brasileiro+NEB+%2F+T+E-269&rlz=1C1PNBB\\_enBR950BR950&ei=sUOFYYWHL4be1sQPvtaemAo&oq=EX%C3%89RCITO+BRASILEIRO.+Norma+do+Ex%C3%A9rcito+Brasileiro+NEB+%2F+T+E-269&gs\\_lcp=Cgxn3Mtd2l6LXNlcnAQAzHCAAQRxCwA0oECEEYAFD5B1jll2C1JmgBcAJ4AIABmgGIAZ4EkgEDMC40mAEAoAEBByAEIwAEB&scient=gws-wiz-serp&ved=0ahUKEwjFo72hu4H0AhUGr5UCHT6rB6MQ4dUDCA4&uact=5](https://www.google.com/search?q=EX%C3%89RCITO+BRASILEIRO.+Norma+do+Ex%C3%A9rcito+Brasileiro+NEB+%2F+T+E-269&rlz=1C1PNBB_enBR950BR950&ei=sUOFYYWHL4be1sQPvtaemAo&oq=EX%C3%89RCITO+BRASILEIRO.+Norma+do+Ex%C3%A9rcito+Brasileiro+NEB+%2F+T+E-269&gs_lcp=Cgxn3Mtd2l6LXNlcnAQAzHCAAQRxCwA0oECEEYAFD5B1jll2C1JmgBcAJ4AIABmgGIAZ4EkgEDMC40mAEAoAEBByAEIwAEB&scient=gws-wiz-serp&ved=0ahUKEwjFo72hu4H0AhUGr5UCHT6rB6MQ4dUDCA4&uact=5). Acesso em 22 de setembro de 2021.

EXÉRCITO BRASILEIRO. Portaria nº 571-EME, de 6 de novembro de 2001. Aprova a Diretriz Estratégica de Gestão Ambiental do Exército Brasileiro. Disponível online em: <http://www.eb.mil.br/documents/10138/65337/portaria571.pdf/9c8f452e-200b-4eac-87e4-bf0b5772af5f?version=1.0> . acesso em 10 de outubro de 2021.

EXÉRCITO BRASILEIRO. Portaria nº 1.275, de 28 de dezembro de 2010. Aprova a Diretriz para adequação do Exército Brasileiro à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Disponível online em: [http://www.eb.mil.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=db80b7cd-c7e6-4f60-b922-68b676ea03c0&groupId=10138](http://www.eb.mil.br/c/document_library/get_file?uuid=db80b7cd-c7e6-4f60-b922-68b676ea03c0&groupId=10138) . acesso em 07 de outubro de 2021.

EXÉRCITO BRASILEIRO. Portaria Nº386, de 09 de junho de 2008. Aprova as Instruções Gerais para o Sistema de Gestão Ambiental no Âmbito do Exército (IG 20-10). Disponível online em: [https://www.eb.mil.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=aefd9147-90bc-49d5-b065-0807c9cb96e9&groupId=10138](https://www.eb.mil.br/c/document_library/get_file?uuid=aefd9147-90bc-49d5-b065-0807c9cb96e9&groupId=10138). acesso em 07 de outubro de 2021.

EXÉRCITO BRASILEIRO. Portaria Nº 118 – COLOG, de 04 de outubro de 2019. Disponível online em: [http://www.dfpc.eb.mil.br/phocadownload/Portarias\\_EB\\_COLOG/Portarian118.pdf](http://www.dfpc.eb.mil.br/phocadownload/Portarias_EB_COLOG/Portarian118.pdf) acesso em 07 de outubro de 2021.

EXÉRCITO BRASILEIRO. Portaria Nº 147 – COLOG, de 21 de novembro de 2019. Disponível online em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-147-colog-de-21-de-novembro-de-2019-229121073> acesso em 07 de outubro de 2021.

GUEDES, J. N. Diagnóstico e estudo da variabilidade espacial da contaminação por metais pesados em solo e águas superficiais de área de destruição de munição. 2009. 80 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UFRRJ- Instituto Federal Rural do Rio de Janeiro. 2009.

Hale, A. R. (2011). Safety Management: A Guide for Facility Managers. Boca Raton, FL: CRC Press.

Hoorweg, D., & Bhada-Tata, P. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. World Bank Group, 2018.

J. A. Zukas and W. P. Walters, Explosive Effects and Applications, Springer Science & Business Media, 2007.

MARANGONI, C. Metodologia para seleção de área de destruição de munição e explosivos inservíveis. 2015. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Defesa) – IME- Instituto Militar de Engenharia. 2015.

MEU RESÍDUO. O que é reutilização. Disponível em <https://meuresiduo.com/categoria-1/a-diferenca-entre-reciclagem-e-reutilizacao-de-residuos/> acesso em 19 de janeiro de 2022.

OLIVEIRA R. W.; CLARK, I. P. The impact of military range activities on soil quality. Soil Use and Management, v. 21, n. 4, p. 363-371, 2005. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/21/9002>. Acesso em 02 de fevereiro de 2023.

PORTAL DA INDÚSTRIA. Segurança e Saúde no Trabalho Disponível online em: <https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/seguranca-saude-trabalho/> acesso em 19 de janeiro de 2022.

R. M. Hespanhol, Tecnologia de explosivos, Edgard Blucher, 2007

TAYLOR, R. W.; CLARK, I. P. The impact of military range activities on soil quality. Soil Use and Management, v. 21, n. 4, p. 363-371, 2005. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/21/9002>. Acesso em 02 de fevereiro de 2023.

VIACARREIRA. Pesquisa de campo: o que é, como fazer e exemplos. Disponível online em: <https://viacarreira.com/pesquisa-de-campo/> acesso em 14 de fevereiro de 2022.