

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA**

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais**

**SARAH RIBEIRO GUAZZELLI**

**ANÁLISE DE CUSTOS DE PERFURAÇÃO E DESMONTE EM MINA DE FERRO**

**Porto Alegre**

**2013**

**SARAH RIBEIRO GUAZZELLI**

**ANÁLISE DOS CUSTOS DE PERFURAÇÃO E DESMONTE EM MINA DE FERRO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Materiais e Metalúrgica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial a obtenção ao título de Mestre em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Jair Carlos Koppe

Porto Alegre

2013

**SARAH RIBEIRO GUAZZELLI**

**ANÁLISE DOS CUSTOS DE PERFURAÇÃO E DESMONTE EM MINA DE FERRO**

Esta dissertação foi analisada e julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia em Tecnologia Mineral e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Materiais e Metalúrgica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

Orientador: Prof. Dr. Jair Carlos Koppe

---

Coordenador do PPGEM: Prof. Dr. Telmo Roberto Strohaecker

Aprovado em: dois de setembro de 2013

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof. Dr. Enrique Munaretti, UFRGS  
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil

Prof. Dr. André C. Zingano, UFRGS  
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil

Dr. Altair Flamarion Klippel, PRODUTTARE  
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil

Dedico este trabalho a minha mãe que sempre me deu forças e me incentivou para continuar e persistir nos meus objetivos.

## **AGRADECIMENTOS**

Eu gostaria de agradecer ao corpo docente de professores do DEMIN que auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho, em especial ao Prof. Jair C. Koppe que me deu a oportunidade de desenvolver o assunto.

Agradeço aos colegas que me incentivaram e compartilharam comigo trabalhos, projetos e artigos.

Em especial gostaria de agradecer a minha família pela força, compreensão e paciência.

Ao Rodrigo, pela dedicação conjunta, amor e apoio em todos os momentos.

A VALE S. A. pela cooperação conjunta no desenvolvimento deste trabalho.

Ao CNPQ e a Fundação Luiz Englert que proporcionou financeiramente a execução deste trabalho.

## RESUMO

O controle gerencial de custos é uma ferramenta que quando direcionada pode gerar grandes impactos na economia do processo. O monitoramento e a constante observação dos custos associados às principais operações em grandes mineradoras é uma ferramenta de importante aplicação na elaboração das estimativas e no planejamento do orçamento da mina. Dentre as principais operações do ciclo produtivo, a perfuração & desmonte é a atividade responsável pela fragmentação do minério e a adequação granulométrica para os processos seguintes. Essa operação é de grande impacto no orçamento da mina, podendo ser analisada diretamente ou ter seu custo estimado com aplicação de algoritmos. Por ser a responsável direta da qualidade da fragmentação da rocha, ela influencia em toda a cadeia produtiva e na produtividade do processo de lavra em si. O seu planejamento envolve decisões tomadas com base no conhecimento da geologia estrutural e nas características do maciço rochoso que compõe o depósito mineral, bem como no projeto e adequação dos parâmetros que compõem os planos de fogo. A seleção dos objetivos a serem atingidos nesta etapa é o início de uma série de escolhas que devem ser feitas com o intuito de atingir os objetivos iniciais com o menor custo possível. O presente trabalho apresenta os principais aspectos a serem considerados numa análise de custos na operação de perfuração e desmonte, analisando e discutindo as principais variáveis que compõe este custo, elaborando um algoritmo capaz de vincular os principais parâmetros vistos para obtenção do resultado final. Para aplicação da metodologia desenvolvida é apresentando um estudo de caso de uma mina de ferro, onde se buscou determinar o custo por volume de rocha fragmentada associada à atividade, correlacionando os principais parâmetros que envolvem o processo de seleção do plano de fogo, bem como realizando uma análise de sensibilidade em função das principais variáveis de custo. O algoritmo para estimativa de custos de perfuração e desmonte, desenvolvido para plataforma Excel, tornou evidente a importância e a influência da taxa de perfuração no custo final de produção do minério fragmentado, onde se concluiu que quanto maior a taxa de perfuração, menor é o custo associado à mesma, bem como evidenciou que as seleções referentes ao plano de fogo causam impactos significativos na economia do processo, principalmente no que concerne a escolha do diâmetro dos furos e o tipo de explosivo aplicado.

**Palavras-chave:** Engenharia de Minas. Análise de Custo. Perfuração. Desmonte.

## ABSTRACT

Cost management control is a tool which can produce a big impact in the economy of the process. The monitoring and constant observation of the costs linked to major operations in large mining is an important tool to estimate and plan the mine budget. Among the main operations of the production cycle, drilling & blasting activity is responsible for the ore fragmentation and suitability of the particle size in the downstream processes. This operation has large impact in mine budget; it can be analyzed directly or can be estimated applying cost algorithm. For being directly responsible for the fragmented rock quality, it influences the entire production chain and the mining productivity itself. The drilling and blasting planning involves decisions based on knowledge of the structural geology and characteristics of the rock mass that compose the mineral deposit, as well as in design and adjustment of the parameters that comprise the blasting round. The selection of the objectives to be achieved in this stage is the beginning of a series of choices that should be made in order to seek the initial objectives at the lowest cost possible. This work presents the main features to be considered in a cost analysis of drilling and blasting operation, analyzing and discussing the main variables that compose this cost and developing an algorithm able to link the principal parameters studied to obtain the final result. In order to apply the developed methodology and aiming to determine the cost per volume of fragmented rock associated to the drilling and blasting activity, a case study is illustrate in an iron mine, correlating the main features involved in the blasting design process, as well as performing an sensitivity analysis as a function of the principal cost parameters. The drilling and blasting cost algorithm developed for Excel platform made evident the importance and the influence of the drilling rate in the final cost of fragmented ore, which permit to concluded that the larger the drilling rate is, the lower the cost associated with it, as well as showed that the selections made in the blasting round cause significant impacts on the process economy, especially regarding the hole diameter and the type of explosive selection.

**Keywords:** Mining Engineering. Cost Analyses. Drilling. Blasting.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema representativo da metodologia proposta.....	18
Figura 2 – Relação entre o grau de fragmentação e os custos associados às atividades operacionais ..	24
Figura 3 – Percentual das horas trabalhadas produzindo por frota sobre o total do período.....	41
Figura 4 – Relação entre horas trabalhadas produzindo e metros perfurados. ....	41
Figura 5 – Percentual sobre o período de metros perfurados de minério e estéril. ....	42
Figura 6 – Percentual de metros perfurados de minério e estéril por frota. ....	42
Figura 7 – Percentual sobre o período de metros perfurados para cada litologia analisada.....	43
Figura 8 – Relação entre metros perfurados e horas de perfuração. ....	44
Figura 9 – Relação entre horas de perfuração e metros perfurados para cada frota.....	45
Figura 10 – Média da taxa de perfuração (m/h) por litologia.....	46
Figura 11 – Taxa de perfuração de cada litologia por frota de perfuratriz.....	47
Figura 12 – Porcentagem de gastos com manutenção e operação no mês. ....	48
Figura 13 - Porcentagem das horas de manutenção e operação no mês e a discriminação dos percentuais das horas de manutenção.....	48
Figura 14 – Porcentagem de gastos com manutenção e operação por frota no período.....	49
Figura 15 – Percentual dos custos e das horas produzindo por frota sobre o total do período analisado. ....	50
Figura 16 – Percentual do custo total de perfuração e das horas produzindo por frota.....	50
Figura 17 – Custo de depreciação por hora para cada frota. ....	51
Figura 18 – Percentual de custo de manutenção (R\$MAN) total e horas de manutenção (HM) no período analisado. ....	52
Figura 19 – Custo de manutenção por horas de manutenção para cada frota. ....	53
Figura 20 – Relação entre as horas de manutenção por metro e a taxa de perfuração. ....	54
Figura 21 – Relação entre o custo de mão de obra e as horas trabalhadas no mês e por frota.....	55
Figura 22 – Custo de mão de obra por hora para cada frota de perfuratriz. ....	55
Figura 23 – Custo de diesel/energia por hora trabalhada para cada frota .....	56
Figura 24 – Percentual do custo de materiais de reposição e dos metros perfurados no período analisado.....	57
Figura 25 – Relação entre o custo de materiais de reposição e a taxa de perfuração.....	58
Figura 26 – Custo de perfuração por metro e por frota para as diferentes litologias. ....	59
Figura 27 – Percentual médio das parcelas do custo total de perfuração por frota. ....	59
Figura 28 – Percentual de utilização de ANFO e emulsão por mês do período analisado.....	60
Figura 29 – Milhões de toneladas fragmentadas por mês do período analisado. ....	61



Figura 30 – Precipitação acumulada em mm para a região.....	61
Figura 31 – Custo do ANFO por kg e por mês e o valor da média.....	62
Figura 32 – Custo dos explosivos utilizados nos cálculos de desmonte por furo em R\$/kg.....	62
Figura 33 - Relação entre a concentração de carga para diferentes diâmetros.....	65
Figura 34 – Afastamento da bancada para diferentes diâmetros para ANFO e emulsão, litologia hematita.....	67
Figura 35 – Relação entre a profundidade dos furos e os diferentes diâmetros para ANFO e emulsão, litologia hematita.....	68
Figura 36 – Relação entre tampão e profundidade dos furos em metros para diferentes diâmetros com ANFO e emulsão, litologia hematita.....	69
Figura 37 – Número de furos necessários para comprimentos de bancada de 50 e 150m, variando o diâmetro dos furos, litologia hematita.....	70
Figura 38 – Relação da razão de carga para ANFO e emulsão para diferentes diâmetros de furo. ....	71
Figura 39 – Percentual do custo de perfuração por furo para cada frota.....	73
Figura 40 – Percentual do custo de desmonte por furo para cada frota no caso ANFO e emulsão.....	73
Figura 41 - Percentual do custo de perfuração e desmonte sobre o custo total do furo, litologia itabirito duro, situação ANFO. ....	74
Figura 42 – Percentual dos custos de perfuração e desmonte sobre o total do custo por furo para ANFO e emulsão e suas relações com os diâmetros de perfuração para a litologia Hematita Friável. ....	75
Figura 43 - Percentual dos custos de perfuração e desmonte sobre o total do custo por furo para ANFO e emulsão e suas relações com os diâmetros de perfuração para a litologia Hematita Dura.....	76
Figura 44 - Percentual dos custos de perfuração e desmonte sobre o total do custo por furo para ANFO e emulsão e suas relações com os diâmetros de perfuração para a litologia Hematita Superdura. ....	76
Figura 45 - Percentual dos custos de perfuração e desmonte sobre o total do custo por furo para ANFO e emulsão e suas relações com os diâmetros de perfuração para a litologia Itabirito Friável. ....	77
Figura 46 - Percentual dos custos de perfuração e desmonte sobre o total do custo por furo para ANFO e emulsão e suas relações com os diâmetros de perfuração para a litologia Itabirito Duro. ....	78
Figura 47 - Percentual dos custos de perfuração e desmonte sobre o total do custo por furo para ANFO e emulsão e suas relações com os diâmetros de perfuração para a litologia Itabirito Superduro.....	78
Figura 48 - Percentual dos custos de perfuração e desmonte sobre o total do custo por furo para ANFO e emulsão e suas relações com os diâmetros de perfuração para a litologia Xisto Friável. ....	79
Figura 49 - Percentual dos custos de perfuração e desmonte sobre o total do custo por furo para ANFO e emulsão e suas relações com os diâmetros de perfuração para a litologia Xisto Duro. ....	80
Figura 50- Percentual dos custos de perfuração e desmonte sobre o total do custo por furo para ANFO e emulsão e suas relações com os diâmetros de perfuração para a litologia Hematita Canga. ....	80

Figura 51 – Análise da relação existente entre o custo por furo com ANFO e a taxa de perfuração para cada frota.....	82
Figura 52– Análise da relação existente entre o custo por furo com emulsão e a taxa de perfuração para cada frota.....	82
Figura 53 – Relação entre a taxa de perfuração e o custo por furo para a frota ROCD7.....	83
Figura 54 – Relação entre a taxa de perfuração e o custo por furo para a frota ROCL8. ....	84
Figura 55 – Relação entre a taxa de perfuração e o custo por furo para a frota SKSW.....	85
Figura 56 – Relação entre a taxa de perfuração e o custo por furo para a frota 1190E.....	85
Figura 57 – Relação entre a taxa de perfuração e o custo por furo para a frota T4BH. ....	86
Figura 58 – Relação entre o número de furos e a razão de carga em função de diferentes comprimentos de bancada para os dois tipos de explosivos, observado para a litologia itabirito duro e para a frota T4BH.....	87
Figura 59 – Relação entre o número de furos e a razão de carga em função de diferentes comprimentos de bancada para os dois tipos de explosivos, observado para a litologia itabirito duro e para a frota T4BH.....	88
Figura 60 - Custo por m <sup>3</sup> em função do comprimento da bancada para as diferentes frotas e litologias. ....	89
Figura 61 – Relação entre a profundidade dos furos e a razão de carga em função de diferentes alturas de bancada para os dois tipos de explosivo, observado para a litologia itabirito duro e para a frota T4BH.....	90
Figura 62– Relação entre o volume de rocha desmontada e a razão de carga em função de diferentes alturas de bancada para os dois tipos de explosivo, observado para a litologia itabirito duro e para a frota T4BH. ....	91
Figura 63 – Custo por m <sup>3</sup> simulado para as diferentes alturas de bancada em função das frotas para cada litologia. ....	92
Figura 64 – Custo por m <sup>3</sup> quando utilizado ANFO para as diferentes frotas em relação às litologias. ....	93
Figura 65– Custo por m <sup>3</sup> quando utilizado ANFO para as diferentes frotas em relação às litologias. ....	94
Figura 66 – Custo por m <sup>3</sup> em função da litologia para cada frota, com ANFO e emulsão. ....	95
Figura 67 – Custo por m <sup>3</sup> e por furo em função dos diâmetros de perfuração para cada litologia analisada.....	97
Figura 68 – Percentual da variação do custo por m <sup>3</sup> em função do percentual do custo total de perfuração por metro. ....	98
Figura 69 – Percentual da variação do custo por m <sup>3</sup> em função do percentual do custo de combustível por furo.....	99
Figura 70– Percentual da variação do custo por m <sup>3</sup> em função do percentual do custo de mão de obra por furo.....	99

Figura 71– Percentual da variação do custo por m <sup>3</sup> em função do percentual do custo de materiais de reposição por furo. ....	100
Figura 72– Percentual da variação do custo por m <sup>3</sup> em função do percentual do custo de depreciação por furo.....	100
Figura 73– Percentual da variação do custo por m <sup>3</sup> em função do percentual do custo de manutenção por furo.....	100
Figura 74– Percentual da variação do custo por m <sup>3</sup> em função do percentual do custo de desmonte por furo.....	102
Figura 75– Percentual da variação do custo por m <sup>3</sup> em função do percentual do custo de transporte por furo.....	102
Figura 76– Percentual da variação do custo por m <sup>3</sup> em função do percentual do custo de mão de obra de desmonte por furo.....	103
Figura 77– Percentual da variação do custo por m <sup>3</sup> em função do percentual do custo de explosivos por metro. ....	103

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Algoritmo de Custo de Perfuração e Desmonte .....	37
Tabela 2 – Frotas de perfuratrizes e seus respectivos equipamentos .....	40
Tabela 3 – Frotas de perfuratrizes e seus respectivos diâmetros.....	40
Tabela 4 – Taxa de perfuração (m/h) para cada frota em cada litologia analisada .....	46
Tabela 5 – Frotas e o custo de depreciação .....	51
Tabela 6 – Frotas de perfuratrizes e o custo final de combustível/energia por hora .....	56
Tabela 7 – Tipos de acessórios considerados na análise e o custo unitário .....	63
Tabela 8 – Dados utilizados para o cálculo do custo de mão de obra utilizada no desmonte .....	63
Tabela 9 – Custo por quilo de explosivo transportado para ANFO e Emulsão .....	64
Tabela 10- Valores de $K_B$ utilizados em função do explosivo e densidade da rocha.....	66

## SUMÁRIO

Capítulo 1 .....	15
1. INTRODUÇÃO .....	15
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	16
1.2. METAS .....	17
1.3. OBJETIVOS.....	17
1.4. METODOLOGIA.....	18
1.5. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	18
Capítulo 2.....	20
2. ANÁLISE DE CUSTOS .....	20
2.1. SISTEMA DE CUSTEIO.....	20
2.1.1. Custos relativos ao produto.....	20
2.1.2. Custos relativos ao volume de produção.....	21
2.1.2.1. Custos Variáveis.....	22
2.1.2.2. Custos Fixos .....	22
2.2. CUSTOS DE PERFURAÇÃO E DESMONTE.....	23
2.2.1. Plano de Fogo .....	24
2.2.2. Perfuração .....	25
2.2.2.1. Custos de perfuração .....	27
2.2.3. Desmonte .....	33
2.2.3.1. Custos de Desmonte .....	34
2.2.4. Custos de P & D por volume de rocha fragmentada.....	36
2.2.5. Definição do Algoritmo .....	37
Capítulo 3.....	39
3. ESTIMATIVA DE CUSTO DE PERFURAÇÃO E DESMONTE.....	39
3.1. ESTUDO DE CASO .....	39
3.2. PERFURATRIZES.....	39
3.3.1. Produção das Perfuratrizes.....	40
3.3.2. Taxa de Perfuração .....	43
3.3.3. Estimativa dos Custos de Perfuração .....	47
3.3.3.1. Custo de Depreciação .....	51
3.3.3.2. Custo de Manutenção .....	51
3.3.3.3. Custo de Mão de Obra.....	55
3.3.3.4. Custo de Combustível e Energia .....	56
3.3.3.5. Custo de Materiais de Reposição .....	57
3.3.3.6. Custo de Perfuração por metro.....	58

3.4. DESMONTE .....	59
3.4.1. Custos de Desmonte.....	61
3.4.1.1. Explosivos .....	61
3.4.1.2. Acessórios .....	62
3.4.1.3. Mão de Obra.....	63
3.4.1.4. Transporte.....	64
3.5. PLANO DE FOGO.....	64
3.5.1. Concentração de Carga .....	65
3.5.2. Afastamento .....	66
3.5.3. Espaçamento .....	67
3.5.4. Subfuração .....	67
3.5.5. Profundidade dos furos .....	68
3.5.6. Tampão .....	68
3.5.7. Razão de Carga .....	69
Capítulo 4.....	72
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	72
4.1. CUSTO POR FURO.....	72
4.1.1. Custo por furo para cada litologia.....	74
4.1.1.1. Hematita friável.....	74
4.1.1.2. Hematita dura .....	75
4.1.1.3. Hematita Superdura.....	76
4.1.1.4. Itabirito Friável.....	77
4.1.1.5. Itabirito Duro.....	77
4.1.1.6. Itabirito Superduro .....	78
4.1.1.7. Xisto Friável.....	79
4.1.1.8. Xisto Duro .....	79
4.1.1.9. Hematita Canga .....	80
4.1.2. Custo por furo para cada frota.....	81
4.1.2.1. Frota ROCD7 .....	83
4.1.2.2. Frota ROCL8.....	84
4.1.2.3. Frota SKSW .....	84
4.1.2.4. Frota 1190E.....	85
4.1.2.5. Frota T4BH .....	86
4.2. CUSTO POR VOLUME DE ROCHA FRAGMENTADA .....	86
4.2.1. Variáveis que influenciam no volume de rocha fragmentada.....	86
4.2.1.1. Comprimento da bancada.....	87
4.2.1.2. Altura da Bancada .....	90
4.2.2. Custo por m <sup>3</sup> de rocha fragmentada .....	93

4.2.2.1. Custo por m <sup>3</sup> em função da litologia .....	93
4.2.2.2. Custo por m <sup>3</sup> em função dos diâmetros de perfuração .....	95
Figura 68 – Custo por m <sup>3</sup> e por furo em função dos diâmetros de perfuração para cada litologia analisada.....	97
4.3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	98
4.3.1. Análise de sensibilidade do custo de perfuração .....	98
4.3.2. Análise de sensibilidade do custo de desmonte .....	101
Capítulo 5 .....	105
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	105
5.1. CONCLUSÕES.....	105
5.2. RECOMENDAÇÕES.....	107

# Capítulo 1

## 1. INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade complexa de extração e beneficiamento de minerais, que envolve uma cadeia de processos que seguem uma ordem de eventos interligados entre si para a sua completa e correta execução. No ciclo de operações unitárias que compõe esta cadeia produtiva, estão presentes as operações de lavra, que são as principais atividades de produção da mina. Essas operações são responsáveis diretamente pelo volume e ritmo de produção e precisam estar em sincronia direta com as operações seguintes de carregamento, transporte e beneficiamento.

O ciclo de lavra é composto por uma série de processos em sequência, onde o minério a ser lavrado passa por processos de modificações que se somam no decorrer desta cadeia produtiva, até que chegue ao seu estágio final, onde é entregue a etapa seguinte conforme as necessidades e objetivos primários.

O primeiro grande processo de modificação do bem mineral ocorre na lavra. Nesta etapa, o maciço rochoso, intacto pela sua natureza, está em uma fase de espera, onde aguarda o momento que será fragmentado. Este processo de modificação pode ser dado por diferentes métodos, onde o mais comum e amplamente aplicado é o processo de fragmentação por ação de agentes explosivos, em alguns casos essa técnica é substituída pela aplicação de outro método de escavação, como água pressurizada ou desmonte mecânico.

A utilização de agentes explosivos para desagregar a rocha envolve um conjunto de atividades para a sua execução, dentre elas a perfuração. O processo de perfuração é muitas vezes considerado isoladamente do conjunto, mas sabe-se que sem ele não seria possível dar continuidade ao processo em si. Por isso, deve-se tratar de forma integrada a perfuração e o desmonte (*Drill and Blast, D & B*).

Considerar que essas duas atividades poderiam ser tratadas como apenas uma, faz com que as decisões a serem tomadas em ambos os processos sejam relevantes para o resultado final, que envolve: a obtenção adequada da fragmentação; a formação da pilha de material desmontado com a configuração adequada ao equipamento de carregamento e transporte; ruído e vibrações minimizadas; escape de gases dentro de parâmetros aceitáveis; entre outros aspectos.



Para a obtenção do resultado final é necessário observar não apenas parâmetros técnicos, mas também, realizar uma análise relacionada à qualidade deste produto, a eficiência do processo e o seu custo de produção. É preciso observar o processo globalmente, observando o ciclo do produto, e ao mesmo tempo oferecer soluções localmente. As intervenções em atividades específicas podem melhorar o processo como um todo e consequentemente gerar economia. O que ocorre em muitos casos é a falta de compreensão global e um inadequado gerenciamento local, que juntos acarretam em decisões gerenciais que não resolvem os problemas enfrentados, já que não conseguem mensurá-los.

Nesse contexto, os custos associados ao processo de D & B são sempre os mais atingidos, uma vez que existe uma cultura de que esta é uma atividade onde se podem gerar grandes economias, porém, em muitos casos, esta economia é obtida de forma superficial, pois dentre os objetivos a serem alcançados com a fragmentação, muitos deles acabam por ser negligenciados, comprometendo todo o resto do processo. O conceito de otimização do desmonte vai além da geração de economia, ao contrário, ele se refere ao retorno do investimento feito nesta operação e que impacta nas operações seguintes de processamento (Scott et al., 1996). Sendo assim, é necessária uma ferramenta que auxilie neste controle, fornecendo uma estimativa do custo da atividade de D & B dentro do contexto a ser atingido.

O presente trabalho tem como estudo de caso para a aplicação da metodologia proposta uma mina de ferro que possui características únicas no que diz respeito a sua dimensão e as suas características estruturais. Localizada no quadrilátero ferrífero no estado de Minas Gerais, região central do Brasil, esta mina é responsável por 20% da produção nacional de minério de ferro. Devido às propriedades das rochas que compõe o depósito, a fragmentação é realizada com a utilização de explosivos. Como fonte de auxílio nas decisões gerenciais, é proposto um método de cálculo dos custos de perfuração e desmonte desta mina, com base nos seus dados históricos, levando em consideração os parâmetros do plano de fogo que são os principais modeladores do processo.

### 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

No passado, a mineração extraía bem minerais que se encontravam expostos em superfície ou muito próximo delas, o que permitia utilizar equipamentos que fossem de pequena produtividade, realizando uma lavra seletiva entre minério e estéril. Segundo Hustrulid (1999), com o passar do tempo, estes depósitos encontram-se hoje em sua grande

totalidade exauridos e apenas corpos minerais mais profundos estão disponíveis para a extração. Com o aumento da profundidade está, também, o aumento da relação estéril/minério, uma vez que onde antes se podia realizar uma lavra seletiva, hoje se necessita remover grandes quantidades de estéril para produzir pequenas quantidades de minério.

No contexto de globalização e competitividade empresarial, hoje se necessita de equipamentos de grande porte capazes de produzir de forma rápida e eficiente, onde o custo de produção seja o menor possível (Gokhale, 2011). Quando implantado um projeto de mineração, a análise e compreensão dos custos associados ao processo de produção consistem em uma ferramenta essencial para auxiliar na tomada de decisões e por consequência fornecer um produto com preço baixo e competitivo.

## 1.2. METAS

Na operação de fragmentação do maciço rochoso, os processos envolvidos de perfuração e desmonte agregam custos a esta atividade que variam conforme as características da rocha e as decisões referentes ao plano de fogo. Devido a esta variabilidade, é proposto um modelo que seja capaz de estimar o custo com a operação de D & B em função dos diferentes parâmetros que estão envolvidos no processo.

Essa dissertação tem como meta avaliar, por meio de um estudo de caso, a influência dos custos de perfuração e desmonte para diferentes tipos de rocha e equipamentos, propondo um algoritmo de cálculo para estimativa do custo por volume de rocha fragmentada em função de diferentes cenários.

## 1.3. OBJETIVOS

A partir da meta estabelecida, essa dissertação se propõe a definir uma metodologia de cálculo para a estimativa dos custos de perfuração e desmonte a aplicá-la a um estudo de caso, enfatizando as diferentes situações encontradas. Para tanto, foram estabelecidos os seguintes objetivos:

- Definição das principais variáveis do processo de D & B que geram custos;
- Análise das metodologias de cálculo do custo do processo;
- Elaboração de um algoritmo de cálculo do processo;

- Aplicação da metodologia em um estudo de caso;
- Análise e interpretação das variáveis do estudo de caso e sua influência nos resultados.

#### 1.4. METODOLOGIA

Para o atendimento dos objetivos propostos e da obtenção final de um modelo matemático que seja capaz de estimar os custos de D & B, a sequência de trabalho é apresentada na Figura 1.

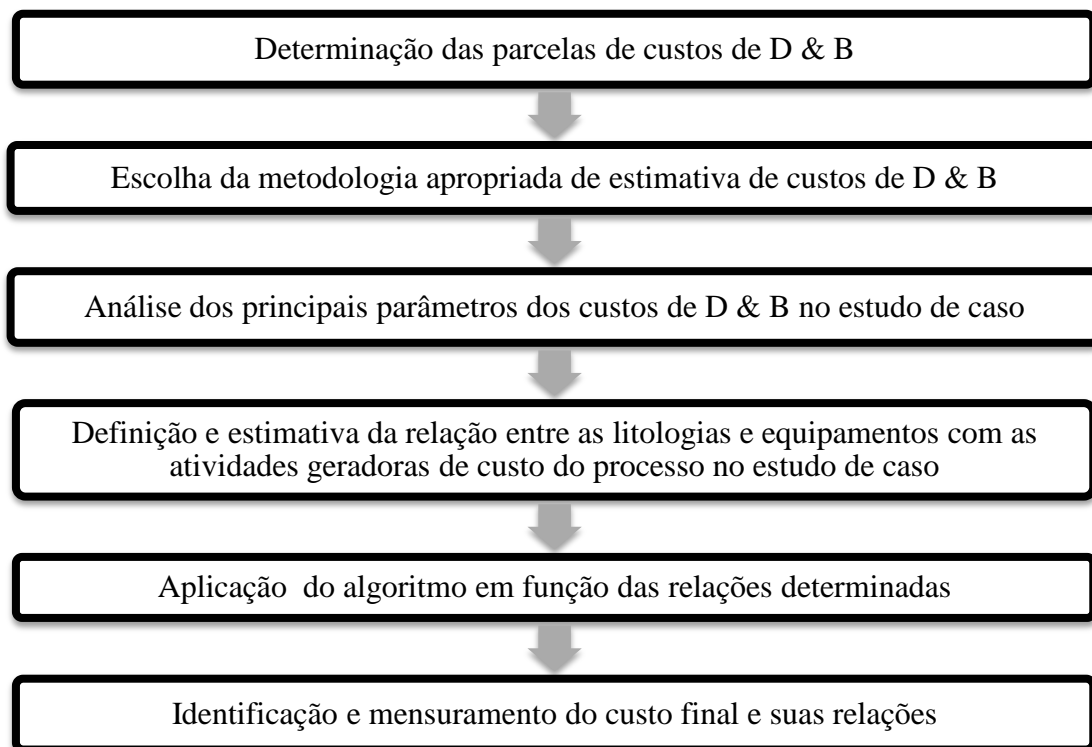


Figura 1 – Esquema representativo da metodologia proposta.

#### 1.5. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Os próximos capítulos dessa dissertação estão organizados da seguinte forma:

- O capítulo 2 apresenta uma breve revisão bibliográfica sobre os modelos de estimativa de custos abordando a estimativa do processo de perfuração e

desmonte, definindo os conceitos principais e o algoritmo de cálculo que será aplicado na análise;

- No capítulo 3 é desenvolvida a metodologia proposta, mostrando as relações encontradas entre os custos, as litologias presentes e os equipamentos. Apresenta-se o modelo matemático de cálculo do plano de fogo e a análise das diferentes situações encontradas para o estudo de caso em questão;
- O capítulo 4 apresenta a análise dos resultados obtidos em função do custo por furo e do custo pelo volume de rocha fragmentada, bem como será realizada uma análise de sensibilidade para compreensão das relações entre os custos;
- No capítulo 5 se encontram as conclusões obtidas a partir dos resultados atingidos e as recomendações para trabalhos futuros.

# Capítulo 2

## 2. ANÁLISE DE CUSTOS

A análise de custos é uma ferramenta de grande valia na tomada de decisões gerenciais. Quando se trata de projetos de mineração encontram-se inúmeras variáveis que afetam o processo de produção e, por consequência, o custo ligado ao mesmo. Este capítulo trata sobre as principais definições de custos, inserindo os principais aspectos do processo de perfuração e desmonte, situando o mesmo dentro do contexto a ser elaborado.

### 2.1. SISTEMA DE CUSTEIO

Ao se abordar o sistema de custeio, tem-se como objetivo principal determinar os custos incorridos no processo de produção cuja função é dada pela utilidade que será feita com esta informação. Quando se analisa o problema de uma operação, que é realizada sem o devido controle gerencial, observa-se que não há uma preocupação com o quê estas informações podem proporcionar. Segundo Oliveira e Perez (2000), “controlar os custos significa comparar esta realidade com algo que se esperava, analisar as possíveis diferenças, identificar as causas e, se possível, tomar decisões para reduzir ou eliminá-las”.

Em um sistema de custeio é preciso entender qual o princípio, ou seja, qual o objetivo do sistema, e quais os meios para obter as informações (Bornia, 2007). Uma vez que as informações estão disponíveis é necessário distinguir quais são importantes e elaborar uma metodologia para atingir os objetivos desejados, caso não estejam, é preciso analisar como obtê-las.

Segundo Martins (2006), a análise de custos tem como principais funções fornecer auxílio no controle de custos e ajuda na tomada de decisões, uma vez que ela fornece dados para o estabelecimento de padrões, previsão e orçamentos e, ao mesmo tempo, proporciona ferramentas para realizar escolhas a curto e longo prazo, visando o melhor cenário econômico.

#### 2.1.1. Custos relativos ao produto

A definição de custo é relativa a todo e qualquer gasto com bens ou serviços utilizados na produção de outros bens e serviços (Martins, 2006), mas esta classificação é muito genérica, pois se sabe que existem custos associados a diferentes momentos e etapas da cadeia de produção. Portanto, faz-se necessária a identificação e classificação dos diferentes tipos de custos associados ao processo de perfuração e desmonte para que se possa realizar uma alocação correta dos mesmos nesta análise.

Ao observar os custos associados ao processo de perfuração e desmonte, percebe-se inicialmente que se pode discriminá-los em função da sua relação ao produto feito, no caso, ao volume de material fragmentado. Custos de mão de obra, combustível e insumos são custos relacionados diretamente ao produto, mas o custo de depreciação de equipamento não é apropriado diretamente ao mesmo, mas está relacionado de forma indireta.

A classificação que distingue os custos em função do produto é dividida em duas classes: *custos diretos* e *custos indiretos*. Os custos diretos podem ser quantificados e identificados aos produtos, não necessitando de critérios de rateio para a sua alocação, já os indiretos não conseguem perfeitamente serem atribuídos ao produto e necessitam de algum critério de rateio (Oliveira et. al, 2000).

### 2.1.2. Custos relativos ao volume de produção

A relação existente entre custo e produto deve ser aprofundada, observando, também, uma relação entre custo e volume produzido. Por este ponto de vista é possível distinguir o custo em duas classes: aquele que está diretamente ligado ao volume de produção e outro que independe desta, sendo assim, existem custos que são apropriados diretamente em função da quantidade produzida e outros que não oferecem condição de serem medidos de maneira específica.

Ao tratar-se de volume de produção uma classificação amplamente aplicada é de *custos fixos* e *custos variáveis*. Esta separação leva em consideração a relação entre valor total de um custo sob o volume de uma atividade em uma unidade de tempo. Sendo assim, é definida uma unidade temporal, por exemplo, um mês, e quando o custo variar neste período em função do que é produzido ele é, portanto, considerado variável. Se neste período, mesmo variando a produção, o custo se mantém, ele será considerado fixo (Martins, 2006). Esta divisão de custos é notoriamente a mais importante, uma vez que ela leva em consideração a unidade de tempo em que foi produzido o produto e não apenas o produto em si.

### 2.1.2.1. Custos Variáveis

Os custos que são classificados como variáveis são aqueles que mantêm uma relação direta com o volume de produção, portanto, eles crescem à medida que o volume aumenta e na maioria das vezes este aumento é proporcional. Pode-se identificar como sendo variáveis, ou seja, dependentes da produção, os custos envolvidos na operação dos equipamentos e nos materiais de consumo diretos, como peças de reposição, mão de obra direta, etc.

Ao analisar esta classificação com maior cuidado, percebe-se que existem custos que são variáveis, mas devido à dificuldade de medida necessitam ser rateados, como por exemplo, a energia elétrica/combustível consumido pelo equipamento, lubrificantes e graxas, outros insumos. Por isso se faz necessária uma classificação destes custos em variáveis e indiretos, ou seja, eles variam com a produção, mas necessitam de um critério de rateio para a sua alocação (Oliveira et al., 2000).

### 2.1.2.2. Custos Fixos

Dentre os custos fixos relacionados à atividade de perfuração e desmonte, têm-se os gastos administrativos, mão de obra técnica, contratos e outros custos que não conseguem ser alocados diretamente ao volume de produção. Para conseguir obter uma estimativa destes custos em relação ao produto, se faz necessária a utilização de um critério de rateio.

O rateio pode ser feito por meio de critérios simples ou complexos, dependendo do tipo de análise que está sendo realizada. A escolha do critério sempre irá depender do analisador, sendo realizada de forma arbitrária, ou seja, devido à inconstância do método de rateio, podem-se achar diferentes valores de custos fixos rateados, o que indica custos totais diferentes, gerando análises distorcidas, conseqüentemente, menor credibilidade as informações estimadas (Martins, 2006).

Em muitos casos, tem-se o rateio dos custos em função do volume de produção. Segundo Brimson (1996), quando é alocada uma atividade com base no volume, mas, que não está relacionada ao volume, ocorre uma distorção do custo do produto, pois se está considerando que uma atividade que não está ligada ao mesmo oscila junto com a produção. Por este fato, para determinação da variabilidade do custo em função de alterações sensíveis somente a produção, opta-se por não considerar os custos fixos.

O uso do custeio variável constitui uma alternativa para reduzir inconsistências que podem ser geradas pelo método de rateio dos custos fixos, sendo aplicado ao produto apenas o

que foi consumido na sua produção (Mesquita, 2009). Apesar de ser um método controverso para fins fiscais, uma vez que deixa de alocar os custos fixos ao produto (para evitar o uso do rateio), este método proporciona no caso analisado um valor mais tangível e menos errático, já que se está analisando as variações nos custos recorrentes das escolhas feitas para a atividade.

## 2.2. CUSTOS DE PERFURAÇÃO E DESMONTE

A operação de perfuração e desmonte é fundamental para o desenvolvimento e a produção da mina. Nas minerações a céu aberto, os custos dessa operação estão diretamente relacionados à razão de carga, do tipo de explosivos utilizados, do número, diâmetro e profundidade dos furos de desmonte, bem como dos equipamentos de perfuração relacionados ao mesmo (Hartman, 1992) e dependem, também, das condições geológicas.

Por se tratar de uma atividade que envolve um grande número de variáveis, o levantamento de dados para a estimativa desse custo consiste em uma tarefa complexa. Justificado por este fato, muitas estimativas tendem a ser simplificadas, já que não conseguem abranger o processo em sua totalidade. Scott (1996) afirma que mesmo uma estimativa de custos simplificada, que demonstre as tendências e as relações entre os custos são de grande valia na análise gerencial, uma vez que podem fornecer uma diretriz para encontrar o meio mais econômico de otimizar o processo. Quando se trata da otimização do processo, na verdade está se abrangendo toda a operação de lavra que envolve não apenas a perfuração e o desmonte em si, mas o carregamento, transporte e cominuição do minério. A procura de uma relação, inúmeros pesquisadores buscaram relacionar parâmetros como a razão de carga, distribuição do explosivo no furo, entre outras variáveis, a fim de obter uma estimativa real entre explosivo e otimização da produção.

Eloranta (1999) sugere que o aprofundamento do conhecimento deste custo associado ao processo seguinte de cominuição da rocha é decisivo para identificar, monitorar e reproduzir um desmonte de qualidade, onde seja entregue a melhor distribuição de tamanho de partículas. A variação no padrão do desmonte, bem como a seleção do explosivo, afetam diretamente os custos e, também, a fragmentação do material. Por isso muitos autores relacionaram os custos de perfuração e desmonte com os custos de carregamento, transporte e cominuição na tentativa de estabelecer uma relação entre a diminuição da fragmentação e os custos com estas atividades (Hustrulid, 1999). Uma vez obtida esta relação, seria possível



observar o impacto nos custos gerados no ciclo de lavra em função de alterações no padrão de desmonte e por consequência no grau de fragmentação do minério (Figura 2).

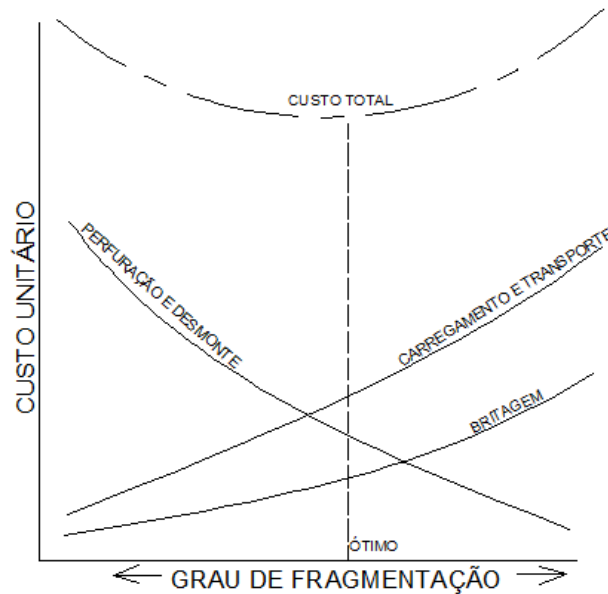


Figura 2 – Relação entre o grau de fragmentação e os custos associados às atividades operacionais  
Fonte: Adaptado de Bhandari, 1997.

Na procura por aumentar a produtividade com um custo menor, é necessária a realização de uma auditoria para verificar as práticas realizadas durante a atividade, bem como a relação e o impacto causado nas operações seguintes. Giltner et al. (2010) afirmam que o acompanhamento da atividade e a reavaliação das práticas podem surtir efeitos significativos tanto na diminuição dos custos como na aumento da produtividade dos equipamentos de lavra.

Conclui-se, portanto, que a estimativa dos custos de perfuração e desmonte quando associada à análise de otimização do processo de lavra pode fornecer, além do custo associado ao volume de rocha fragmentada, a identificação de desperdícios e ineficiências decorrentes do processo de lavra como um todo.

### 2.2.1. Plano de Fogo

O desempenho do desmonte pode ser medido em termos de: fragmentação; forma da pilha; distância de lançamento; danos causados no maciço; impacto ao meio ambiente; influência nas etapas seguintes; e custos associados (Scott, 1996). Cada abordagem avalia de forma diferente o desmonte, que por sua vez, é modificado de forma a satisfazer os objetivos

a serem atingidos. Quando se deseja otimizar o processo, é preciso considerar todos estes aspectos e atendê-los de forma satisfatória em conjunto, observando as consequências causadas pela atividade e não focando apenas em um determinado aspecto. A busca por um plano de fogo que consiga satisfazer a todos estes fatores consiste em uma tarefa que necessita de constante monitoramento e calibração, não havendo um modelo específico que possa ser igualmente realizado (Hustrulid, 1999).

Para Sharma et al. (1990), os fatores que influenciam no resultado do desmonte e que estão vinculados às seleções feitas durante o planejamento do plano de fogo são: a escolha do explosivo e a geometria da bancada. Uma vez que um parâmetro é escolhido ele tem repercussão nas variáveis seguintes, pois existe uma conexão entre elas. O fator que não está associado às variáveis que podem ser modificadas, é o maciço rochoso. A rocha é um material heterogêneo e as suas propriedades podem variar amplamente dependendo das características do maciço a qual pertence. Segundo Olofsson (1990), as resistências de tração, compressão e cisalhamento, variam conforme os tipos de rocha presentes no maciço e, portanto, variam dentro do mesmo desmonte. Como a resistência à tração da rocha precisa ser excedida para que haja a fragmentação, as propriedades geológicas afetam diretamente a capacidade de fragmentação do maciço.

É de comum acordo entre os autores que não existe uma fórmula específica para se projetar um plano de fogo e que dentre as diferentes metodologias existe apenas uma certeza: é preciso avaliar cada variável e verificar cada escolha (Konya, 1995). A metodologia escolhida para o desenvolvimento deste trabalho será abordada com maiores detalhes no capítulo três deste trabalho. A escolha foi feita com base nas informações que eram conhecidas e pela aplicabilidade do método ao modelo sugerido.

### 2.2.2. Perfuração

A atividade de perfuração é diretamente responsável pela qualidade de fragmentação da rocha, e para tanto é necessária a correta execução dos furos, de tal maneira que seja mantida a malha de fogo planejada, com a devida inclinação e retilinidade dos mesmos. O que ocorre em muitos casos é que a atividade de perfuração não é bem controlada e por isso o desmonte não consegue ser executado da maneira planejada, gerando uma fragmentação de rocha que não é adequada aos objetivos.

A atividade de perfuração é influenciada por uma série de fatores que envolvem principalmente o tipo de equipamento e a litologia a ser perfurada. Estes fatores podem ser resumidos em duas características principais: a produtividade do equipamento e a disponibilidade mecânica. Eles são os responsáveis diretos pelo custo associado ao equipamento, uma vez que o primeiro indica a capacidade de perfuração e o outro o tempo que este equipamento está disponível para operar (Paterson, 1999).

A capacidade de perfuração é a relação existente entre o avanço do furo e o tempo necessário para o mesmo. Segundo Gokhale (2011) muitos autores buscaram uma relação entre a capacidade de perfuração e as propriedades da rocha. Mas as relações existentes vão muito além das características da litologia, elas dependem, também, do material que é composto o bit de perfuração, a força aplicada pelo equipamento, a taxa de alimentação do mesmo, entre outros fatores. Considerando a litologia a ser perfurada, se pode afirmar que rochas mais duras possuem uma capacidade de perfuração baixa e rochas brandas, altas, devido aos seguintes fatores: resistência da rocha a quebra; dureza da rocha; limpeza do furo; abrasividade da rocha (Australian Drilling Manual, 1997). Segundo Yarali e Soyer (2011) a capacidade de perfuração é um fator básico a ser considerado para o progresso efetivo da perfuração em si. A estimativa da capacidade de perfuração em prever as condições da rocha pode sustentar todo o risco de custos, portanto, é de grande importância a previsão da velocidade de perfuração bem como o uso de materiais de reposição, que são diretamente ligados aos custos e as propriedades da litologia. Pode-se dizer, portanto, que a capacidade de perfuração é um parâmetro decisivo no que concerne a economia da escavação.

Já a disponibilidade do equipamento está ligada ao tempo em que está disponível ou está produzindo, e é representado como uma porcentagem do tempo total. Ela representa a real situação em que se encontra o mesmo e serve como indicativo se ele gera mais despesas do que lucro. Ela pode ser obtida pelos dados fornecidos pelo fabricante, mas como são apenas estimativas e não representam a situação operacional do equipamento, o mais importante é manter um histórico de paradas, onde se possa relacionar e prever a sua necessidade sem afetar a produção (Rajpot, 2009). Quando o equipamento não está disponível, ele está em manutenção, que pode ser programada ou não programada, esta última representa o tempo em que a máquina estava operando e precisou parar para reparos. Segundo Paterson (1999), o tempo de reparos é um grande problema encontrado na estimativa da produtividade da perfuratriz, uma vez que existe uma grande dificuldade em estimar o mesmo. Ele sugere que o controle e o monitoramento são as soluções para diagnósticos precoces que minimizam o tempo de parada, evitando perdas na produção. Quanto maior o

banco de horas acumulado de um equipamento, menor é a sua disponibilidade, já que o seu tempo de manutenção cresce junto com mesmo (Gokhale. 2011).

#### 2.2.2.1. Custos de perfuração

Em qualquer atividade os custos estão relacionados a uma produção, no caso da perfuração ele é expresso em termos do diâmetro e comprimento dos furos perfurados. Estes fatores estão relacionados com o dimensionamento do equipamento, que deve ser feito com base na produção necessária. Devido à variabilidade destes custos, eles irão depender de fatores locais, estes que irão ditar o custo final (Gokhale, 2011).

Segundo Ingmarsson (1998) a estimativa do custo de perfuração não consiste em uma fórmula complexa, mas a dificuldade se encontra em determinar o custo correto associado ao consumo dos equipamentos, bem como a estimativa da produtividade dos mesmos.

Os custos de perfuração são expressos por metro de rocha perfurada (\$/m) onde os dois principais fatores são: os custos diretos envolvidos no consumo de materiais e os custos indiretos envolvidos com gastos não atribuídos a produção. Devido à variabilidade encontrada na estimativa de custo, existem metodologias diferenciadas para a sua determinação, onde cada uma é baseada em um ponto principal.

Para Hartman et al. (1992) os custos de perfuração envolvem os custos de posse (depreciação, seguro, impostos), custos operacionais (mão de obra, combustível, peças de reposição e de manutenção) e os custos com *bit*. A equação 1 mostra a metodologia sugerida. O que se pode observar é que as variáveis estão embutidas na fórmula e relacionadas em função da vida útil do *bit* de perfuração.

$$C_T = \frac{(C_O + C_{OP}) * BL(h) + BC}{BL(m)} \quad (1)$$

Onde na equação:  $C_T$  é o custo total de perfuração (R\$/m);  $C_O$  é o custo de posse (R\$/h);  $C_{OP}$  é o custo operacional (R\$/h);  $BL$  é a vida útil do *bit* em horas e em metros;  $BC$  é o custo do *bit* (R\$).

A metodologia desenvolvida por Lapeyrouse (2002) sugere que o custo está, também, associado ao *bit* de perfuração e para calcular o custo por metro de perfuração é necessário conhecer o tempo de ciclo do mesmo, como demonstrado na equação 2.

$$C_T = \frac{B + C_R * (t + T)}{F} \quad (2)$$

Onde na equação:  $C_T$  é o custo total de perfuração por metro (R\$/m);  $B$  é o custo por *bit* (R\$);  $C_R$  é o custo operacional do equipamento (R\$/h);  $t$  é o tempo de rotação (h);  $T$  é tempo de ciclo (h);  $F$  é a taxa de perfuração por *bit* (m/bit).

A debilidade destas estimativas está em reproduzir todos os custos associados à perfuração em uma única variável correspondente ao equipamento, mas por outro ângulo, quando necessário conhecer o *bit* de perfuração mais econômico em relação à produção, ela se mostra adequada.

Para Paterson (1999), o custo de perfuração é a soma da relação entre o custo do *bit* e sua vida útil, e o custo de operacionalização do equipamento e a taxa de perfuração. Ele afirma que esta relação serve como ferramenta para identificar a influência dos mesmos no custo total. A equação 3 mostra o método sugerido.

$$C_T = \frac{BC}{BL} + \frac{RR}{PR} \quad (3)$$

Onde na equação:  $C_T$  é o custo total de perfuração (R\$/m);  $BC$  é o custo do *bit* (R\$);  $BL$  é a vida útil do *bit* (m);  $RR$  é o custo operacional do equipamento (R\$/h);  $PR$  é a taxa de perfuração (m/h).

As metodologias apresentadas sugerem que o custo operacional do equipamento não varia, ou seja, se está considerando que o custo operacional do equipamento é constante e, portanto, se está afirmando que a taxa de perfuração é a variável responsável pelo aumento ou diminuição do custo. Ou seja, quanto mais resistente a litologia, menor a taxa de perfuração e maior o custo por metro perfurado.

Apesar de compreender que o custo está associado principalmente ao avanço da perfuração e no consumo dos *bits*, é necessário abordar outros aspectos que envolvem os custos operacionais mais detalhadamente.

Para Gokhale (2011) os custos de perfuração devem considerar: os custos de compra e instalação do equipamento; os custos de operação; e os custos indiretos. Segundo ele, os custos indiretos envolvidos no processo, como salários, aluguéis, compras, que não podem ser atribuídos a um equipamento em particular, devem ser rateados por meio de um critério comum em função dos fatores que afetam o mesmo, como preço, produtividade, etc. Como

não existe uma metodologia específica para esta estimativa, é sugerida a equação 4, sendo a parcela referente aos custos indiretos rateadas conforme a empresa.

$$\text{Custo total} = \text{Custo de compra} + \text{Custo operacional} \quad (4)$$

Seguindo a mesma linha de raciocínio, Jimeno et. al (1995) separa os custos em diretos e indiretos. Ele considera como custos diretos aqueles que estão envolvidos no consumo de materiais, como manutenção e reparos; mão de obra; combustível/energia; lubrificantes; peças de reposição. Os custos indiretos são os custos de depreciação e impostos. A equação 5 (Jimeno et al., 1995) mostra a metodologia aplicada.

$$\text{Custo total} = \text{Custo diretos} + \text{Custo indiretos} \quad (5)$$

Na verdade ambos os autores estão fazendo referência à mesma metodologia de custo. Nela, os custos de posse e os custos operacionais são as principais variáveis a serem consideradas na estimativa. Apesar de Jimeno et. al. (1995) ter considerado os custos de posse como indiretos por não serem vinculados ao consumo, eles são considerados variáveis, ou seja, são dependentes da produção em função do tempo trabalhado do equipamento.

- Custo de posse

Os custos de posse são referentes aos custos de compra e de posse do equipamento até o fim de sua vida útil. Ele envolve o custo de compra; seguros e impostos pagos anualmente; e o valor residual de venda. O custo de compra envolve mais do que apenas o custo de aquisição, também, é preciso considerar os custos de transporte e entrega, bem como instalação *in situ*, e irá depender do tipo de equipamento. Este custo deve ser fornecido em moeda corrente. O custo que envolve impostos a serem pagos e seguro depende da localidade da instalação, e quando ocorrem são geralmente calculados como uma porcentagem do preço do equipamento. O valor residual é o valor de venda do equipamento no fim da sua vida útil. Este valor depende do tipo de equipamento e o tipo de operação executada, bem como o seu estado de conservação.

Segundo Jimeno et al. (1995) os custos de posse podem ser estimados pelas equações 6 e 7, que representam os custos com impostos e seguro e os custos de depreciação do equipamento. A deteriorização causada pelo uso e pelo envelhecimento do equipamento, conjuntamente a desvalorização do mesmo, são a base para o cálculo da depreciação.

$$C_I = \frac{\frac{N+1}{2N} * P_p * (I + I_n + T)\%}{W_h} \quad (6)$$

Onde na fórmula tem-se:  $C_I$  é o custo de juros e seguro (R\$/h);  $N$  é vida útil da perfuratriz (anos);  $P_p$  é o preço de compra;  $I$  são os juros (%);  $I_n$  é o seguro (%);  $T$  outras taxas (%);  $W_h$  são as horas trabalhadas/ano (h/a).

$$C_D (\text{R}\$/\text{h}) = \frac{\text{preço de compra} - \text{valor residual}}{\text{vida útil (h)}} \quad (7)$$

O custo de depreciação apresentado, também, é conhecido como o método de depreciação linear, onde o custo do bem decresce linearmente em função da depreciação até o ponto do valor residual (Hirschfeld, 2010).

Considerando as duas fórmulas apresentadas, conclui-se que os custos que envolvem a posse da perfuratriz (\$/h) são iguais a soma dos custos de investimento (\$/h) com os custos de depreciação (\$/h) do equipamento.

Os custos diretos são os custos operacionais, que por sua vez são custos variáveis uma vez que dependem do volume de produção. Para Gokhale (2011), os custos operacionais são divididos em quatro categorias: custos de manutenção e reparos; custos com materiais de consumo; custos de mão de obra direta; e custos com acessórios e *bits*.

- Custos de Manutenção e Reparos

O custo de manutenção é dividido em duas categorias: manutenção preventiva e reparos. A manutenção preventiva é determinada em função do histórico do equipamento, onde se tem uma série de itens a serem inspecionados. Os reparos são paradas não programadas do equipamento que geram a necessidade de manutenção e, portanto não se tem uma estimativa real desta variável.

O custo de manutenção é a soma dos custos totais de lubrificantes, filtros e mão de obra necessária. Jimeno et al. (1995) explicam que quando os custos de manutenção incluem os gastos com a manutenção preventiva e paradas repentinas deve-se considerar um fator de reparação, como mostra a equação 8.

$$C_M = \left( \frac{\text{preço de compra}}{1000} \right) * F_r(\%) \quad (8)$$

Onde  $F_r$  é o fator de reparação, que pode estar disponível no manual do fabricante. Caso o fator de reparação fornecido não inclua os encargos com a mão de obra, pode-se utilizar a equação 9 adicionando aos custos de manutenção os custos de mão de obra, como sugerido por Rajpot (2009).

$$C_M = \text{peças de reposição} + (\text{mão de obra} * \text{percentual de tempo parado}) \quad (9)$$

Os custos de reparos são baseados no histórico do equipamento por meio de um fator de interpolação que é utilizado para estimativas futuras prevendo possíveis gastos. Ele é fornecido como uma porcentagem do preço de entrega do equipamento. Wagner (1987 *apud* Rajpot, 2009)<sup>1</sup> sugere que para calcular o custo com reparos basta multiplicar o preço de entrega do equipamento pelo fator de interpolação e dividir pela vida útil da máquina.

- Materiais de consumo

Os custos com materiais de consumo envolvem todo o tipo de material que é consumido durante a operação, entre eles está: a energia; lubrificantes; óleo; água; pneus; esteiras; entre outros.

O custo com combustível ou energia depende do tipo e porte do equipamento. Para o cálculo do consumo de combustível ou energia se deve utilizar as especificações do fabricante. A equação 10 e equação 11 sugeridas por Jimeno et al. (1995) calculam o custo em função da potência do motor e o preço do combustível ou energia, respectivamente.

$$C_E = \text{Potencia hp} * \left( \frac{\text{Litros}}{\text{hp}} \right) * \$/l \quad (10)$$

$$C_E = \text{Potencia kWh} * \$/kWh \quad (11)$$

O custo com lubrificante, graxa e filtros pode ser estimado em função do consumo de energia, sendo considerados 10 a 20% do mesmo dependendo do equipamento (Jimeno et al., 1995). Para a estimativa de consumo de lubrificantes em perfuratrizes rotativas, Gokhale

---

<sup>1</sup> Wagner Mining Equipment Co. **Technical Manual, Equipment Features and Applications Data**. 1987.



(2011) sugere a equação 12, onde Q é a quantidade de lubrificante (l/h) e D é o diâmetro do *bit* (mm).

$$Q = 6 * 10^{-3} * D \quad (12)$$

Os custos com óleo e água são pequenos comparados ao todo e não foram considerados nesta estimativa. Os custos de pneus/esteiras estão associados à média de consumo, que por sua vez é muito pequena, tendo em vista que geralmente o equipamento se desloca apenas entre as frentes e entre furos, por isso para fazer a estimativa de custo basta somar o que foi consumido em um período fixo e dividir pelo tempo (Gokhale, 2011).

- Acessórios e *bits*

O processo de perfuração envolve um grande consumo de acessórios, uma vez que eles sofrem impactos constantes, necessitando de trocas frequentes. Por sua vez a dureza da rocha tem grande influência no consumo de *bits*, barras, hastes, luvas, martelo, etc. Como o consumo destas peças depende da mesma, seu custo pode variar entre 15 a 40% das despesas totais com perfuração (Rajpot, 2009). Os custos são estimados em função da vida útil dos acessórios, cujo valor é muito difícil de serem previstos, tendo em vista às inúmeras variáveis que influenciam o mesmo, como as características do maciço, as propriedades da rocha, tipo de equipamento, diâmetro de perfuração, entre outros fatores (Gokhale, 2011).

Em geral, os custos de acessórios são estimados em função do seu custo de compra dividido pela vida útil, fornecendo o custo por metros. Quando se sabe a quantidade de metros que se deseja perfurar, basta multiplicar o custo por metro pela quantidade de metros perfurados que se obtém o custo com o acessório. O custo com hastes não pode ser aplicado da mesma forma por variarem conforme o comprimento do furo e o tamanho da barra. O número de barras inseridas em série em um furo é utilizado para achar este custo (Jimeno, 2005) como mostrado na equação 13.

$$\text{custo barra } (\$/\text{m ou h}) = \frac{(\text{n}^\circ \text{ barras por furo}) * (\text{custo } \$/\text{barra})}{\text{vida util da barra (m ou h)}} \quad (13)$$

- Mão de obra

O custo associado à mão de obra inclui todos os custos anuais (período fixo) com o operador da perfuratriz mais assistente (quando houver) contando custos com benefícios, dividido pelo número de horas produzidas no período. Este custo é o custo horário de mão de obra direta.

O custo total de perfuração pode ser resumido pela equação 14 que representa a soma de todas as parcelas envolvidas nos custos de posse e de operação divididas pela produtividade da perfuratriz (Jimeno et. al, 1995).

$$C_T = \frac{C_A + C_I + C_M + C_O + C_E + C_L + C_B}{P_r} \quad (14)$$

Onde na fórmula tem-se:  $C_T$  é o custo total de perfuração (\$/m);  $C_D$  é o custo de depreciação (\$/h);  $C_I$  é o custo com imposto/seguro (\$/h);  $C_M$  é o custo de manutenção e reparos (\$/h);  $C_{MOB}$  é o custo de mão de obra (\$/h);  $C_E$  é o custo de combustível ou energia (\$/h);  $C_L$  é o custo de óleo, graxa e filtros (\$/h);  $C_B$  é o custo com *bits*, hastes, luvas (\$/h);  $P_r$  é a produtividade da perfuratriz (m/h).

O custo fornecido é dado por metros. Sendo assim, quando elaborado uma plano de fogo que contenha a profundidade do furo, pode-se estimar o custo associado a este furo pela equação 15.

$$\text{custo/furo} = \text{custo/m} * \text{profundidade/furo} \quad (15)$$

Uma vez que é conhecido o custo de perfuração por furo, se pode relacionar o mesmo com as variáveis que compõe o processo, uma vez que este é influenciado diretamente pela taxa de perfuração e o diâmetro do mesmo. Por meio dessa estimativa se pode compreender qual a relação do diâmetro do furo e do tipo de explosivo com o custo por furo a qual fornece um modelo inicial de controle de consumo.

### 2.2.3. Desmonte

A atividade de desmonte consiste no carregamento e detonação dos furos, mas não é restrita a apenas a parte prática, envolve, também, uma análise intrínseca da escolha da malha

de perfuração, do tipo de explosivo, da sequência entre os furos, do tempo de retardo, entre outros fatores que afetam diretamente o resultado da fragmentação do material. Para aperfeiçoar um projeto de desmonte é preciso fazer uma conexão entre a quantidade de energia necessária do explosivo, as propriedades da rocha e a geometria da bancada (Sharma, et al., 1990). Devido à complexidade do processo, Hustrulid (1999) afirma que o mesmo depende diretamente do operador, da sua experiência e conhecimento, e que é necessária a aplicação de diferentes técnicas e métodos até que seja encontrado o modelo ideal para conseguir atingir os objetivos de forma satisfatória.

#### 2.2.3.1. Custos de Desmonte

Quando se analisa os custos do processo de lavra, observa-se que os custos com o desmonte contribuem apenas com uma pequena porcentagem para o mesmo, mas possui uma grande influência nos demais custos, uma vez que é o responsável pela fragmentação da rocha.

Os custos de desmonte são classificados com base no volume de produção (Scott, 1996). Ele engloba custos com explosivos, *boosters* e *primers*, sistema de iniciação dos furos e outros materiais. Os custos de mão de obra incluem o tempo de carregamento e transporte do explosivo até a bancada, bem como o tempo de carregamento dos furos, detonação e verificação do desmonte, os quais influenciam na eficiência da operação. Os custos relacionados ao armazenamento e ao equipamento de carregamento dos furos, também, devem ser considerados (Hartman et al., 1992).

Em grande parte dos casos ocorre a terceirização do serviço de desmonte, que inclui desde o transporte do explosivo até o local do desmonte, bem como o carregamento dos furos e detonação da bancada. Esta mão de obra terceirizada varia de acordo com a empresa e pode ser cobrada por carregamento, ou por kg, dependendo do caso, incluindo os custos de acessórios utilizados e mão de obra (Rajpot, 2009).

Os custos de desmonte podem ser resumidos em: materiais consumidos no processo; mão de obra; transporte.

- Materiais Consumidos

Os materiais que são consumidos durante o processo envolvem os explosivos e acessórios. Para obter a quantidade de material necessário é preciso saber as especificações selecionadas no plano de fogo, que variam conforme os fatores já discutidos anteriormente e

que irão influenciar diretamente neste custo. A partir do dimensionamento dos furos e da malha de perfuração, é possível obter a quantidade de explosivos por furo, chamado de peso de carga (kg/furo) (Olofsson, 1990). Com as variáveis referentes ao comprimento do furo, do tampão e do peso de carga se consegue estimar a quantidade de explosivo no furo, bem como o custo associado a este carregamento, como apresentado na equação 16.

$$C_{EXP} = (L_b * (H - T)) * \frac{\text{R\$ exp}}{\text{kg}} \quad (16)$$

$$M_C = C_{EXP} + C_{AC} \quad (17)$$

Onde nas equações:  $M_C$  é o custo com materiais consumidos (R\$/furo);  $C_{EXP}$  é o custo com explosivo por furo (R\$/furo);  $C_{AC}$  é o custo com acessórios por furo (R\$/furo);  $L_b$  é a concentração de carga no furo (kg/m);  $H$  é a profundidade do furo (m);  $T$  é o tampão (m).

- Mão de obra:

Os custos de mão de obra incluem os funcionários envolvidos na operação, desde o motorista responsável pelo transporte da carga de explosivos, ao *blaster* e, quando possuir, assistentes, bem como todos os benefícios e bonificações referentes. Apesar de não haver uma metodologia específica para a estimativa dos custos de mão de obra, é necessário saber qual o custo por hora trabalhada. Esta estimativa pode ser feita em função dos valores referentes anuais, assim como explicado na seção anterior para a perfuração. Outra hipótese seria realizar o somatório dos custos listados acima e dividir pelo volume de rocha fragmentada no período, assim se obteria o custo por m<sup>3</sup> de rocha desmontada. Scott (1996) sugere que o custo de mão de obra, também, pode ser estimado por furo, para tanto é necessário conhecer o tempo de carregamento entre os furos, mas estes não inclui o custo de mão de obra do transporte do explosivo.

- Transporte:

O custo de transporte é fornecido por dois custos principais: o custo com combustível e o custo do caminhão. Para estimar esse custo é necessário conhecer a capacidade de carregamento do mesmo (kg/viagem) e o custo associado à distância média percorrida entre o paiol e a bancada (R\$/viagem). Com estes valores se podem assumir um custo médio de transporte por kg de explosivo transportado.

A soma das variáveis apresentadas resulta nos custos de desmonte, como mostrado na equação 18 (Rajpot, 2009). Ao se observar essa relação de custos, percebe-se que os custos de desmonte são todos ligados diretamente à produção e, portanto, podem ser classificados como custos diretos e variáveis.

$$C_D = C_T + C_{MO} + C_{EX} + C_{AC} \quad (18)$$

Onde  $C_D$  é o custo do desmonte (\$/furo);  $C_T$  é o custo de transporte e entrega (\$/furo);  $C_{MO}$  é o custo de mão de obra (\$/furo);  $C_{EX}$  é o custo de explosivos (\$/furo);  $C_{AC}$  é o custo de acessórios (\$/furo).

#### 2.2.4. Custos de P & D por volume de rocha fragmentada

A relação de custos apresentada para a atividade de perfuração e desmonte está relacionada com o custo por furo. Como esta relação, apesar de grande valia, é sensível à profundidade do furo, por estar relacionada apenas com o diâmetro e os metros perfurados, é necessária uma estimativa mais robusta, que forneça a relação do furo com a quantidade de rocha que ele é capaz de fragmentar. Para tal é preciso estimar o custo em função do volume de rocha fragmentada, que irá informar a relação do furo com o próprio desmonte.

O volume de rocha fragmentada é calculado em função da largura da bancada, da altura da mesma e do afastamento (volume por linha de furos). O número de furos é função direta do comprimento da bancada e do espaçamento entre os furos. Ou seja, quanto maior o comprimento da bancada, maior o número de furos necessário (supondo uma mesma situação de diâmetro e profundidade), e maior será o volume fragmentado. Supondo esta relação entre volume e número de furos pode-se relacionar o volume de rocha fragmentada por um furo como sendo o volume total dividido pelo número de furos totais.

$$R\$/furo = R\$ \text{ perfuração} / furo + R\$ \text{ desmonte} / furo \quad (19)$$

$$R\$/m^3 = \frac{R\$/furo}{m^3/furo} \quad (20)$$

### 2.2.5. Definição do Algoritmo

Todas as informações pertinentes à estimativa dos custos de perfuração e desmonte necessitam estar vinculadas de forma que as seleções feitas modifiquem e impactem no custo associado ao produto final. Com o intuito de gerar uma ferramenta que atenda a meta estabelecida, foi elaborado um algoritmo de cálculo para a estimativa dos custos no *software Microsoft Office Excel*.

Para a definição do algoritmo é necessário primeiramente definir os custos de perfuração e desmonte discutidos anteriormente e também utilizar um modelo de plano de fogo que forneça as variáveis: profundidade dos furos; coluna de carga; concentração de carga; razão de carga. A Tabela 1 apresenta o modelo de planilha *Excel* gerada com o algoritmo. Ela está dividida em quatro principais componentes:

- Especificações do Plano de Fogo: variáveis a serem inseridas em função do modelo de plano de fogo escolhido que variam conforme a litologia, diâmetro do furo, tipo de explosivo, geometria da bancada;
- Especificações Perfuração: valores referentes aos custos de perfuração anteriormente discutidos que variam conforme o equipamento e litologia;
- Especificações Desmonte: valores referentes aos custos de desmonte já discutidos anteriormente, que variam conforme o tipo de explosivo e o tipo de serviço prestado;
- Custo Total: resultado final.

Tabela 1 – Algoritmo de Custo de Perfuração e Desmonte

Nome da Variável	Unidade	Célula e/ou Fórmula
<b>Especificações do Plano de Fogo</b>		
Profundidade dos Furos	m	C4
Coluna de Carga	m/furo	C5
Concentração de Carga	kg/m	C6
Razão de Carga	kg/m <sup>3</sup>	C7
Volume fragmentado por furo	m <sup>3</sup> /furo	C8=(C6*C5)/C7
<b>Especificações Perfuração</b>		
Capacidade de Perfuração	m/h	C10
Custo Combustível	R\$/h	C11
Custo Mão de Obra direta	R\$/h	C12
Custo Materiais de Reposição	R\$/h	C13

Continuação Tabela 1

Nome da Variável	Unidade	Célula e/ou Fórmula
Custo Depreciação	R\$/h	C14
Custo Manutenção	R\$/h	C15
Custo de Perfuração	R\$/m	C16=SOMA(C11:C15)/C10
<b>Especificações Desmonte</b>		
Custo Transporte	R\$/kg	C18
Custo Mão de Obra direta	R\$/m <sup>3</sup>	C19
Custo Explosivo	R\$/kg	C20
Custo Acessórios	R\$/furo	C21
Custo de Desmonte	R\$/furo	C22=((C5*C6)*C18)+ ((C19/C7)*(C5*C6))+ ((C5*C6)*C20)+C21
<b>Custo Total</b>		
Custo por Furo	R\$/furo	C24=(C16*C4)+(C22)
Custo por Volume	R\$/m <sup>3</sup>	C25=C24/C8
Conclusão Tabela 1		

Como pode ser observada na Tabela 1, a dificuldade da estimativa se encontra na definição das variáveis e será a aplicação correta das mesmas que irá fornecer um resultado próximo ou não da realidade, sendo assim, quando maior for a acuracidade das variáveis, mais confiável é o resultado.

# Capítulo 3

## 3. ESTIMATIVA DE CUSTO DE PERFURAÇÃO E DESMONTE

Quando se aborda o processo de tomada de decisões gerenciais, observa-se que são necessárias seleções que devem ser feitas com base em dados reais obtidos da análise em campo e dados que não podem ser medidos diretamente pelo seu grau de complexidade e das inúmeras variáveis que o compõe. A análise de custo realizada no processo de perfuração e desmonte pode ser encaixada na descrição acima, uma vez que ela depende tanto de medidas reais, quanto de medidas que são obtidas por análise teórica.

O custo do processo de perfuração e desmonte depende de inúmeras variáveis já discutidas anteriormente, mas para que se possa obter uma estimativa do custo do processo é necessário elaborar um plano de análise, onde se identificam e quantificam as variáveis.

### 3.1. ESTUDO DE CASO

A análise que será apresentada foi realizada em uma mina de ferro a céu aberto, localizada no quadrilátero ferrífero no estado de Minas Gerais, Brasil. O método de lavra empregado é o de cava a céu aberto por bancadas múltiplas, onde se utiliza o explosivo para fragmentação do minério. A geologia local é dominada pelos processos de metamorfismo e deformação, o que confere ao depósito um grau elevado de complexidade devido ao grande número de dobras e descontinuidades presentes. As litologias principais distinguidas são: hematita (dura, super dura e friável); itabirito (duro, super duro e friável); xisto (duro e friável). O minério de ferro é extraído da hematita e do itabirito, sendo o xisto uma rocha estéril.

Os dados aqui apresentados são referentes ao período de janeiro a outubro de 2012, onde foi feito o levantamento dos custos de perfuração e a análise dos boletins de fogo. Os valores aqui apresentados foram alterados por uma constante e servem apenas para fins didáticos.

### 3.2. PERFURATRIZES



Para o processo de perfuração, a mina conta com dezessete equipamentos distintos, que compõe as cinco frotas de perfuratrizes que são separadas por marca como apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Frotas de perfuratrizes e seus respectivos equipamentos

<b>Frota</b>	<b>Perfuratrizes</b>	<b>Tipo de perfuração</b>
Atlas Copco - ROCL8	0305;7104;7105;7106;7107	DTH, sob esteira
Atlas Copco - ROCD7	0307	DTH, sob esteira
Atlas Copco - T4BH	0325; 0326; 2405	Rotativa, sob pneus
Terex - SKSW	1101; 1102; 1103; 1105; 1111; 1112	Rotativa, sob esteira
Sandvik - 1190E	0405; 0406	Rotativa, sob esteira

As perfuratrizes que são utilizadas na mina possuem características distintas, principalmente quanto ao tipo de perfuração e quanto ao seu porte. Alguns equipamentos utilizados são de pequeno porte, e muitas vezes são usados para conformação de talude, ou desmontes que empregam menores volumes, diferentemente dos equipamentos de grande porte, que são aplicados nas bancadas de produção. Uma forma prática de distinguir as perfuratrizes é pelo diâmetro de furo, apresentados em ordem crescente na Tabela 3.

Tabela 3 – Frotas de perfuratrizes e seus respectivos diâmetros

<b>Frota</b>	<b>ROCD7</b>	<b>ROCL8</b>	<b>SKSW</b>	<b>1190E</b>	<b>T4BH</b>
<b>Diâmetro (mm)</b>	101,6	146,05	203,2	229	241,3

Apesar de cada equipamento ser capaz de executar um intervalo de diâmetro, foi determinado trabalhar nesta análise apenas com aqueles que são de fato aplicados pela empresa, podendo ser a qualquer momento expandida esta análise conforme a necessidade de modificação dos mesmos.

### 3.3.1. Produção das Perfuratrizes

Para que se possa executar uma análise de custeio de cada frota de equipamento, primeiro é preciso entender e quantificar o trabalho executado por cada uma delas. Para tanto foi analisado o percentual do tempo de produção de cada frota sobre o total do período, como pode ser observado na Figura 3. O tempo de produção é uma medida em horas que quantifica

as horas trabalhadas totais que o equipamento esteve em operação, sendo o operador o responsável pela apropriação da atividade que está sendo executada.

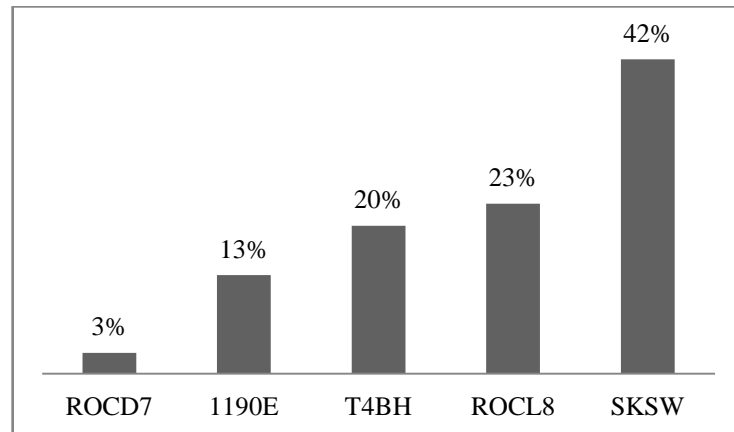


Figura 3 – Percentual das horas trabalhadas produzindo por frota sobre o total do período.

Como esta análise de horas trabalhadas produzindo é muito frágil e não pode ser utilizada para mensurar de fato o tempo de produção, uma vez que o tempo produzindo engloba não apenas o tempo que a perfuratriz está trabalhando, mas também, o tempo que ela leva para se deslocar entre furos, foi analisado os dados referentes aos metros perfurados para cada frota e comparados com o tempo produzindo, como mostra a Figura 4. Pode-se observar que a relação entre tempo e metros perfurados é muito próxima no período analisado, o que fornece uma confiança maior sobre os dados que serão trabalhados.

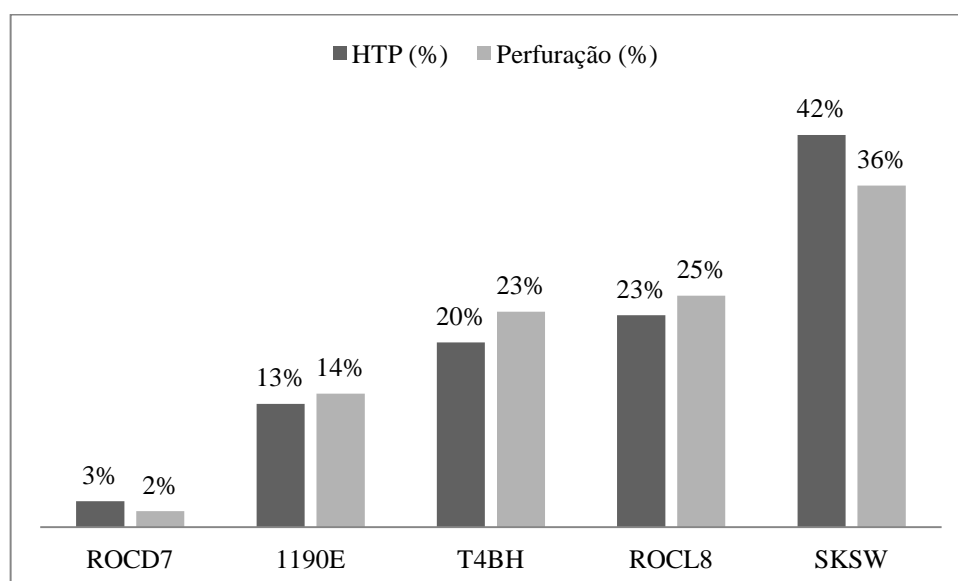


Figura 4 – Relação entre horas trabalhadas produzindo e metros perfurados.

Dentro deste contexto de análise de produção dos equipamentos, foram observados em cada tipo de rocha quantos metros foram perfurados, e posteriormente agrupados em minério e estéril. A Figura 5 mostra o percentual sobre o total do período de metros perfurados para cada grupo, o que indica que a maior parte da perfuração foi executada para produção de minério.

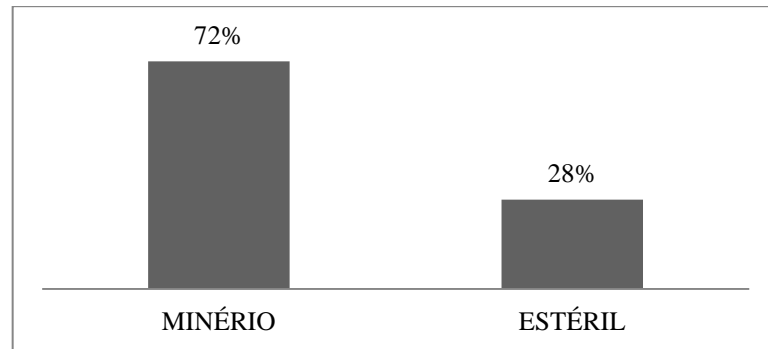


Figura 5 – Percentual sobre o período de metros perfurados de minério e estéril.

Uma vez que esta separação foi feita, deve-se observar se algum dos equipamentos é destinado ao decapeamento, ou seja, apenas para perfuração de estéril, para tanto foi analisada a perfuração de minério e estéril por frota sobre o período, como mostra a Figura 6. Pode-se observar que não existe um equipamento específico para perfurar minério ou estéril e que a análise de custo deve considerar que todos perfuram todos os tipos de rocha.

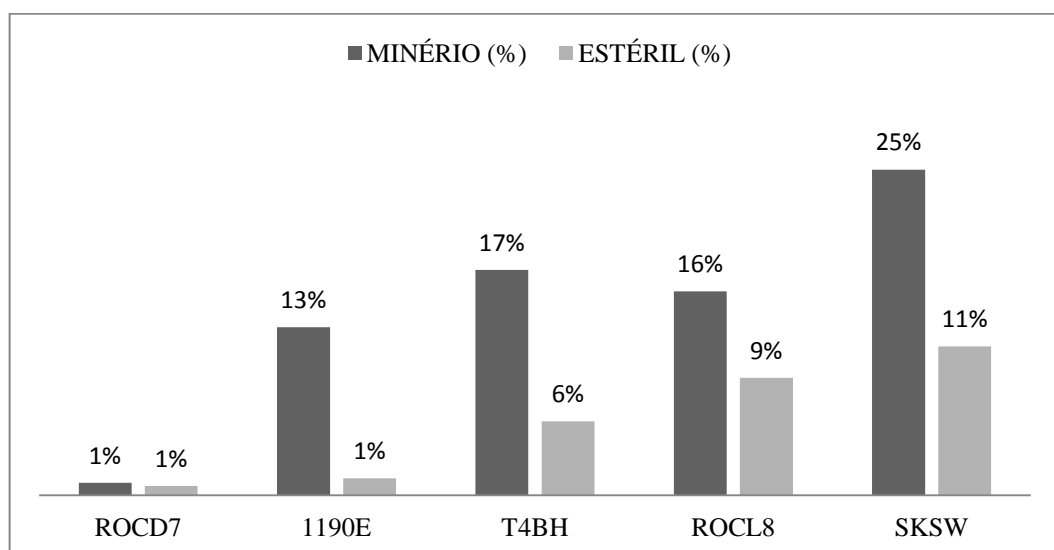


Figura 6 – Percentual de metros perfurados de minério e estéril por frota.

### 3.3.2. Taxa de Perfuração

A taxa de perfuração é calculada pela razão entre os metros perfurados e o tempo necessário para perfurá-los, que no caso desta estimativa foi em função das horas trabalhadas. Esta taxa é relativa apenas ao tempo de furo, ou seja, o tempo que de fato o equipamento estava perfurando. O que ocorre é que os dados que foram analisados referentes às horas trabalhadas foram apropriados no equipamento pelo operador e este muitas vezes não apropria à perfuratriz o tempo quando esta está se deslocando entre furos, ou seja, ele não finaliza a apropriação de tempo de perfuração a cada furo, e sim após o término de todos os furos. Isso resulta em uma distorção da taxa de perfuração aqui trabalhada, visto que foi utilizado este tempo para sua estimativa, por isso deve-se levar em consideração que quando se trata aqui de taxa de perfuração, não foi possível distinguir o tempo de deslocamento entre furos e o tempo real de perfuração e que por consequência ele está intrinsecamente considerado nos cálculos.

Para realizar a análise da taxa de perfuração, que é um importante parâmetro na determinação do custo, é preciso primeiro quantificar os dados existentes. Para tal, foi feita uma análise dos metros perfurados para cada litologia, como mostra a Figura 7. Pode-se observar que o maior percentual sobre o período foi para itabirito duro, desta litologia pode-se esperar dados mais precisos do que para a litologia menos perfurada, no caso, hematita superdura. Deve-se considerar que quanto maior for a abundância de dados, menos errática será a estimativa.

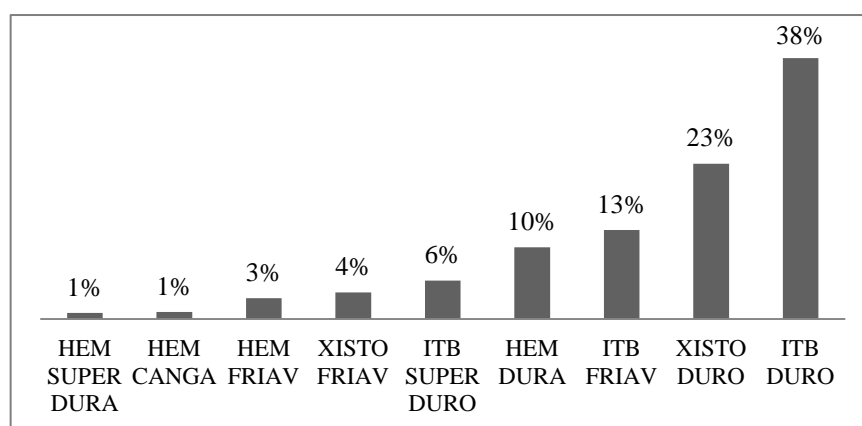


Figura 7 – Percentual sobre o período de metros perfurados para cada litologia analisada.

Para realizar a estimativa da taxa de perfuração pode-se optar por fórmulas teóricas que invariavelmente fornecem valores aproximados, ou usando dados reais. Como esta análise

possui os valores das duas variáveis necessárias para a estimativa, que são aos metros perfurados e ao tempo necessário para perfurá-los, optou-se por utilizá-los.

Como esta taxa é de fundamental impacto nas estimativas de custo é preciso primeiro provar que existe de fato uma correlação entre as duas variáveis utilizadas para não acarretar em erros elevados. Para tal, foram isoladas cada litologia perfurada para cada frota e somados os tempos de perfuração e os metros perfurados para cada categoria. Na Figura 8 estão discretizados estes pontos, onde é possível observar que existe uma linearidade entre os metros perfurados e o tempo de perfuração.

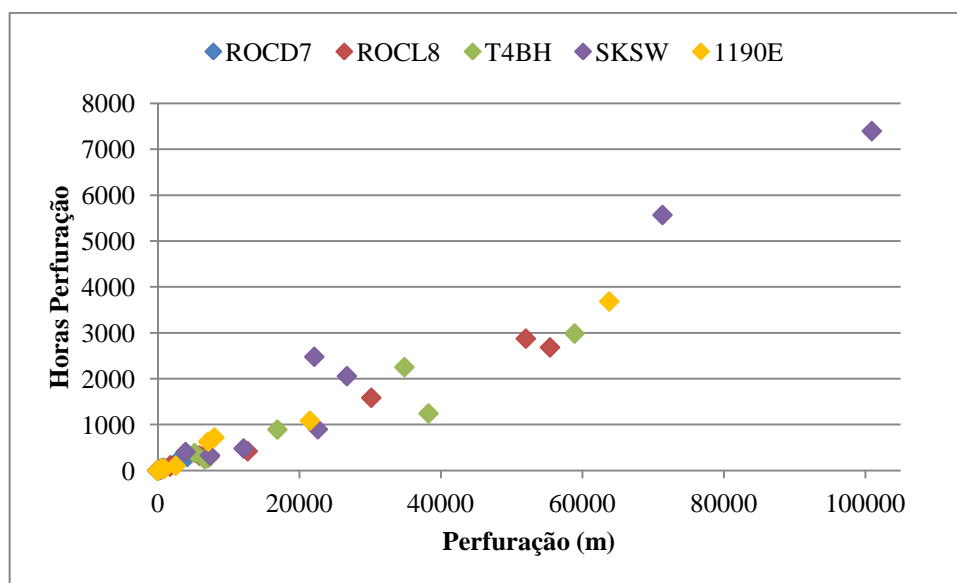


Figura 8 – Relação entre metros perfurados e horas de perfuração.

Devido a diferente abundância de dados, optou-se por visualizar individualmente cada frota. A Figura 9 apresenta as equações da reta que representam os pontos de metros perfurados e tempo de perfuração para cada frota em cada litologia. O coeficiente de correlação linear foi plotado para que se possa definir se existe ou não uma correlação tolerável.

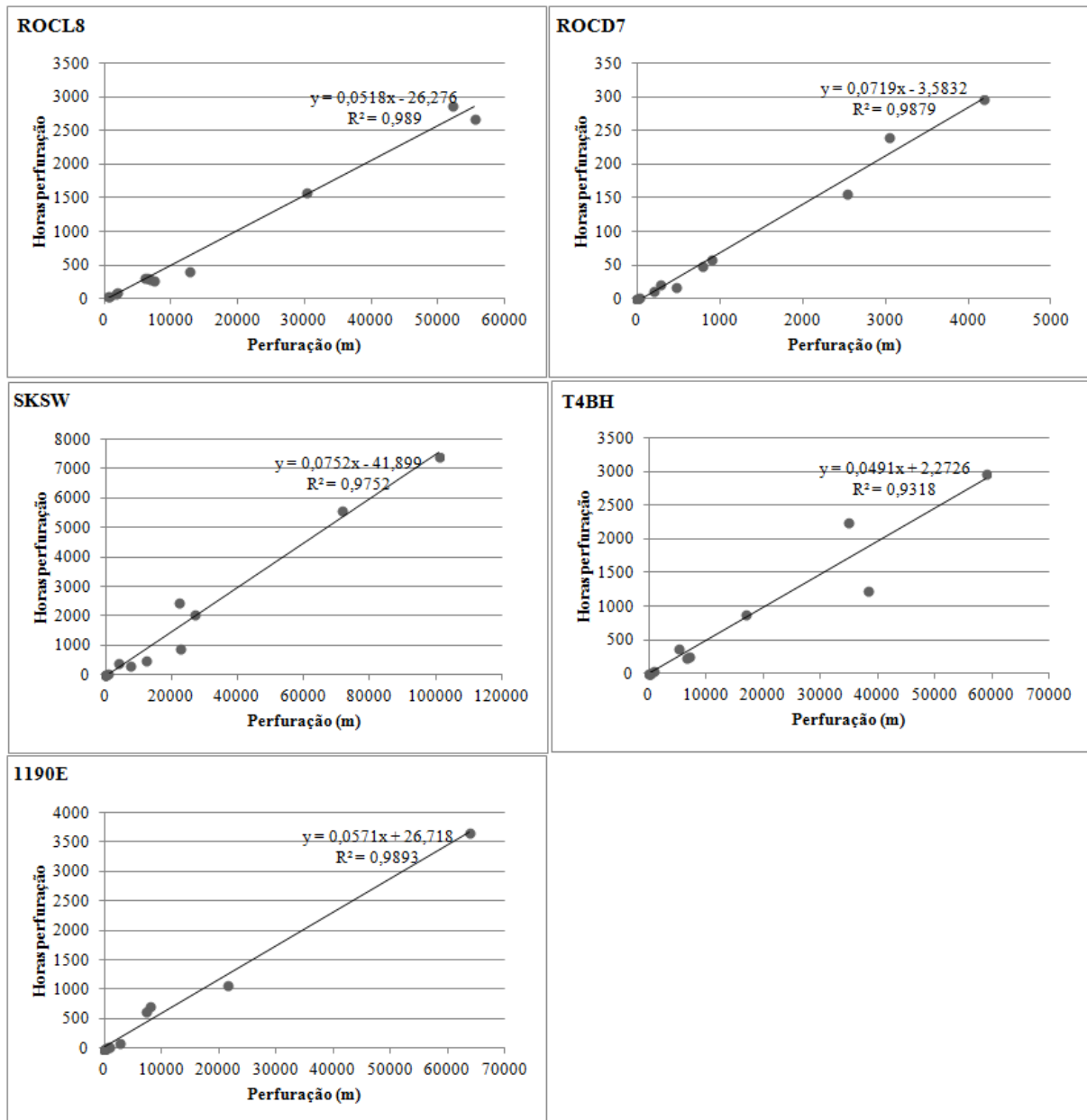


Figura 9 – Relação entre horas de perfuração e metros perfurados para cada frota

O que se pode observar é que o tempo aumenta linearmente em relação aos metros perfurados, e que apesar de existirem pontos isolados, o grau de correlação encontrado para as frotas é considerado alto e, portanto satisfatório, o que indica que o comportamento das frotas segue um padrão.

Ao se realizar a análise de cada litologia em cada frota, percebeu-se que existiam muitos dados que representavam uma metragem de perfuração insignificante, como por exemplo, 2 metros. O que ocorre é que como se está trabalhando com médias, muitas vezes a repetição destes dados pode influenciar na taxa de perfuração de forma a distorcer seu valor. Portanto optou-se por realizar uma filtragem destes valores, que foi feita da seguinte forma:

para cada frota foram separadas as litologias; foi calculado o desvio padrão dos metros perfurados de cada litologia; foram desconsiderados os dados referentes aos metros perfurados menores do que o desvio padrão.

Após a filtragem de dados que poderia ocasionar uma distorção na estimativa da taxa de perfuração, foi calculada pontualmente a taxa de perfuração e a Tabela 4 mostra os valores médios encontrados para cada litologia em cada frota. É importante ressaltar que alguns equipamentos não perfuraram no período analisado algumas litologias, nestes casos optou-se por considerar a taxa de perfuração sendo igual à média calculada para a litologia em questão. Estes valores podem ser observados na Figura 10.

Tabela 4 – Taxa de perfuração (m/h) para cada frota em cada litologia analisada

<b>Litologias</b>	<b>ROCL8</b>	<b>ROCD7</b>	<b>T4BH</b>	<b>SKSW</b>	<b>1190E</b>
Hematita superdura	11,27	11,27	15,88	10,46	11,03
Itabirito superduro	19,94	16,36	14,07	9,74	11,65
Xisto duro	18,64	15,32	15,36	13,13	10,46
Hematita dura	19,03	16,69	19,75	13,75	12,26
Itabirito duro	20,21	17,51	19,75	13,74	17,51
Hematita canga	20,97	18,18	23,98	18,50	20,86
Hematita friável	23,44	26,32	26,71	22,91	34,71
Xisto friável	27,62	27,71	27,85	26,05	30,70
Itabirito friável	36,45	27,71	31,87	25,49	20,85

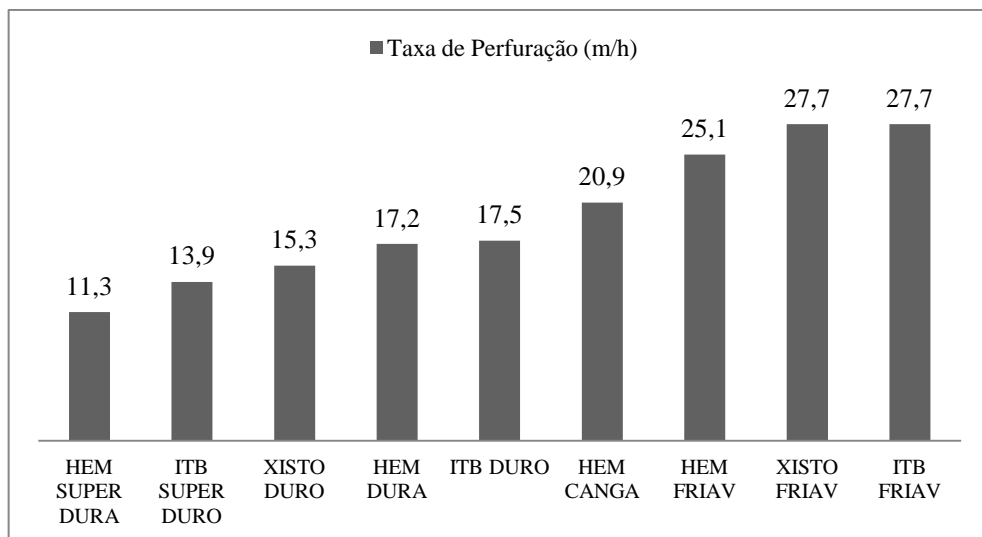


Figura 10 – Média da taxa de perfuração (m/h) por litologia.

Pela Figura 11, pode-se observar que a tendência da taxa de perfuração para todas as frotas é aumentar conforme a rocha se torna mais branda. Como dito anteriormente, algumas

frotas não trabalham em determinadas litologias e o fato de considerarmos a taxa de perfuração média pode acarretar em distorções na tendência da taxa de perfuração da frota em questão.

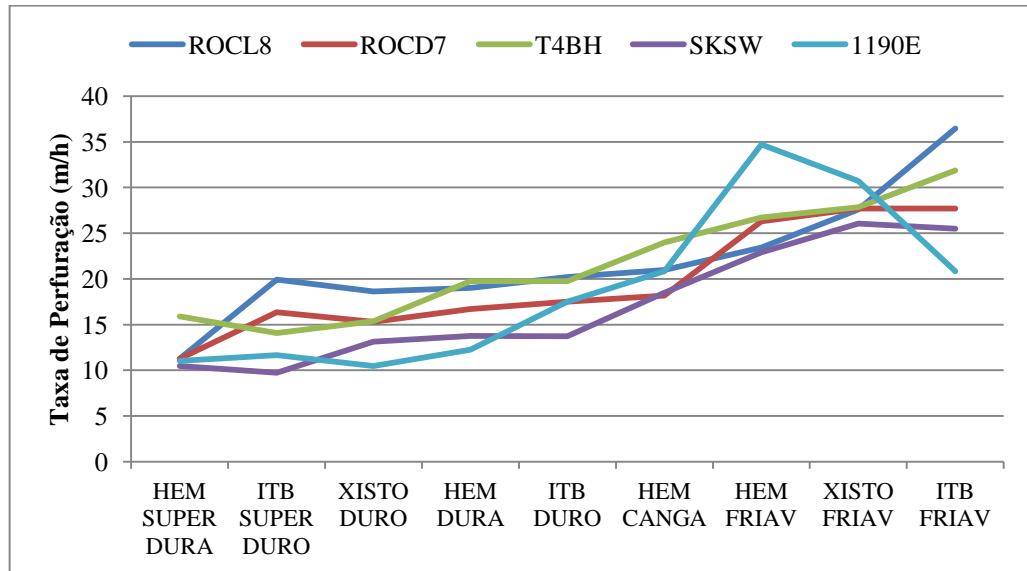


Figura 11 – Taxa de perfuração de cada litologia por frota de perfuratriz.

Pode-se observar que cada equipamento possui sua característica quanto ao tipo de perfuração e, portanto, cada um deles vai possuir uma eficiência de perfuração diferente em relação a cada tipo de rocha, que irá acarretar em taxas de perfuração distintas entre eles, já que cada um possui uma tendência.

### 3.3.3. Estimativa dos Custos de Perfuração

Para a estimativa dos custos de perfuração foram analisados os dados fornecidos pela empresa no período de janeiro a outubro de 2012. Os dados fornecidos são relativos à frota de perfuratrizes e estão divididos em custos de manutenção e custos operacionais por mês, portanto eles não estão distinguidos por equipamento. Esta é uma maneira muito comum de análise de custeio, onde são agrupados os mesmos tipos de equipamento, no caso, pela frota, na tentativa de simplificar a estimativa.

A análise inicial foi feita para compreender qual era a relação de custo entre manutenção e operação no período analisado. Para tanto foi utilizado os relatórios oficiais da empresa que classificam os custos em “manutenção” e “operacionais”. A Figura 12 mostra o



percentual de gastos com as duas categorias em cada mês do período analisado. O que é possível perceber é que os custos variam sem uniformidade e que em todos os meses o custo de manutenção é maior que o custo de operação.

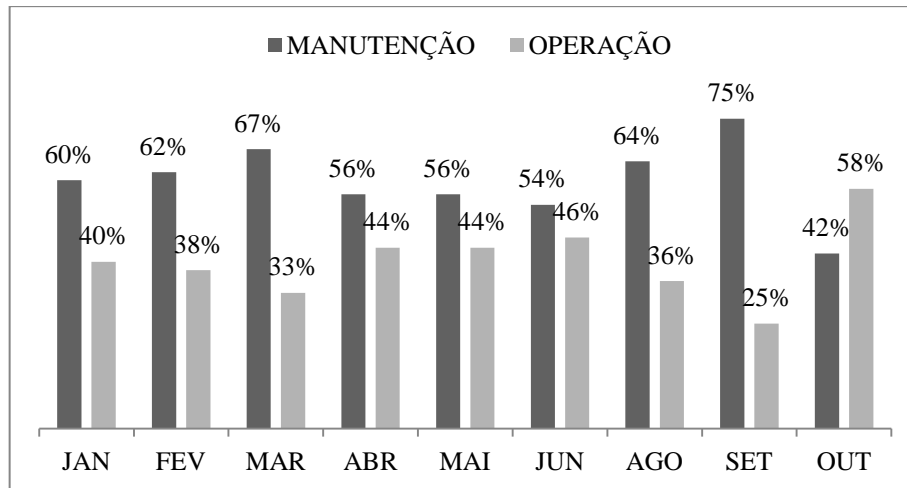


Figura 12 – Porcentagem de gastos com manutenção e operação no mês.

A fim de compreender a relação entre estes custos, foram calculados os percentuais do tempo de manutenção e de operação no mês sobre o tempo total. Apesar de ser observado que os gastos com manutenção são mais elevados que os gastos com a operação, se observa na Figura 13, à esquerda, que o tempo de manutenção dos equipamentos é menor do que o tempo operacional na maioria dos meses e que dentre o tempo de manutenção dos equipamentos encontram-se horas de manutenção programada, preventiva e não programada, esta última que, como pode ser visualizado à direita da Figura 13, representa o maior percentual nos meses analisados, portanto, se pode concluir que os custos mais elevados estão relacionados a manutenções não programadas, ou seja, paradas repentinas.

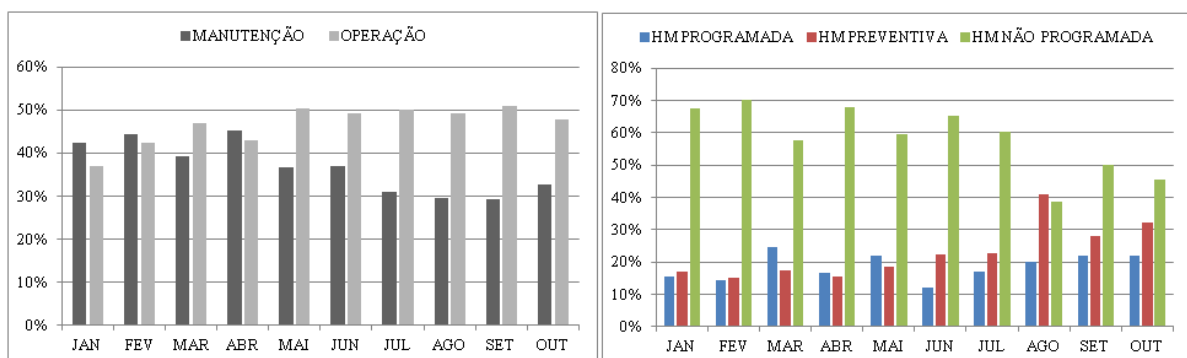


Figura 13 - Porcentagem das horas de manutenção e operação no mês e a discriminação dos percentuais das horas de manutenção.

Ao observarem-se as Figura 12 e Figura 13 no mês de setembro o custo percentual com manutenção é o mais elevado e que o tempo de manutenção é o menor em percentual entre os meses analisados. Isso ocorre pelo fato de que analisando por este ângulo não se pode afirmar qual o equipamento ou frota que ficou em manutenção e nem qual o gasto associado. Portanto optou-se por realizar uma análise considerando as diferentes frotas, procurando obter desta forma uma indicação de perfuratrizes que gastassem mais em manutenção. A Figura 14 indica, portanto, que no período analisado as frotas que mais consumiram em manutenção em relação à operação foram a ROCL8, T4BH e 1190E, ultrapassando 60% do custo total no período.

Ao se refletir sobre este fato, algumas indagações são feitas, tais como: foi mais gasto em manutenção porque o equipamento está mais velho e necessita de mais reparos ou por que a frota trabalhou mais e precisou de mais manutenção?

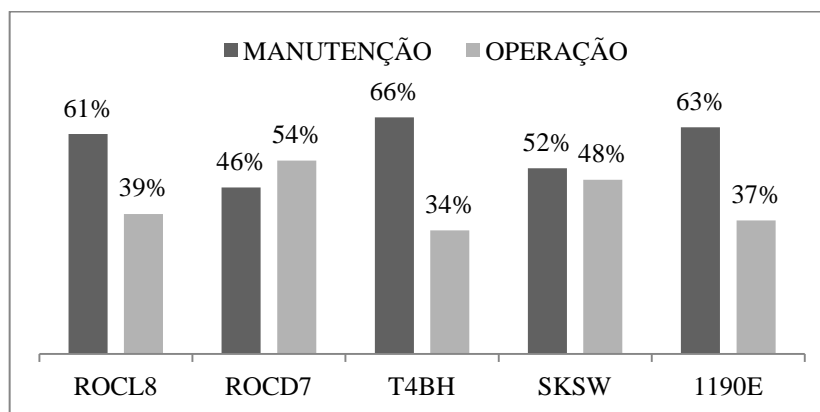


Figura 14 – Porcentagem de gastos com manutenção e operação por frota no período.

Para tentar responder o questionamento foi analisada a relação dos custos com o tempo produzindo de cada frota no período. A Figura 15 resume os custos do período e reproduz ao mesmo tempo as frotas que são mais econômicas, ou seja, produzem mais e gastam menos. No caso a frota SKSW se sobressai dentre as outras, pois os custos associados a sua frota em relação à manutenção e operação é o menor, ou seja, foi gasto praticamente a mesma quantia e ao mesmo tempo ela trabalhou o dobro do que a segunda frota que mais trabalhou.

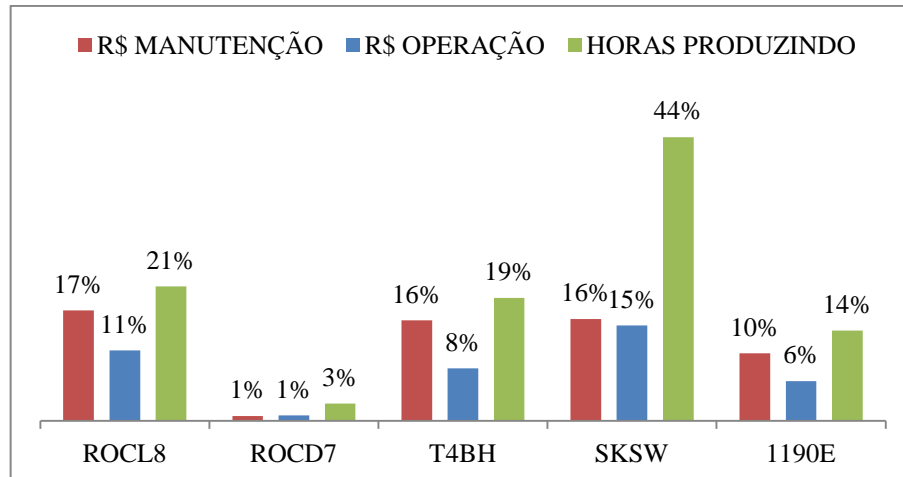


Figura 15 – Percentual dos custos e das horas produzindo por frota sobre o total do período analisado.

Utilizando o mesmo raciocínio, as frotas que são menos econômicas são aquelas que trabalham menos e consomem mais, como mostra a Figura 16. Observa-se que as frotas T4BH e ROCL8 são as que apresentam maiores diferenças entre o custo e o tempo produzindo, o que indica que estas frotas em relação às outras merecem um estudo mais aprofundado, pois como se está tratando por frota e não por equipamento, os dados podem estar sendo distorcidos devido a alguma perfuratriz e não necessariamente representam toda a frota.

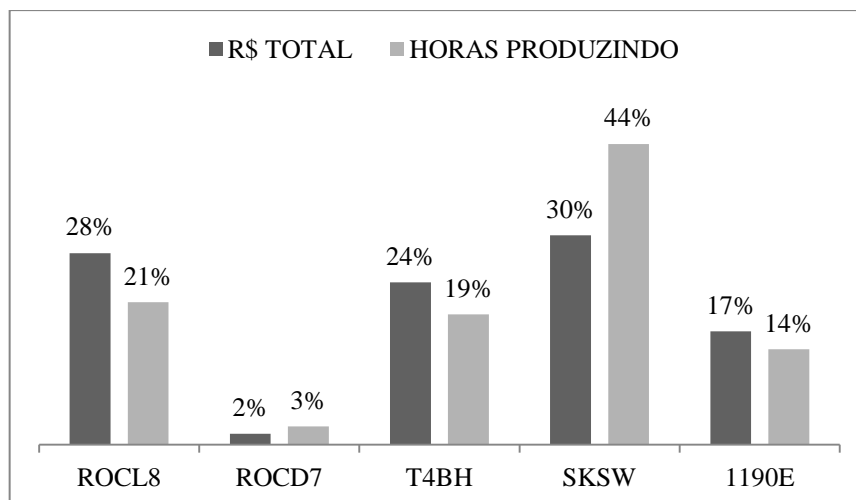


Figura 16 – Percentual do custo total de perfuração e das horas produzindo por frota.

A partir da compreensão das parcelas de custos que representam o total da operação de perfuração é necessário buscar uma estimativa para que se possa aplicar as equações desenvolvidas no capítulo anterior e determinar o custo de perfuração por metro.

### 3.3.3.1. Custo de Depreciação

Para a estimativa do custo de depreciação, é preciso conhecer os valores referentes à aquisição do equipamento e sua vida útil em horas. A metodologia sugerida foi aplicada e foram obtidos os custos de depreciação por hora para cada tipo de frota de perfuratriz, mas como não se possuía um valor residual, optou-se por desconsiderá-lo, ou seja, ao final da vida útil a perfuratriz não terá valor de revenda (Tabela 5).

Tabela 5 – Frotas e o custo de depreciação

Frota	Custo Aquisição (R\$)	Vida Útil (h)	R\$/h
ROCD7	960.000,00	25000	38,4
ROCL8	960.000,00	25000	38,4
SKSW	2.500.000,00	35000	71,4
1190E	2.000.000,00	35000	57,1
T4BH	1.500.000,00	35000	42,9

Na Figura 17 percebe-se que o custo de depreciação é diretamente influenciado pelo preço de aquisição, uma vez que o tempo de vida útil considerado pela empresa é relativamente muito parecido entre as perfuratrizes, sendo diferenciado apenas pelo porte de cada equipamento.

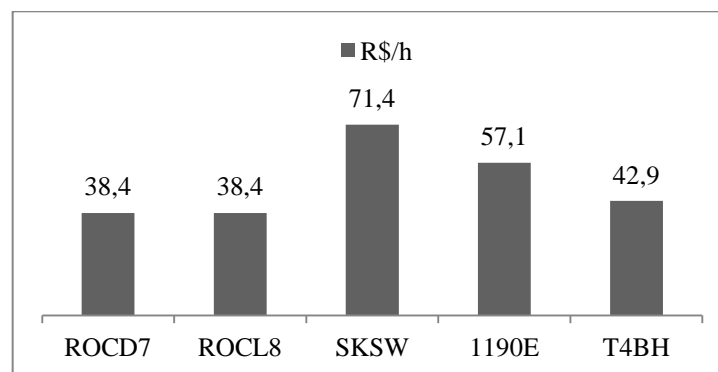


Figura 17 – Custo de depreciação por hora para cada frota.

### 3.3.3.2. Custo de Manutenção

Os custos com manutenção podem ser distinguidos em relação ao tempo de manutenção programado e não programado, mas devido à falta de informações esta relação não foi obtida, portanto foi considerado que a categoria referente aos custos de manutenção

engloba todos os episódios que geram manutenção. O que ficou claro anteriormente é que as manutenções não programadas são os que despendem mais tempo e que, portanto, este custo relacionado a estas paradas é o mais elevado e que devido aos inúmeros acontecimentos distintos que podem ocasionar estes gastos, este é um custo muito complexo de se estimar, uma vez que não possui um padrão de ocorrência.

Os dados fornecidos nos relatórios oficiais sobre a manutenção englobavam alguns custos, cujos quais não foi possível determinar a procedência, como custos com “contratos”, “diversos” e “outros”. Estes custos juntos somavam mais de 50% do total e, portanto são relevantes para a estimativa, mas como não se pode afirmar com quais variáveis estão vinculados, optou-se por trabalhar com os custos de manutenção fornecidos pela própria oficina. Estes custos estão detalhados quanto ao tipo de gasto com cada frota, mas não possui o custo com mão de obra, este que foi trazido dos relatórios oficiais.

Com os dados distinguidos (peças, mão de obra) por mês e por frota, optou-se por buscar uma correlação deste valor com outras variáveis, como a produção (em metros perfurados), as horas trabalhadas e as horas em manutenção. Observou-se que em alguns meses determinada frota não operou, ou seja, ela ficou em manutenção, e teve um custo associado a este período. Isso significa que o custo de manutenção está associado às horas de manutenção, como pode ser observado na Figura 18.

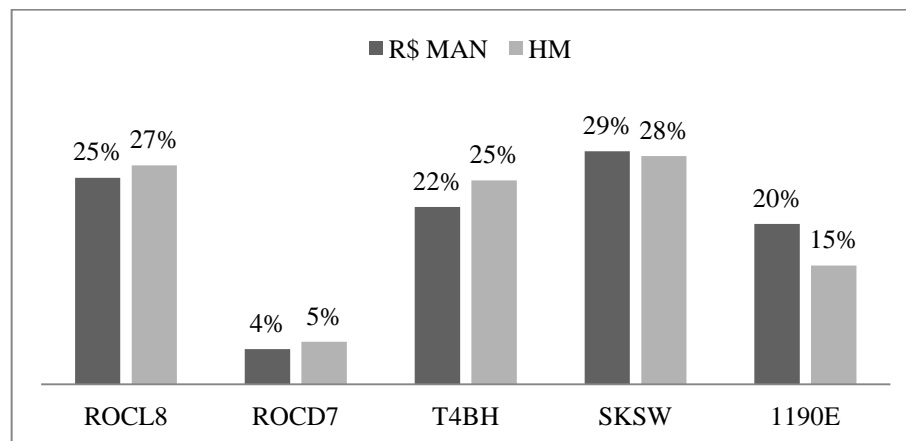


Figura 18 – Percentual de custo de manutenção (R\$MAN) total e horas de manutenção (HM) no período analisado.

A partir desta relação foi possível calcular o custo de manutenção por hora de manutenção para cada frota em cada mês do período analisado. A Figura 19 mostra a média dos valores encontrados para cada frota de perfuratriz.

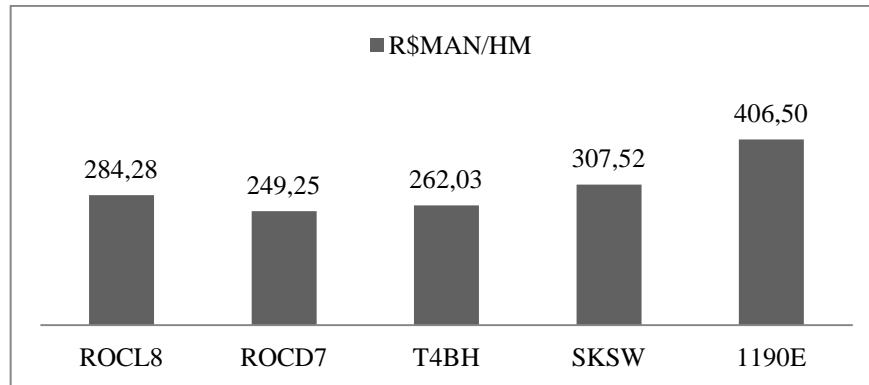


Figura 19 – Custo de manutenção por horas de manutenção para cada frota.

A relação faltante seria conhecer o padrão de ocorrência das horas de manutenção. Sabe-se que quanto mais dura é a litologia perfurada, maior desgaste o equipamento sofrerá e, portanto, maior necessidade de manutenção terá. Ou seja, se um equipamento perfurou em um mês apenas litologias brandas e no outro mês apenas litologias mais resistentes, ele consumiu mais em manutenção no segundo mês. O problema no caso analisado é que os equipamentos perfuram aleatoriamente as litologias, tornando a relação de produção (metros perfurados) e horas de manutenção difíceis de relacionar.

Na busca por esta relação, elaborou-se um fator, que acrescenta um peso maior nas litologias mais resistentes e um peso menor nas litologias brandas, ajustando a produção em função do mesmo. A equação 21 define o peso, sendo que para taxas de perfuração altas (litologias brandas) ele é pequeno e para baixas (litologias resistentes) ele é alto.

$$\text{peso}(w) = 100 / \text{taxa de perfuração} \quad (21)$$

A partir do peso é necessário ajustar a produção (metros perfurados) em relação ao mesmo. Para tal a equação 22 define este ajuste como sendo o peso multiplicado pelos metros perfurados. Este ajuste foi realizado pontualmente para cada litologia, em cada frota, em cada mês.

$$\text{produção}_w = w * \text{produção} \quad (22)$$

Com a produção ajustada se faz a ponderação (equação 23) das horas de manutenção, que estão distinguidas por frota e por mês, tornando a relação mais precisa, uma vez que tanto as horas de manutenção, quanto a taxa de perfuração estão classificadas desta forma.

$$HM_w = \frac{(\sum HM \text{ mês}) * produção_w}{\sum produção_w \text{ mensal}} \quad (23)$$

O resultado desta aplicação representa as horas de manutenção necessárias por litologia e por frota. Sendo assim, aplica-se a equação 24 e se obtém as horas de manutenção necessárias por metro de litologia.

A Figura 20 representa a equação da reta que melhor se ajusta aos pontos que representam a média dos valores encontrados para cada litologia. A partir desta equação podem-se estimar as horas de manutenção necessárias por metro em função da taxa de perfuração. Com os dados calculados é possível aplicar a equação 25 que resume o custo de manutenção por metro perfurado, levando em consideração o equipamento em ambas as parcelas, uma vez que não apenas o custo varia com a frota, mas também com a taxa de perfuração.

$$HM/m = \frac{HM_w}{produção} \quad (24)$$

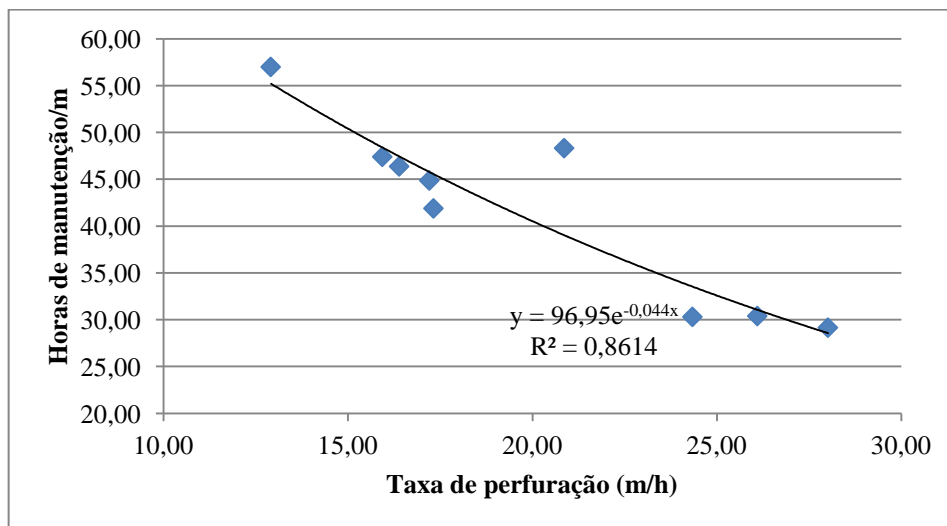


Figura 20 – Relação entre as horas de manutenção por metro e a taxa de perfuração.

$$R\$/m = \frac{R\$}{HM} * \frac{HM}{m} \quad (25)$$

### 3.3.3.3. Custo de Mão de Obra

Para a estimativa do custo de mão de obra operacional foi primeiramente analisada a relação existente deste custo com as horas trabalhadas, uma vez que este custo só poderá ser associado ao equipamento que está em operação e a categoria horas trabalhadas engloba não apenas o tempo que o equipamento perfurou, mas também o seu deslocamento. A Figura 21 mostra esta relação, e que considerando o coeficiente de correlação satisfatório, optou-se por utilizar a mesma.

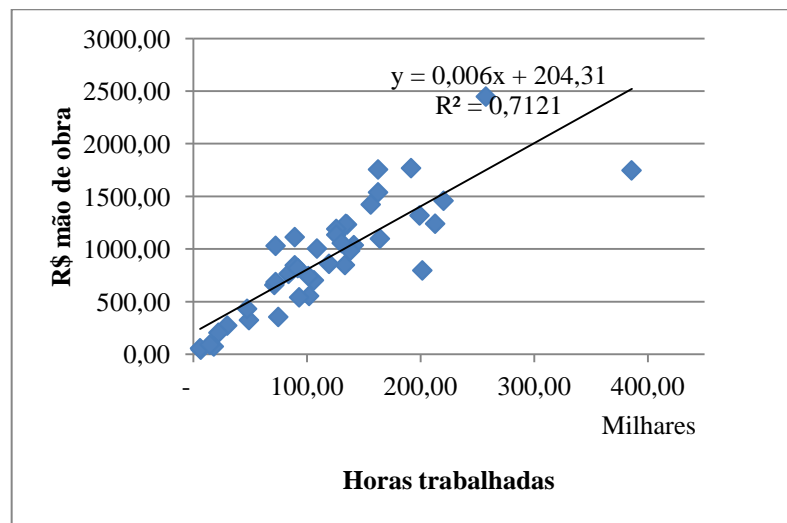


Figura 21 – Relação entre o custo de mão de obra e as horas trabalhadas no mês e por frota.

Como cada equipamento possui uma necessidade distinta de operador, optou-se por manter a distinção do custo por frota, como mostra a Figura 22. Mesmo os custos sendo distintos, a média é de R\$ 109,00 por hora trabalhada.

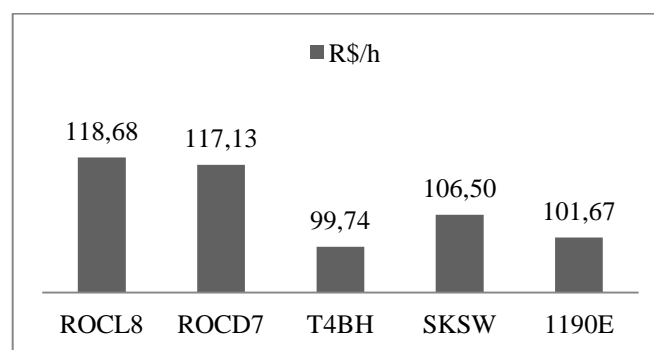


Figura 22 – Custo de mão de obra por hora para cada frota de perfuratriz.



### 3.3.3.4. Custo de Combustível e Energia

O custo de combustível varia conforme o consumo do equipamento, portanto foram analisados os dados referentes ao consumo de diesel por horas trabalhadas no período para as frotas ROCD7, ROCL8, SKSW, T4BH, apenas a frota 1190E opera com motor elétrico. A partir das planilhas de controle de consumo de diesel por equipamento e possuindo as horas trabalhadas de cada um, foi feita a estimativa de R\$ diesel/hora trabalhada e posteriormente os equipamentos foram agrupados em frotas e calculada a média do período. O custo do diesel foi obtido pelos mesmos dados, uma vez que além do consumo de diesel foi fornecido o gasto com o mesmo, sendo possível obter o R\$/litro de diesel.

Para a frota 1190E não foi possível realizar uma estimativa do consumo de energia por hora baseado nos dados reais, uma vez que não havia os mesmos, portanto realizou-se uma estimativa do que o equipamento consome por hora baseado na capacidade instalada (Gokhale, 2011). A Tabela 6 e Figura 23 mostram os valores calculados de consumo e custo por hora trabalhada de diesel/ energia para cada frota.

Tabela 6 – Frotas de perfuratrizes e o custo final de combustível/energia por hora

Frota	Tipo de motor	Consumo/h (l/h ou kWh)	Custo (R\$/l ou R\$/kWh)	R\$/h
ROCD7	Diesel	78,21	1,13	88,22
ROCL8	Diesel	42,96	1,13	48,46
SKSW	Diesel	76,45	1,13	86,24
1190E	Elétrico	420,72	0,15	63,11
T4BH	Diesel	98,34	1,13	110,93

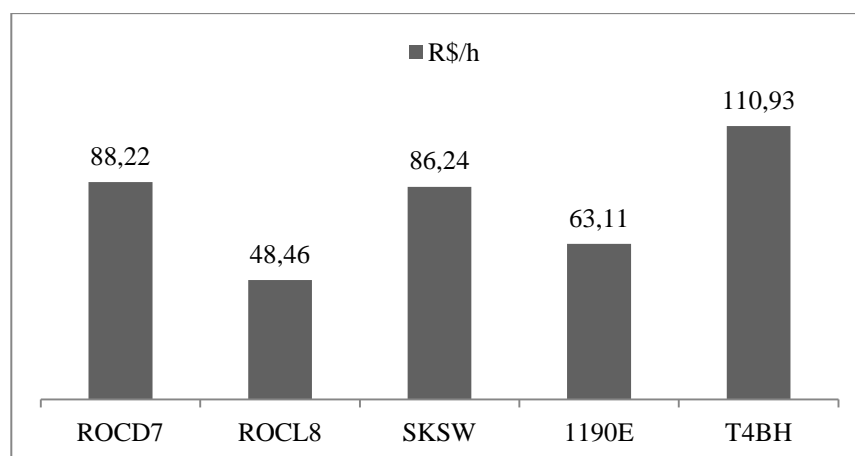


Figura 23 – Custo de diesel/energia por hora trabalhada para cada frota

### 3.3.3.5. Custo de Materiais de Reposição

Este custo envolve o consumo de materiais durante o processo de perfuração e são considerados acessórios, que incluem: *bits*, hastes, martelos, etc. Os dados referentes a estes custos fornecidos pela empresa não estava distinguidos por frota ou equipamento, mas apenas estavam representados pela soma total do que foi consumido mensalmente.

Para buscar uma relação do que foi consumido com as frotas, procurou-se estabelecer uma conexão entre o custo com estes materiais (R\$/m) e a produção (metros perfurados) no mês, que está representado na Figura 24. Pode-se observar que não existe uma relação visível entre as duas variáveis.

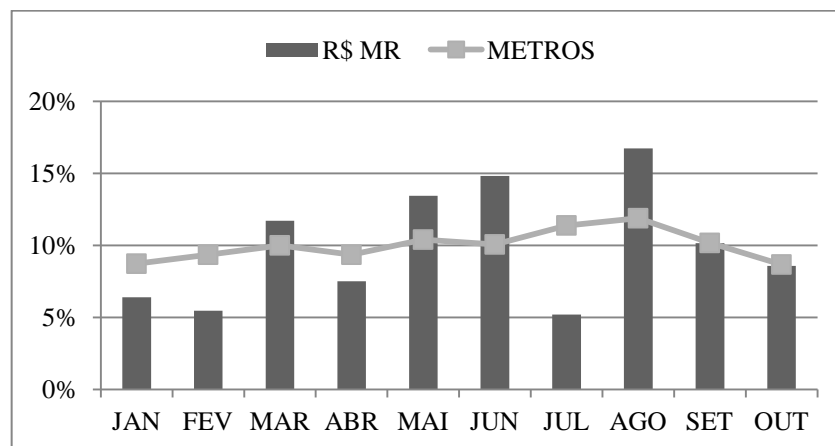


Figura 24 – Percentual do custo de materiais de reposição e dos metros perfurados no período analisado.

Entendendo que quanto mais resistente for a litologia, maior será o consumo destes materiais, o mesmo raciocínio aplicado ao custo de manutenção foi aplicado aqui, com o diferencial que não irá se ponderar as horas de manutenção, mas o custo com os materiais de reposição, como apresentado na equação 26.

$$R\$_w = \frac{(\sum \text{custo mês}) * \text{produção}_w}{\sum \text{produção}_w \text{ mensal}} \quad (26)$$

O resultado deste ajuste da produção e da distribuição do custo dos materiais de reposição em função da taxa de perfuração é o custo ponderado por esta última e para obter o mesmo por metro perfurado, basta aplicar a equação 27.

$$R\$/m = \frac{R\$_w}{\text{produção}} \quad (27)$$

O resultado desta estimativa pode ser observado na Figura 25, onde os pontos representam a média dos custos por metro e a taxa de perfuração calculada para cada litologia analisada, ou seja, a partir da taxa de perfuração se pode estimar qual o custo com materiais de reposição, se a rocha for branda a taxa é maior e o custo menor e o inverso também são verdadeiros.

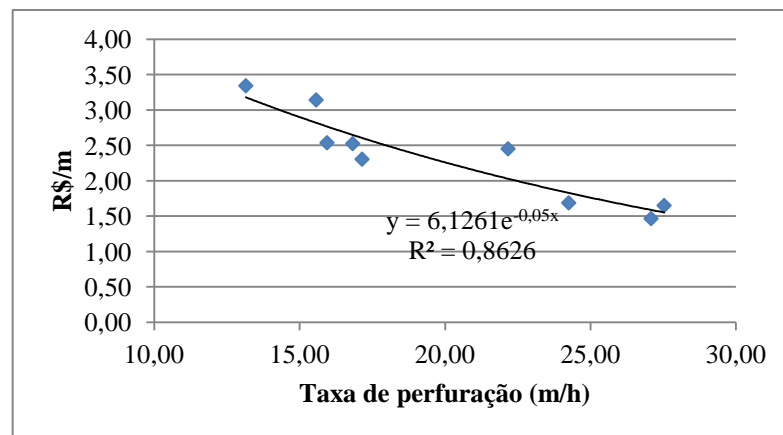


Figura 25 – Relação entre o custo de materiais de reposição e a taxa de perfuração.

### 3.3.3.6. Custo de Perfuração por metro

Todas as estimativas apresentadas anteriormente foram obtidas para a determinação do custo de perfuração por metro perfurado. Este custo é fundamental, uma vez que se está trabalhando com furos de desmonte que variam conforme o plano de fogo.

A Figura 26 mostra os valores encontrados depois de aplicado o somatório dos custos de perfuração apresentados no capítulo anterior. O que se pode observar é o aumento do custo em função do aumento da resistência da rocha para todas as categorias analisadas e frotas.

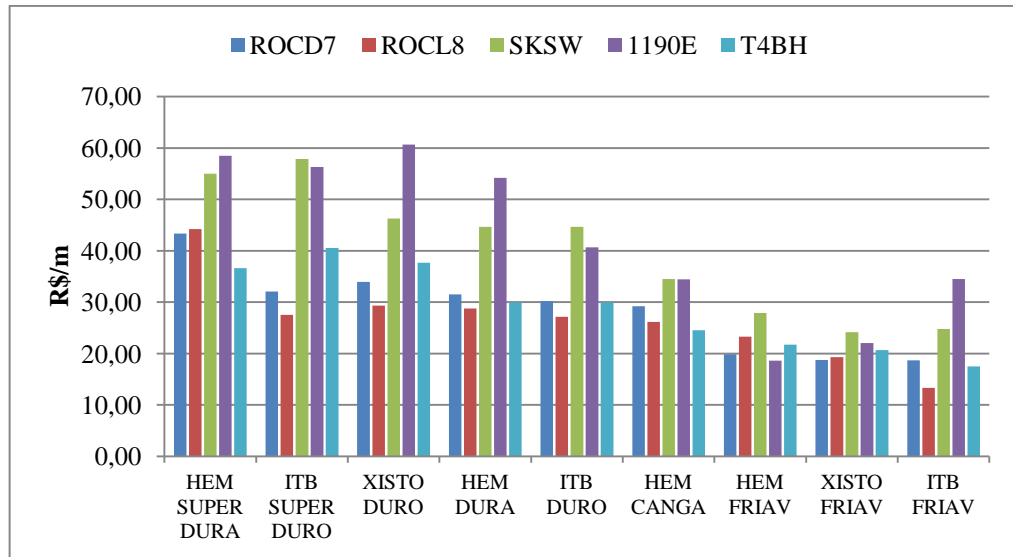


Figura 26 – Custo de perfuração por metro e por frota para as diferentes litologias.

Mais importante do que saber quais os custos finais obtidos é conhecer a relação entre as parcelas do mesmo. Para tanto foi calculada a média das porcentagens do custo de perfuração para cada frota, representada pela Figura 27. O que fica evidente é que os custos de manutenção por metro são muito maiores em relação aos outros, fato este que era esperado devido os valores encontrados previamente na seção 3.2.3.

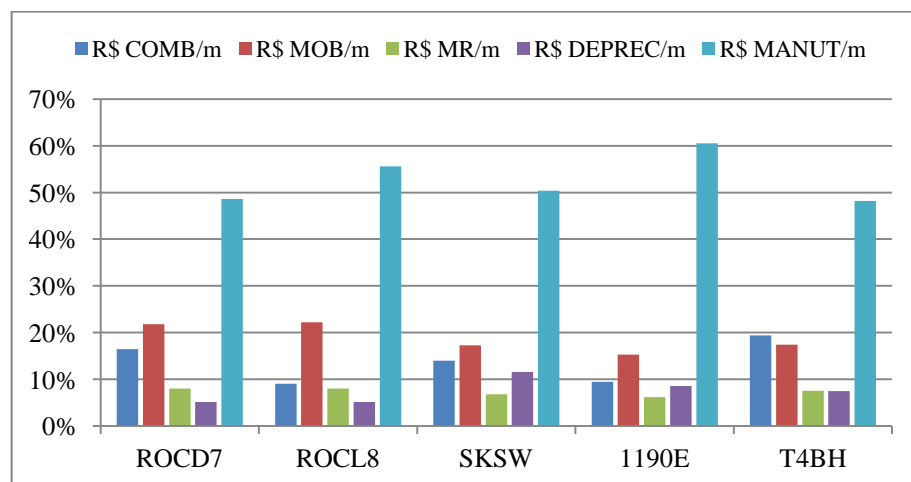


Figura 27 – Percentual médio das parcelas do custo total de perfuração por frota.

### 3.4. DESMONTE

O desmonte de rocha é feito por bancadas e os explosivos principais utilizados são o ANFO e a emulsão. O ANFO é fabricado dentro da própria empresa, com emprego de mistura

de nitrato de amônio, casca de arroz e óleo lubrificante descartado, oriundo dos equipamentos. Uma grande porcentagem dos desmontes é feita com emulsão, como pode ser observado na Figura 28, devido ao fato de muitos furos conterem água, cuja situação não é indicada a utilização do ANFO. Ela é fornecida por uma contratada, terceirizando o carregamento e detonação das bancadas que utilizam este explosivo.

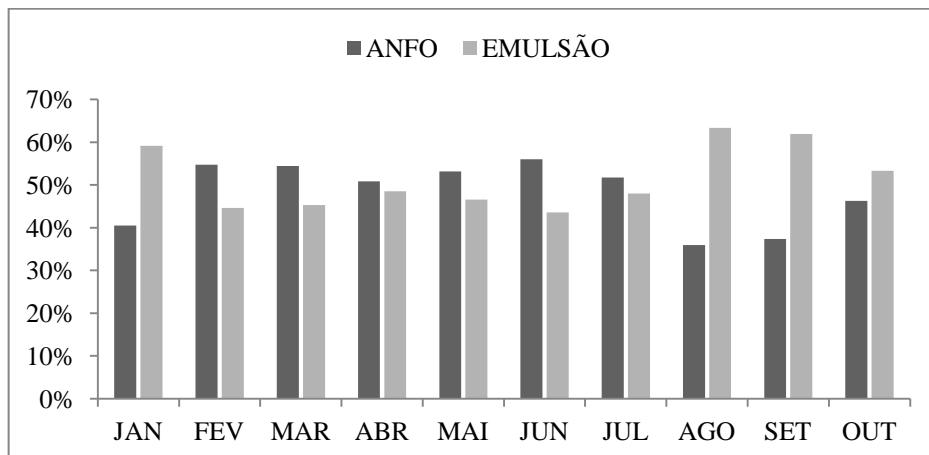


Figura 28 – Percentual de utilização de ANFO e emulsão por mês do período analisado.

Os dados que foram analisados são referentes aos boletins de fogo fornecidos pela empresa. Estes tem a finalidade de controlar e monitorar a qualidade dos desmontes realizados e deve representar da forma mais fiel possível, a realidade executada em campo, já que muitas vezes o responsável não tem condições de acompanhar todos os desmontes, portanto é fundamental a exatidão dos dados para com a realidade executada.

A Figura 29 apresenta o total de toneladas fragmentadas por mês no período analisado. Ao comparar com a Figura 30, observa-se que a diminuição das toneladas no primeiro mês do ano ocorreu devido à precipitação elevada, que cria dificuldades para a operação da mina.

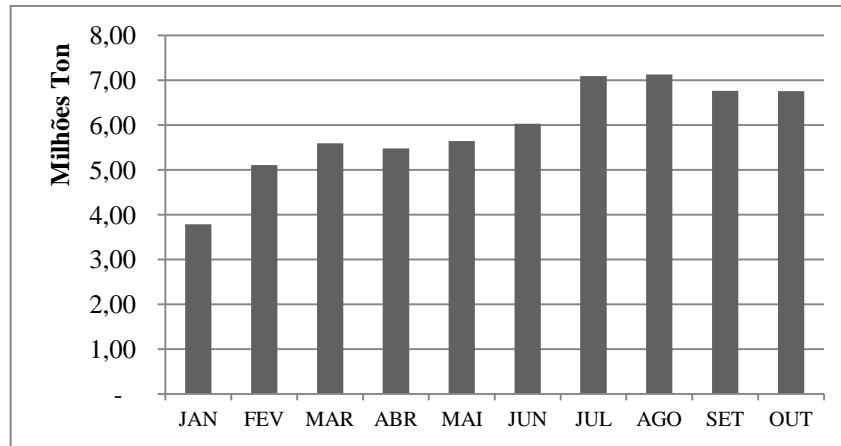


Figura 29 – Milhões de toneladas fragmentadas por mês do período analisado.

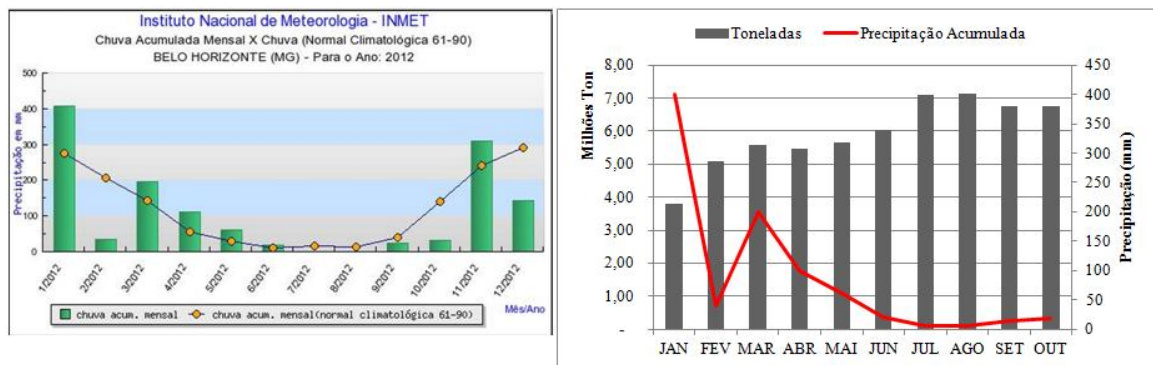


Figura 30 – Precipitação acumulada em mm para a região.

Fonte: <http://www.inmet.gov.br> - (24/07/2013)

### 3.4.1. Custos de Desmonte

Os custos relacionados ao desmonte são determinados pelo consumo direto de material no furo e pelos valores de transporte e mão de obra que foram estimados nesta análise.

#### 3.4.1.1. Explosivos

A mina utiliza como principais explosivos o ANFO e a emulsão, além de emulsão encartuchada, muito utilizada em desmontes secundários, e que não irão entrar na análise de custo apresentada.

O ANFO, por ser fabricado dentro da própria mina, acaba tendo um valor econômico maior, principalmente pelo fato de que a fábrica deste explosivo atende a toda a região,

fabricando grandes volumes nos quais o custo final fica diluindo. A Figura 31 apresenta os valores do explosivo ANFO durante o período analisado e o custo médio de R\$ 0,81 por kg que foi utilizado nos cálculos de custo de desmonte por furo.

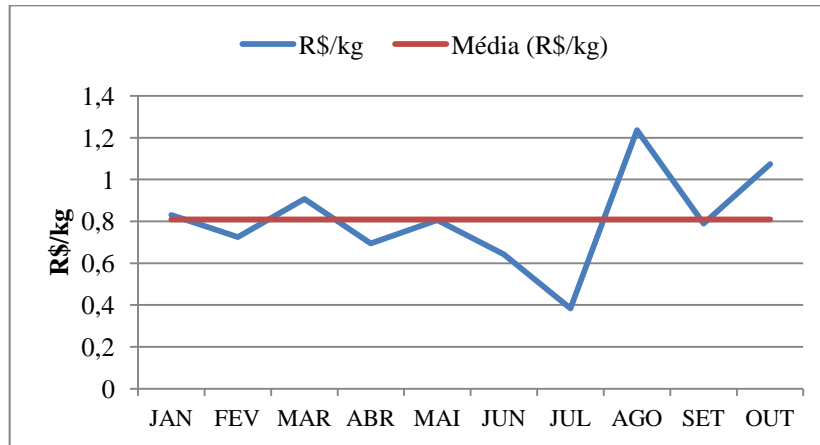


Figura 31 – Custo do ANFO por kg e por mês e o valor da média.

O custo da emulsão foi retirado dos valores repassados pela contratada que foi de R\$ 1,96 por kg de emulsão. O resultado da relação entre ambos pode ser visualizado na Figura 32, onde fica evidente a diferença entre os custos, sendo o valor da emulsão maior que o dobro do custo do ANFO.

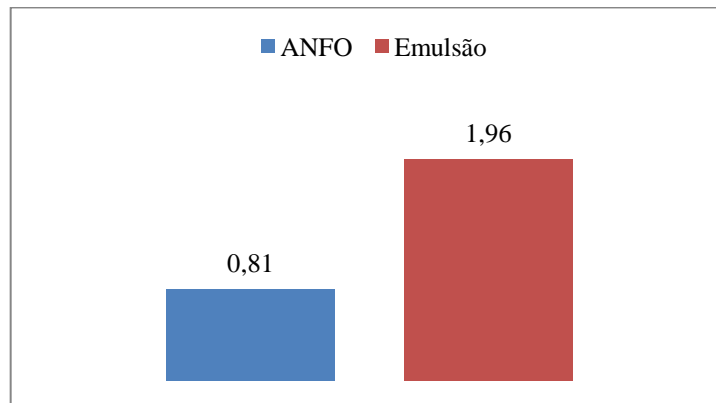


Figura 32 – Custo dos explosivos utilizados nos cálculos de desmonte por furo em R\$/kg.

#### 3.4.1.2. Acessórios

Todos os acessórios que são utilizados na mineradora são fornecidos pela mesma contratada que fornece a emulsão. Os valores deles são unitários e estão distinguidos na Tabela 7. Cada furo irá utilizar determinada quantidade de acessórios, portanto para saber

qual o custo destes por furo, foi necessário estimar o consumo deles. Para esta estimativa foram escolhidos os valores apresentados na última coluna da Tabela 7. Todos os valores são estimados, uma vez que a sua utilização vai depender do operador em campo.

Tabela 7 – Tipos de acessórios considerados na análise e o custo unitário

Acessório	Tipo unidade	R\$/unidade	Unidades/furo
Booster_350	Peça	11,1	1
Booster_450	Peça	11,1	1
Booster_1000	Peça	26,2	1
Retardo	Peça	4,4	1
Cordel	Metro	0,44	15
Excel	Peça	5,1	1
Estopim 1,20 m	Peça	3,3	Total = 2
Espoleta Eletrônica	Peça	76,3	1

#### 3.4.1.3. Mão de Obra

A análise da mão de obra teve de ser feita de duas formas distintas, tendo em vista que quando se utiliza ANFO se está utilizando a mão de obra da empresa, mas quando se utiliza emulsão, a mão de obra é oriunda da contratada. Para esta estimativa foram utilizados os dados apresentados na Tabela 8 que estão divididos em mão de obra da empresa e da contratada.

Tabela 8 – Dados utilizados para o cálculo do custo de mão de obra utilizada no desmonte

Mão de obra	Empresa	Contrata
Salário <i>Blaster</i> (R\$/h)	R\$ 130,00	R\$ 160,00
Salário assistente (R\$/h)	R\$ 90,00	R\$ 100,00
Custo mão de obra (R\$/m <sup>3</sup> )	0,35	0,46

Foi determinado para a mão de obra da empresa que o custo de salário seria aproximado com o custo de mão de obra operacional de perfuração e que o salário do *blaster* deveria ser superior ao do assistente. Para a mão de obra da contratada os valores foram aproximados segundo os valores encontrados em Rajpot (2009).



#### 3.4.1.4. Transporte

O custo do transporte também é diferenciado para ANFO e emulsão pelas mesmas condições expostas na mão de obra. Portanto existem duas categorias a serem analisadas: custo pela empresa e pela contratada.

Tabela 9 – Custo por quilo de explosivo transportado para ANFO e emulsão

<b>Custo de transporte</b>	<b>R\$/kg</b>
Custo por kg transportado ANFO	0,5
Custo por kg transportado Emulsão	0,75

A Tabela 9 mostra os valores que foram utilizados no cálculo do transporte, onde se considerou que o custo pela contratada seria 50% maior que o custo da empresa para fins didáticos. Os valores apresentados foram aproximados para a moeda corrente segundo aqueles encontrados em Rajpot (2009).

### 3.5. PLANO DE FOGO

Para determinar qual o custo final do processo é imprescindível analisar o plano de fogo associado ao mesmo, uma vez que as decisões feitas nesta etapa são as responsáveis pelas variações do custo final a ser obtido. Devido à complexidade e ao grande número de variáveis que compõe esta análise, optou-se por determinar ao final o custo por furo de desmonte e por m<sup>3</sup> de rocha fragmentada para as diferentes situações simuladas.

No estudo de caso analisado, os principais parâmetros de entrada e que irão moldar o processo são:

- A litologia;
- A altura da bancada;
- O comprimento da bancada;
- O diâmetro do furo;
- O tipo de explosivo.

Estes parâmetros são variáveis e são dados reais retirados do campo e do planejamento de mina. Eles irão servir de entrada para a estimativa do plano de fogo inicial, este que irá fornecer o comprimento dos furos e a razão de carga, parâmetros fundamentais

para estimativa do custo, uma vez que o primeiro é vinculado ao consumo de perfuração e o segundo ao consumo de explosivo. A seguir será apresentada a metodologia de estimativa e modelamento do plano de fogo empregada neste trabalho.

### 3.5.1. Concentração de Carga

A estimativa inicial consiste em determinar a quantidade de explosivo necessária a ser utilizada por metro de furo. Para a sua determinação é necessário conhecer o diâmetro do furo e o grau de empacotamento referente ao explosivo, onde na análise feita, o ANFO possui um grau menor do que a emulsão. Para a sua determinação, Olofsson (1990) sugere a equação 28.

$$L_b = 7,85 * d^2 * p \quad (28)$$

Onde  $L_b$  é a concentração de carga (kg/m);  $d$  é o diâmetro do furo (mm);  $p$  é o grau de empacotamento do explosivo (kg/litro).

A Figura 33 mostra que com o aumento do diâmetro do furo a diferença na concentração de carga para ANFO e emulsão também aumenta, ou seja, é necessária uma concentração de carga maior para furos que utilizam emulsão do que para furos que utilizam ANFO.

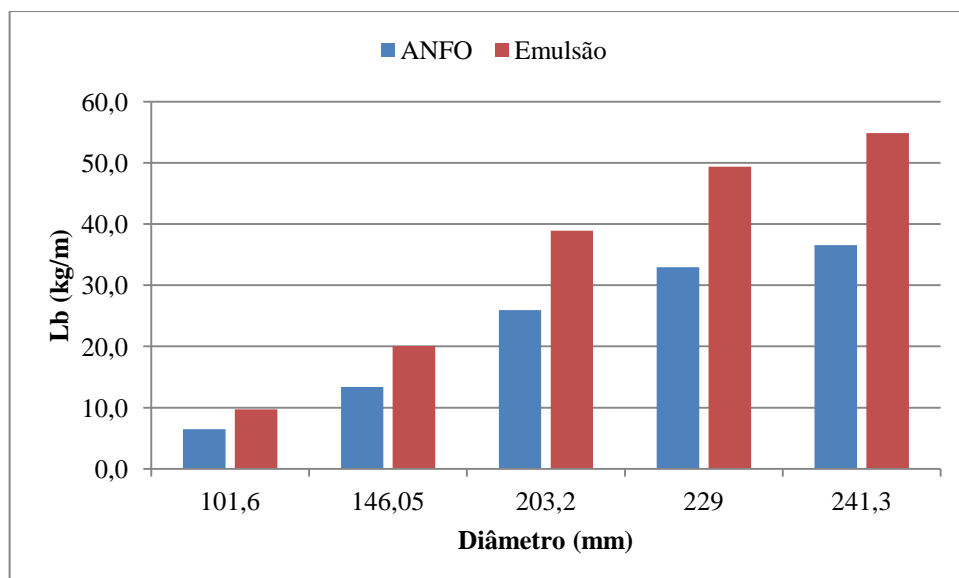


Figura 33 - Relação entre a concentração de carga para diferentes diâmetros

### 3.5.2. Afastamento

O afastamento da bancada é referente ao espaço entre a face livre do banco e a linha de furos e a distância entre linhas. O valor do afastamento depende de uma série de combinações de fatores que incluem as características da rocha e o tipo de explosivo utilizado, entre outros. Um método preliminar de estimativa da variável que é amplamente aplicado se baseia na razão do afastamento definido por Ash (1963 *apud* Hustrulid, 1999)<sup>2</sup> segundo a equação 29.

$$B = K_B * D \quad (29)$$

Onde B é o afastamento (m);  $K_B$  é a razão do afastamento; D é o diâmetro (mm).

Na Tabela 10 estão especificados os valores utilizados para a estimativa do afastamento em função do  $K_B$ . Como se pode observar ele varia conforme a rocha, que no caso foi utilizada a propriedade referente à densidade da mesma e em função do tipo de explosivo, quando menor a densidade do mesmo, menores são os valores da constante  $K_B$  devido à energia associada ao mesmo.

Tabela 10- Valores de  $K_B$  utilizados em função do explosivo e densidade da rocha

<b>Litologia</b>	<b>ANFO</b>	<b>EMULSÃO</b>
HEMATITA FRIÁVEL	20	30
HEMATITA DURA	20	30
HEMATITA SUPER DURA	20	30
ITABIRITO FRIÁVEL	20	30
ITABIRITO DURO	20	30
ITABIRITO SUPER DURO	20	30
XISTO FRIÁVEL	25	35
XISTO DURO	25	35
HEMATITA CANGA	25	35

Pode-se observar que para uma dada litologia, quanto maior o diâmetro do furo maior será o afastamento como apresentado na Figura 34.

<sup>2</sup> Ash, R. L. **The mechanics of rock breakage**. 1963. *Apud* Hustrulid.

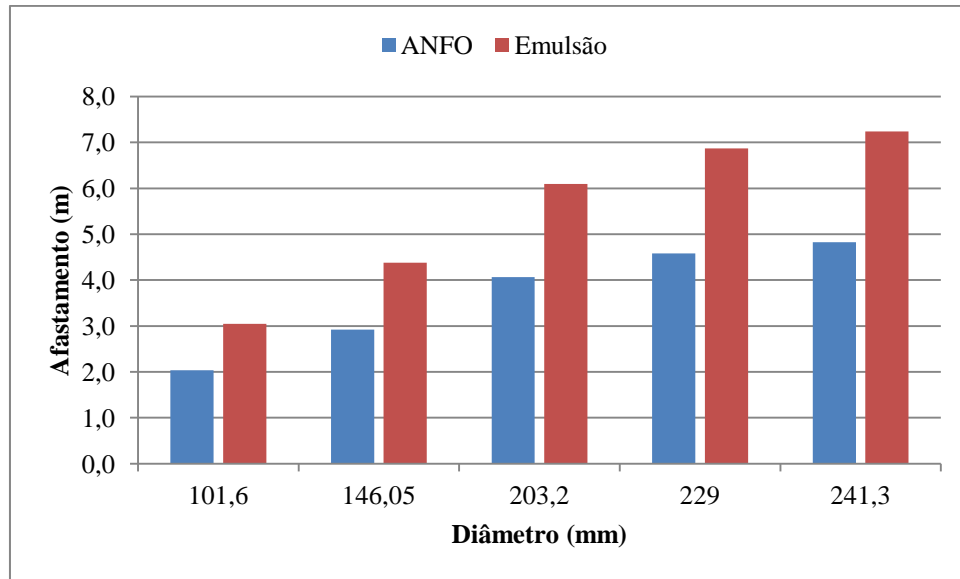


Figura 34 – Afastamento da bancada para diferentes diâmetros para ANFO e emulsão, litologia hematita.

### 3.5.3. Espaçamento

O espaçamento é a medida referente ao espaço em metros entre um furo e outro. Ela é medida diretamente em função do afastamento e segundo Olofsson (1990) uma boa estimativa é dada pela equação 30.

$$S = 1,25 * B_{max} \quad (30)$$

Onde:  $S$  é o espaçamento (m);  $B_{max}$  é o afastamento (m).

### 3.5.4. Subfuração

A subfuração é necessária devido ao posicionamento da carga em relação à bancada. Quando maior o diâmetro do furo, maior será a concentração de carga, maior o afastamento e por consequência, a subfuração. Para a sua estimativa Olofsson (1990) propõe a equação 31, que considera a subfuração como sendo cerca de 30% do afastamento.

$$U = 30\% * B_{max} \quad (31)$$

Onde:  $U$  é a subfuração (m);  $B_{max}$  é o afastamento (m).

### 3.5.5. Profundidade dos furos

Para determinar a profundidade dos furos é necessário considerar dois fatores: a altura da bancada e a subfuração. Para sua estimativa Olofsson (1990) sugere a equação 32.

$$H = 1,05 * (K + U) \quad (32)$$

Onde:  $H$  é a profundidade (m);  $K$  é a altura da bancada (m);  $U$  é a subfuração (m).

A Figura 35 mostra que a profundidade furo aumenta com o diâmetro do mesmo para uma bancada de mesma altura, apenas considerando a variação na subfuração. Quanto maior o diâmetro maior a diferença para os dois tipos de explosivos, fato que ocorre devido à concentração de carga.

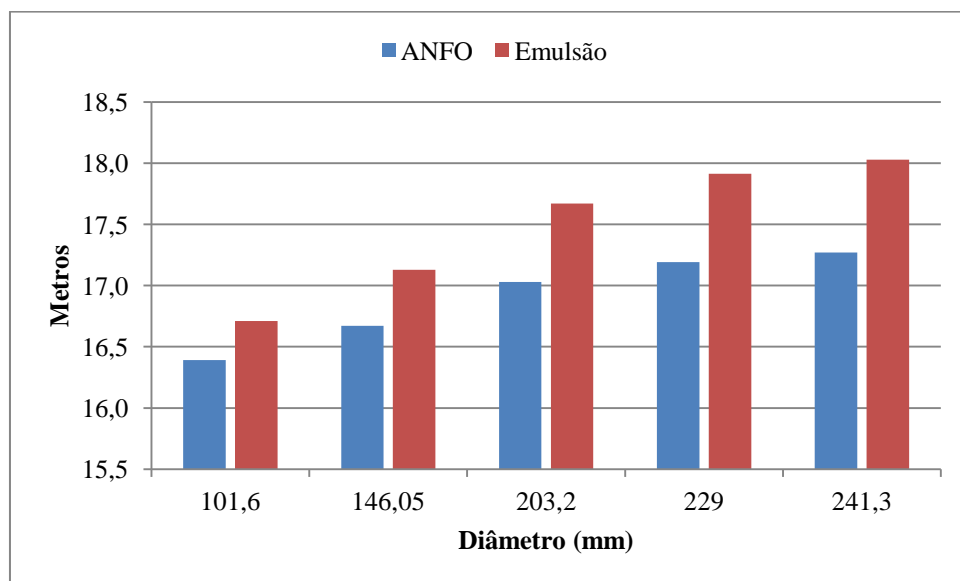


Figura 35 – Relação entre a profundidade dos furos e os diferentes diâmetros para ANFO e emulsão, litologia hematita.

### 3.5.6. Tampão

O tampão é o material que é colocado por cima da carga de explosivos dentro do furo para conter a energia da explosão e direcioná-la para o maciço. Ele é função direta do afastamento e pode ser estimado utilizando o mesmo valor do afastamento (Hustrulid, 1999), como apresentado na equação 33.

$$T = B \quad (33)$$

A Figura 36 mostra que o aumento do tampão em relação ao aumento do diâmetro é mais expressivo do que o aumento da profundidade do furo e que em ambos os casos ele é maior para emulsão do que para ANFO.

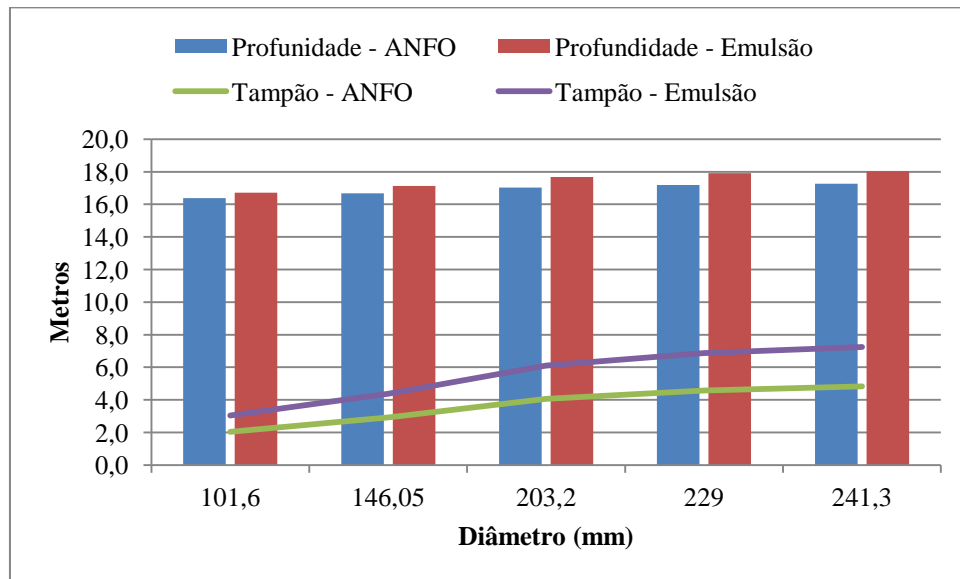


Figura 36 – Relação entre tampão e profundidade dos furos em metros para diferentes diâmetros com ANFO e emulsão, litologia hematita.

### 3.5.7. Razão de Carga

A razão de carga corresponde à quantidade de explosivos em peso para fragmentar determinado volume. Para sua estimativa Olofsson (1990) sugere a equação 35.

$$Q_b = \frac{[(H-T)*L_b]*n^{\circ} \text{ furos}}{V} \quad (34)$$

$$n^{\circ} \text{ furos} = \left(\frac{w}{S}\right) + 1 \quad (35)$$

$$V = w * K * B \quad (36)$$

Onde:  $Q_b$  é a razão de carga ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  $H$  é a profundidade do furo (m);  $T$  é o tampão (m);  $V$  é o volume ( $\text{m}^3$ );  $w$  é o comprimento da bancada (m);  $B$  é o afastamento (m);  $K$  é a altura da bancada (m).

A Figura 37 apresenta a variação do número de furos em função do comprimento da bancada que foi variada em 50 e 150m, e do tipo de explosivo. O que se pode observar é que o número decresce com o diâmetro do furo e que para emulsão em comparação com o ANFO nas situações analisadas, a quantidade de furos é menor.

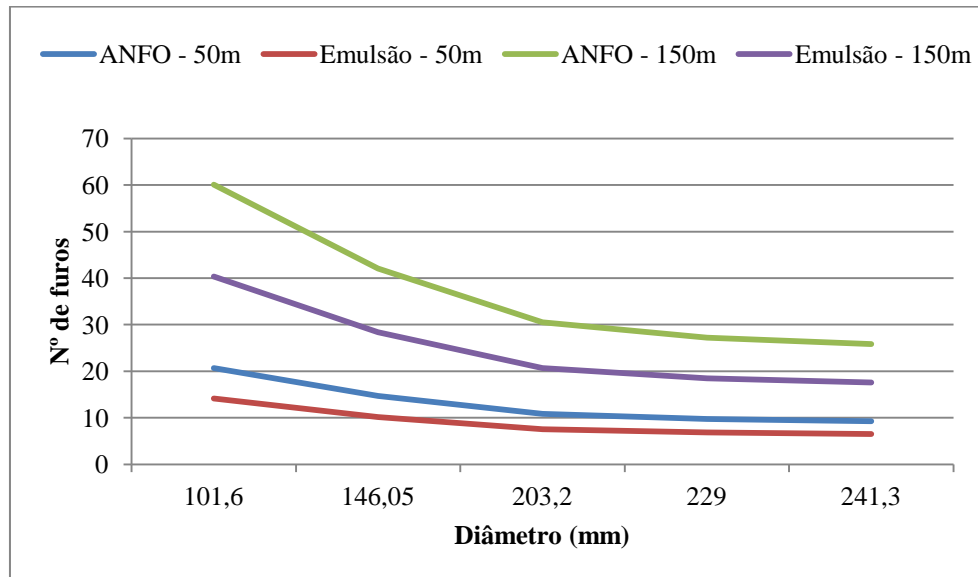


Figura 37 – Número de furos necessários para comprimentos de bancada de 50 e 150m, variando o diâmetro dos furos, litologia hematita.

O que se pode observar é que para emulsão encontram-se razões de carga menores em comparação ao ANFO, como mostra a Figura 38, fato que ocorre unicamente pela maior quantidade de explosivos nos furos que utilizam emulsão. A variação da razão de carga para o mesmo explosivo ocorre devido à geometria da bancada considerada, mesmo assim a variação é muito pequena.

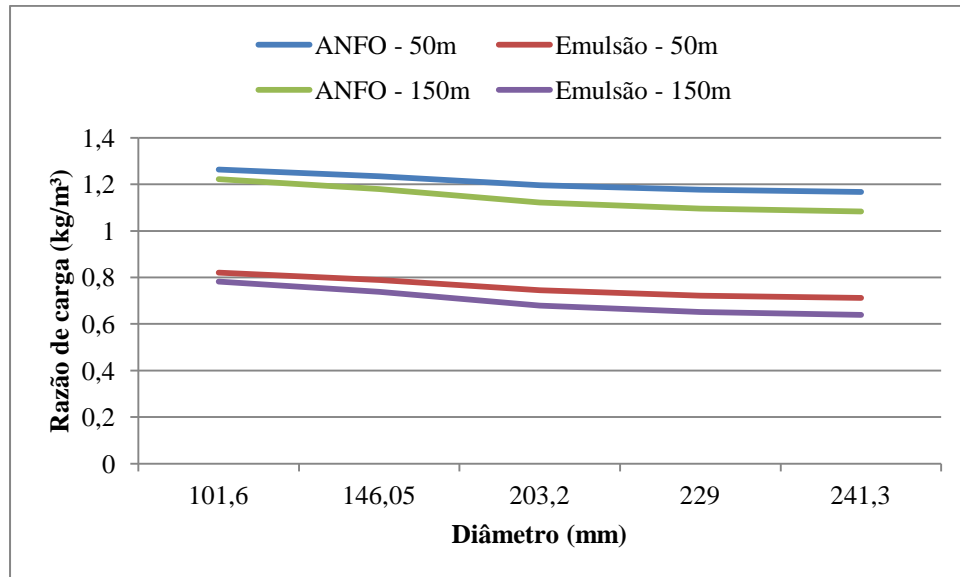


Figura 38 – Relação da razão de carga para ANFO e emulsão para diferentes diâmetros de furo.

O estabelecimento dos padrões de desmonte irá servir como ferramenta na simulação da estimativa e análise dos custos em função dos diâmetros de perfuração, da litologia, e do tipo de explosivo utilizado.



# Capítulo 4

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir da metodologia desenvolvida anteriormente, foram simuladas situações distintas entre as frotas, as litologias e os explosivos, a fim de se obter uma análise completa dos cenários possíveis. Para realizar estas simulações foi utilizado o algoritmo desenvolvido no *software* Microsoft Office Excel, onde foi gerada uma planilha que incorporou os diferentes custos de perfuração estimados para as diferentes litologias e frotas, bem como os custos de desmonte em função das situações apresentadas previamente. A elaboração da planilha precisou considerar não apenas as situações de custos definidas, mas também os diferentes dimensionamentos do plano de fogo em função da variação dos diâmetros de perfuração associados aos equipamentos, as litologias presentes e ao tipo de explosivo utilizado.

Nas seções seguintes serão apresentados os resultados obtidos, sendo primeiramente discutido o custo por furo de desmonte e posteriormente o custo por volume de rocha fragmentada.

### 4.1. CUSTO POR FURO

Para analisar as situações distintas simuladas, foi calculado o custo de desmonte por furo, este é obtido através da soma entre os custos de perfuração e de desmonte por furo, apresentados no capítulo dois. Ele fornece uma estimativa dos gastos e mostra qual a relação existente entre os equipamentos e as situações simuladas.

Na Figura 39 se pode observar a relação em percentual das parcelas do custo de perfuração em relação ao seu total. Tem-se a mesma relação observada anteriormente no custo de perfuração por metro, onde a parcela que agrega maior valor é a manutenção.

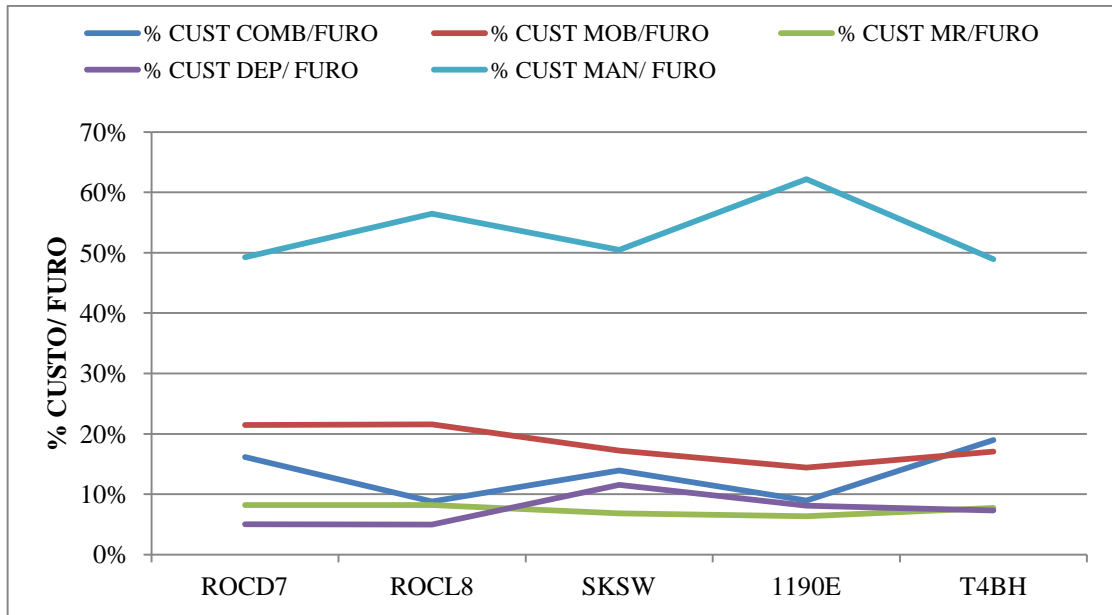


Figura 39 – Percentual do custo de perfuração por furo para cada frota.

Na Figura 40 se tem a representação do percentual das parcelas do custo de desmonte em relação ao total do mesmo. Como este custo é obtido em função do que é consumido pelo furo, a relação entre as frotas é muito similar, sendo que o custo que se destaca é o da mão de obra seguido pelo explosivo. Observam-se em ambas as situações que o percentual do custo com explosivo por furo diminui com o aumento do diâmetro em função da frota (que está representado pela sigla da frota, sendo crescente da esquerda para direita), enquanto aumenta a mão de obra, e que esta variação é mais expressiva no gráfico da direita, que representa a situação quando aplicado emulsão.

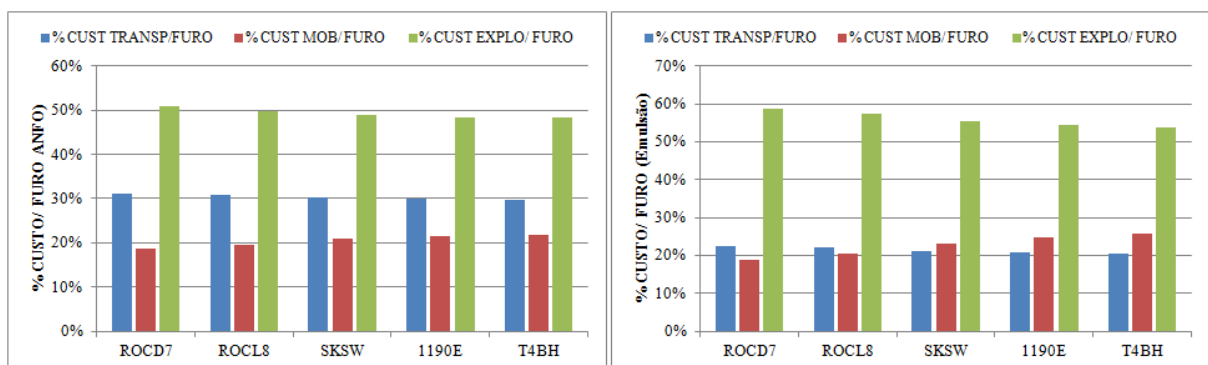


Figura 40 – Percentual do custo de desmonte por furo para cada frota no caso ANFO e emulsão.

A Figura 41 apresenta a relação dos percentuais do custo de perfuração e de desmonte sobre o total do custo por furo. Observa-se que o aumento do diâmetro de perfuração faz com que o custo de perfuração seja menor do que o custo de desmonte. O que

ocorre é uma inversão do percentual do custo, já que com o aumento do diâmetro existe uma elevação considerável na quantidade de explosivos utilizados por furo enquanto os custos de perfuração oscilam menos.

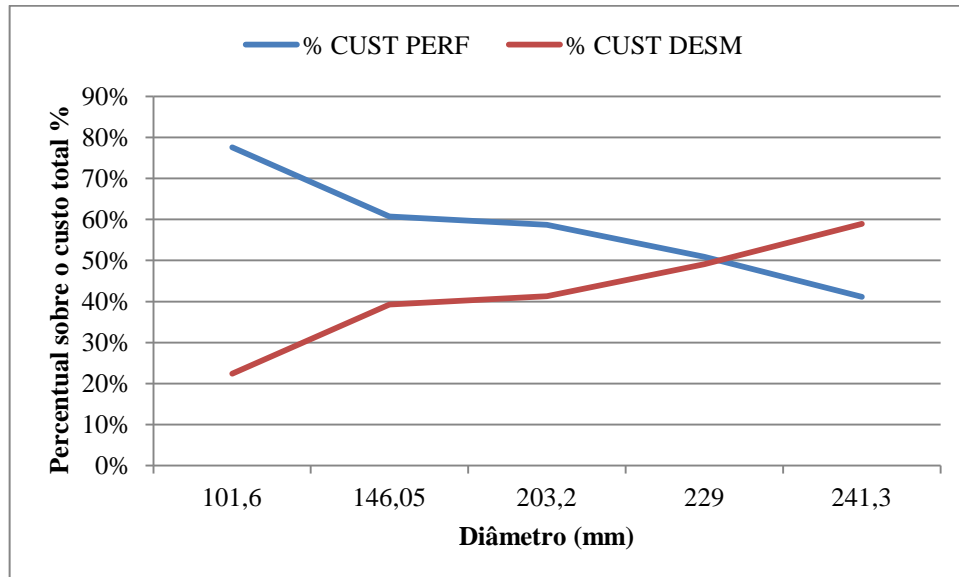


Figura 41 - Percentual do custo de perfuração e desmonte sobre o custo total do furo, litologia itabirito duro, situação ANFO.

Devido ao grande número de situações, optou-se por apresentar os dados visando a litologia e posteriormente a frota, como será apresentado a seguir.

#### 4.1.1. Custo por furo para cada litologia

Cada litologia analisada possui uma característica distinta e necessita de diferentes padrões de desmonte para ser fragmentada. A escolha do equipamento que irá executar os furos de desmonte modifica diretamente os custos associados ao mesmo, bem como a escolha do explosivo a ser utilizado.

Com o intuito de compreender estas relações, foram analisados os padrões encontrados para cada litologia em função do equipamento (apresentado aqui como o diâmetro do furo relativo ao mesmo).

##### 4.1.1.1. Hematita friável

A litologia hematita friável é considerada uma rocha branda, onde as suas características em relação às perfuratrizes são associadas a altas taxas de perfuração. Na Figura 42 à esquerda, pode-se perceber que o custo de perfuração decresce enquanto o de desmonte cresce em função do diâmetro do furo e que entre os diâmetros 146,5 e 203,2 mm para o tipo de explosivo ANFO, o custo é igual tanto para perfuração quanto para o desmonte e que para o explosivo tipo emulsão este ponto não ocorre devido à divergência das retas, sendo mais provável que ocorresse em diâmetros menores do que aqueles observados para o ANFO.

Na Figura 40 a direita está apresentada a diferença de custo entre a aplicação de ANFO e emulsão, que aumenta em relação ao diâmetro do furo e fica mais evidente conforme este cresce. Este fato pode ser justificado pelo custo do explosivo e pela concentração de carga em furos de grande diâmetro.

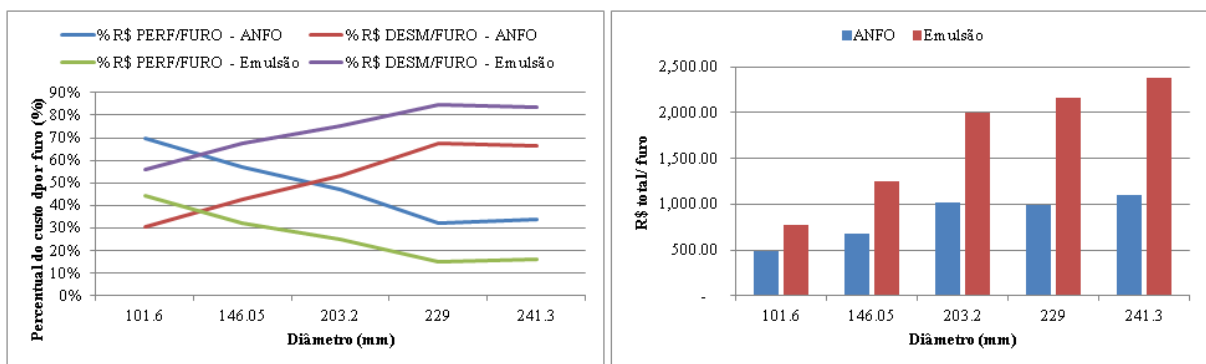


Figura 42 – Percentual dos custos de perfuração e desmonte sobre o total do custo por furo para ANFO e emulsão e suas relações com os diâmetros de perfuração para a litologia Hematita Friável.

#### 4.1.1.2. Hematita dura

A litologia hematita dura possui características de maiores resistências, o que caracteriza as taxas de perfuração menores quando observada em relação às perfuratrizes. Ao analisar a Figura 43 da esquerda, observa-se que o custo entre perfuração e desmonte por furo se iguala em diâmetros pequenos quando usada emulsão e se iguala em diâmetros grandes quando se usa ANFO. Mais uma vez o fato principal que condiciona esta situação é o custo do explosivo associado à concentração de carga.

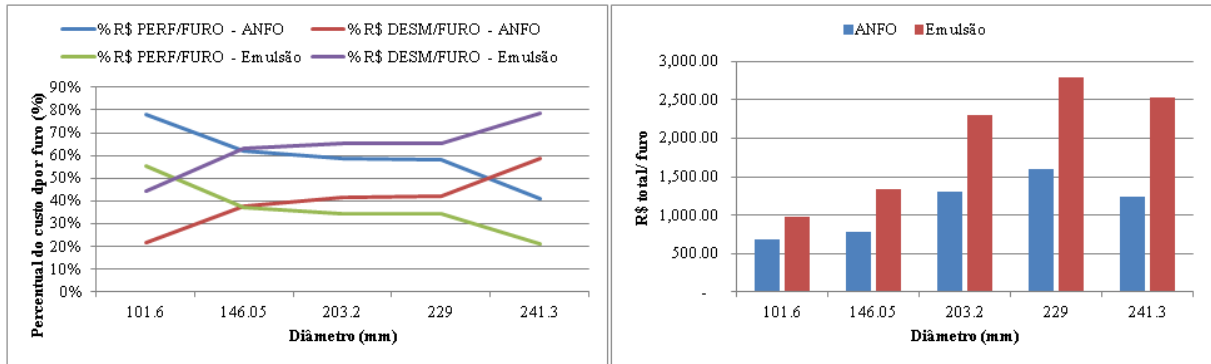


Figura 43 - Percentual dos custos de perfuração e desmonte sobre o total do custo por furo para ANFO e emulsão e suas relações com os diâmetros de perfuração para a litologia Hematita Dura.

Se observada com atenção, a figura da direita apresenta custo por furo mais elevados do que a litologia anterior e que as diferenças de custos entre explosivos permanecem e que aumentam conforme o diâmetro.

#### 4.1.1.3. Hematita Superdura

A litologia hematita superdura possui em elevado grau de resistência e por isso está associada às perfuratrizes com a taxa de perfuração média mais baixa, o que caracteriza a dificuldade de fragmentar a rocha. Na Figura 44 da esquerda pode-se observar que a mesma situação encontrada na hematita dura se apresenta aqui, onde as porcentagens de custo se igualam em pequenos diâmetros para emulsão e maiores para o ANFO.

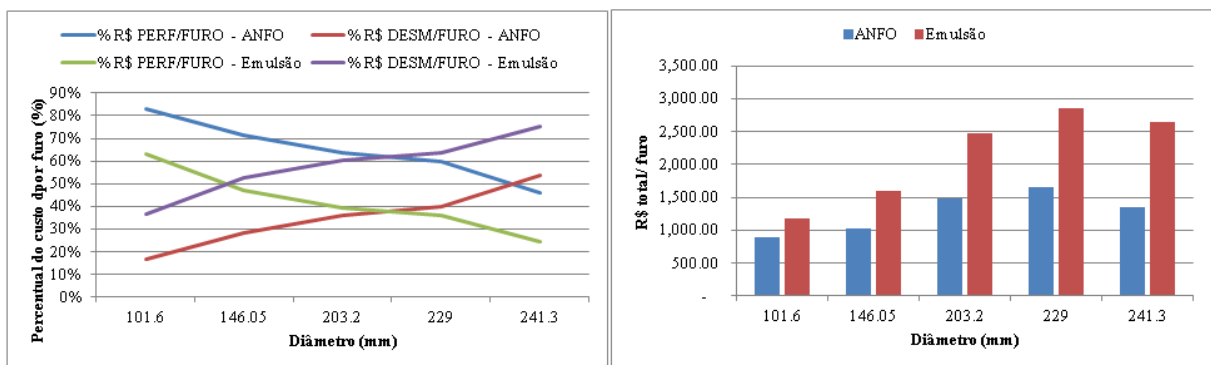


Figura 44 - Percentual dos custos de perfuração e desmonte sobre o total do custo por furo para ANFO e emulsão e suas relações com os diâmetros de perfuração para a litologia Hematita Superdura.

O que se pode analisar na sequência das litologias apresentadas é que à medida que a rocha fica mais resistente a separação entre o ponto de igualdade diminui, o que pode vir a

indicar uma proporcionalidade entre a aplicação dos explosivos para um dado diâmetro de furo.

Ao analisar a figura da direita, observa-se que o custo final aumentou em relação às litologias anteriores apresentadas e que foi proporcional para ambos os explosivos, sendo mais evidente nos diâmetros maiores.

#### 4.1.1.4. Itabirito Friável

A litologia itabirito friável possui características brandas, similares àquelas descritas para a hematita friável, com a distinção de que das litologias analisadas esta foi a que apresentou na média a maior taxa de perfuração associada às perfuratrizes. Quando observada em relação à hematita friável, o diâmetro em que o percentual do custo se iguala para o ANFO é menor.

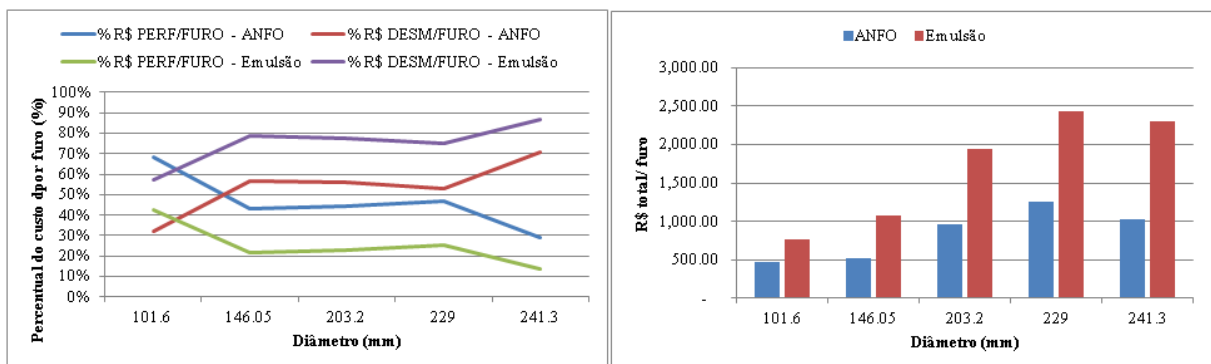


Figura 45 - Percentual dos custos de perfuração e desmonte sobre o total do custo por furo para ANFO e emulsão e suas relações com os diâmetros de perfuração para a litologia Itabirito Friável.

Na Figura 43 à direita, observa-se que a o custo total por furo é maior do que os observados na hematita friável, principalmente para o diâmetro 229 mm, o que indica que provavelmente o equipamento correspondente possui uma taxa de perfuração menor, o que influenciou no resultado final.

#### 4.1.1.5. Itabirito Duro

Assim como a hematita dura, o itabirito duro possui características mais resistentes e taxas de perfurações menores relativas às perfuratrizes. A Figura 46 a esquerda mostra uma relação entre os percentuais de custo muito parecidos com a litologia hematita dura, sendo

diferente apenas no ponto onde o percentual do custo se iguala para o ANFO, sendo o da emulsão praticamente o mesmo.

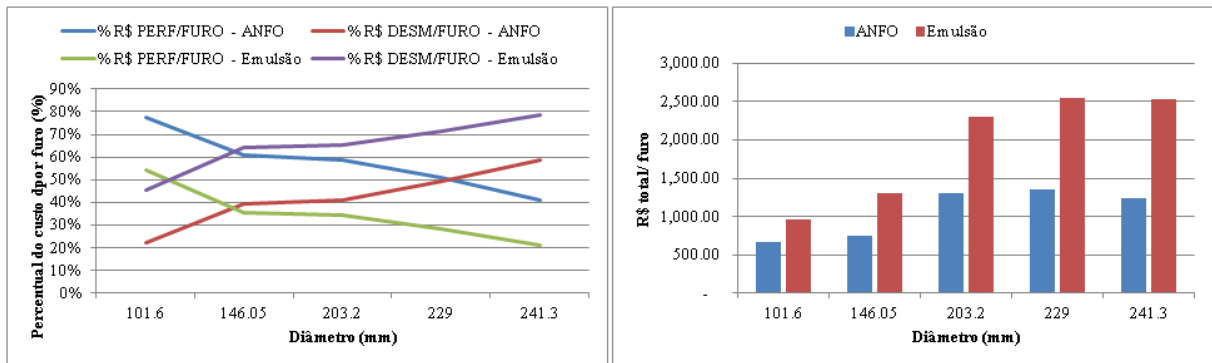


Figura 46 - Percentual dos custos de perfuração e desmonte sobre o total do custo por furo para ANFO e emulsão e suas relações com os diâmetros de perfuração para a litologia Itabirito Duro.

A figura a direita mostra um aumento nos custos totais por furo em função do diâmetro em relação à litologia anterior, dado principalmente pela maior resistência da rocha e as taxas de perfuração menores.

#### 4.1.1.6. Itabirito Superduro

A litologia itabirito superduro apresenta a segunda taxa de perfuração média mais baixa, caracterizando a sua alta resistência em relação à perfuração. Como pode ser observado na Figura 47, existe uma similitude entre esta litologia e a hematita superdura. Diferente do que foi constatado para a litologia hematita, no itabirito não foi visualizada a aproximação entre os pontos de igualdade dos percentuais de custo, ao contrário, houve uma maior separação entre esta litologia e as litologias anteriores.

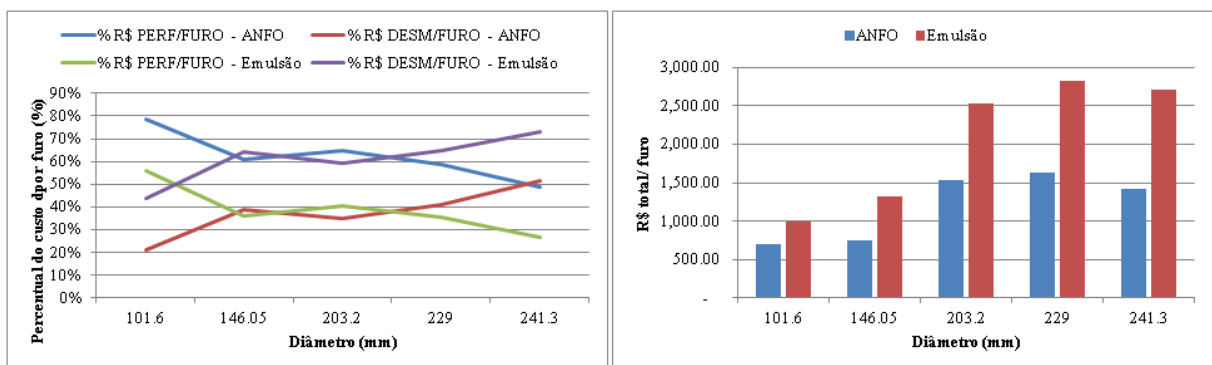


Figura 47 - Percentual dos custos de perfuração e desmonte sobre o total do custo por furo para ANFO e emulsão e suas relações com os diâmetros de perfuração para a litologia Itabirito Superduro.

O comportamento dos custos percentuais de perfuração apresentou um decréscimo e os de desmonte apresentaram uma alta entre os diâmetros 146,5 e 203,2 mm, este que não foi constatado nas litologias analisadas anteriormente, configurando um pico na curva. O que provavelmente ocorre é que algum custo vinculado aos equipamentos correspondentes aos diâmetros não está com algum custo configurado corretamente, provavelmente o custo de perfuração que é vinculado diretamente à taxa de perfuração.

A figura a direita mostra, como o esperado devido a maior resistência da rocha, que houve um aumento no custo total por furo.

#### 4.1.1.7. Xisto Friável

A litologia xisto friável apresenta um comportamento similar aos daqueles apresentados nas litologias hematita e itabirito friável, possuindo uma das taxas de perfuração média maiores encontradas entre as perfuratrizes. Pode-se observar na Figura 48 a direita que o custo total por furo aumenta gradativamente em relação a ambos explosivos em função do diâmetro do furo.

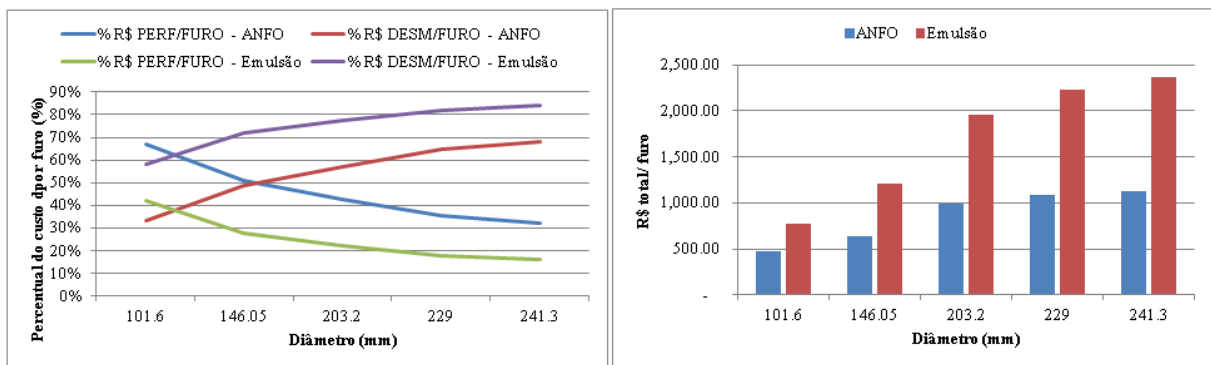


Figura 48 - Percentual dos custos de perfuração e desmonte sobre o total do custo por furo para ANFO e emulsão e suas relações com os diâmetros de perfuração para a litologia Xisto Friável.

#### 4.1.1.8. Xisto Duro

A litologia xisto duro apresenta uma taxa de perfuração média baixa, sendo somente maior ao itabirito superduro e hematita superdura, o que caracteriza uma rocha resistente à perfuração. Explicado por este fato, a Figura 49 apresenta um comportamento similar ao das litologias citadas, com a diferenciação de que existe uma estacionariedade entre os diâmetros 146,05 e 229 mm. Como explicado anteriormente, este fato pode ocorrer devido às taxas de



perfuração que influenciam diretamente o custo de perfuração e por consequência os percentuais de custos.

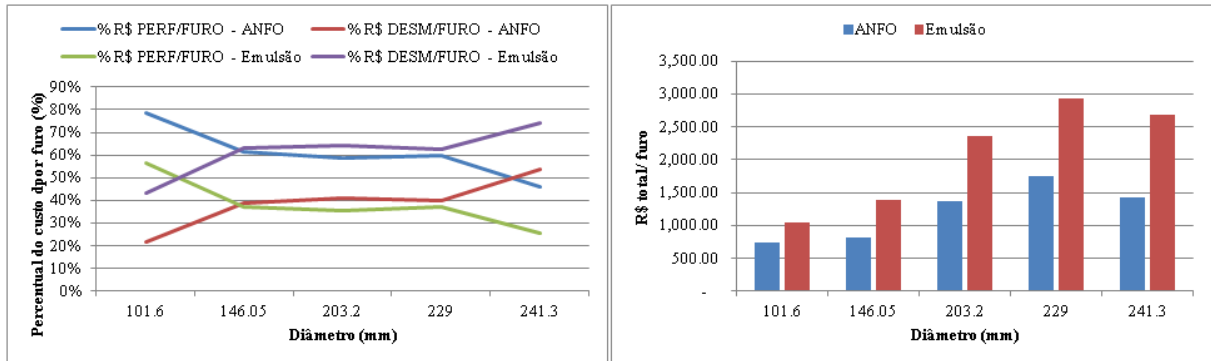


Figura 49 - Percentual dos custos de perfuração e desmonte sobre o total do custo por furo para ANFO e emulsão e suas relações com os diâmetros de perfuração para a litologia Xisto Duro.

Pode-se observar que esta litologia apresenta um dos maiores custos total por furo associados a ela, juntamente com a litologia itabirito e hematita superdura.

#### 4.1.1.9. Hematita Canga

A litologia hematita canga possui características brandas e por isso uma taxa de perfuração média quando comparada as outras litologias. Seu comportamento em relação aos percentuais dos custos apresenta a distância mais próxima entre o ponto de igualdade para os explosivos analisados, como apresentado na Figura 50.

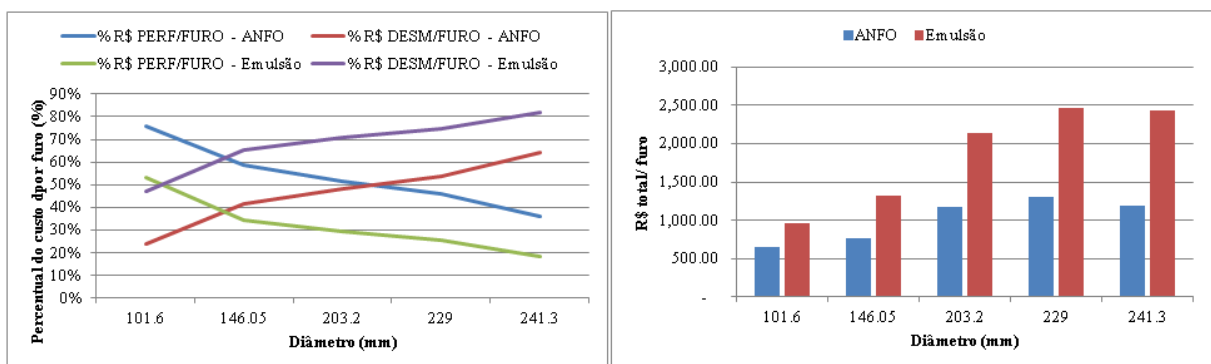


Figura 50- Percentual dos custos de perfuração e desmonte sobre o total do custo por furo para ANFO e emulsão e suas relações com os diâmetros de perfuração para a litologia Hematita Canga.

A figura da direita apresenta os custos por furo em relação aos diâmetros, cujo comportamento apresenta uma pequena elevação no diâmetro 229 mm, caracterizado provavelmente por uma taxa de perfuração menor no equipamento correspondente.

O que se pode observar foi que a tendência dos custos é praticamente a mesma para todos os tipos de rocha, onde o custo aumenta em função do diâmetro de perfuração e quanto maior o diâmetro, menor o percentual do custo de perfuração e maior o percentual do custo de desmonte.

#### 4.1.2. Custo por furo para cada frota

Na análise de custo por litologia foi encontrada uma relação de custos muito similares para rochas que possuem uma taxa de perfuração próxima. Tendo em vista esta relação direta entre o valor da taxa de perfuração e os custos, optou-se por buscar uma correlação entre eles. Como cada frota de perfuratriz possui sua característica em relação à perfuração, foram interpretados os dados por frota, procurando assim manter a relação entre as duas variáveis.

A Figura 51 apresenta a relação entre as taxas de perfuração e o custo por furo utilizando ANFO para cada frota analisada. Os pontos correspondem as litologias apresentadas anteriormente. O que se pode observar é que as frotas de menor porte são as que possuem um custo relativo menor associado e que a variação do custo aumenta conforme o porte da frota, ou seja, as que custam mais também variam mais.

Observa-se que as frotas T4BH e 1190E são muito similares em relação ao custo por furo, principalmente para taxas de perfuração elevadas, com a diferença que a frota 1190E possui uma variação maior.

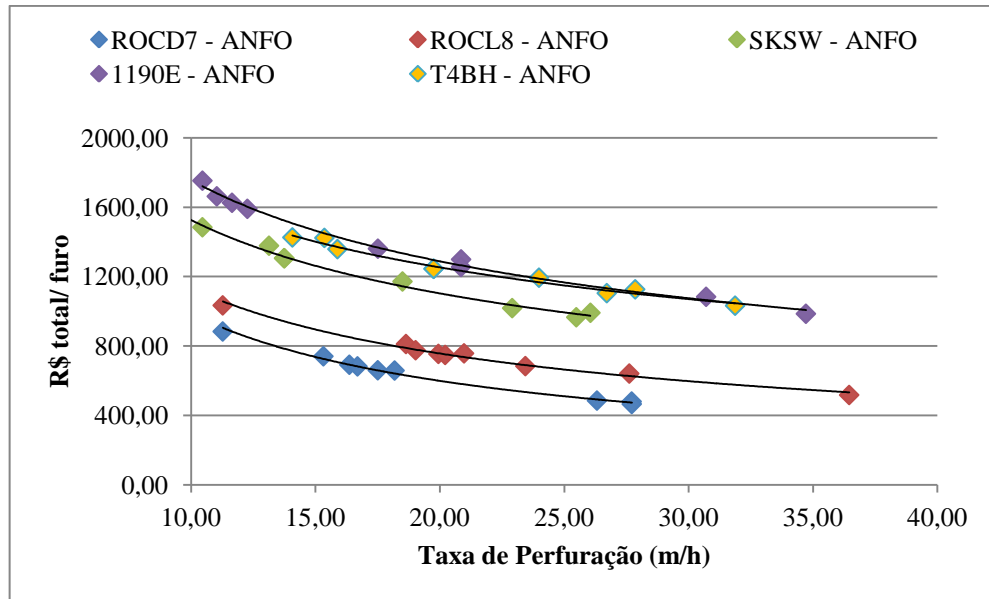


Figura 51 – Análise da relação existente entre o custo por furo com ANFO e a taxa de perfuração para cada frota.

Na Figura 52 se pode observar qual a relação encontrada quando se utiliza emulsão. Esta situação acrescenta custo em todas as categorias, uma vez que a concentração de carga por metro é maior quando comparada ao ANFO e o custo do explosivo, também, é mais elevado.

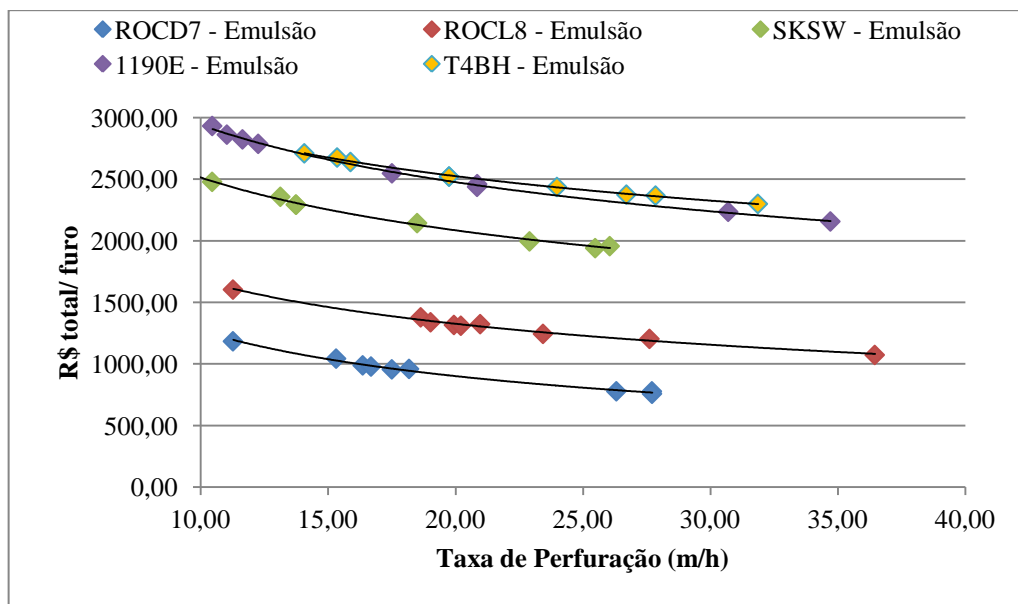


Figura 52– Análise da relação existente entre o custo por furo com emulsão e a taxa de perfuração para cada frota.

Observando as duas situações analisadas, conclui-se que o comportamento das curvas em ambas é muito similar e que a variação é proporcional em ambos os casos

analisados. A fim de se observar melhor as relações entre ANFO e emulsão, serão apresentadas as análises do comportamento para cada frota.

#### 4.1.2.1. Frota ROCD7

A análise feita para a frota ROCD7 corresponde aos dados apresentados anteriormente para o diâmetro de furo de 101,6 mm, sendo, portanto a frota de perfuratriz de menor porte da mineradora. Com taxas de perfuração de variam entre 11 e 27 metros por hora, as curvas analisadas para os dois tipos de explosivos são as que apresentam maiores inclinações, o que indica grandes variações nos custos, justificado pelas características do equipamento, que se torna economicamente caro para perfurar rochas muito resistentes quando em relação a rochas mais brandas.

A Figura 53 mostra a relação entre as duas variáveis para os dois tipos de explosivos. O que se pode observar é a grande diferença encontrada entre ANFO e emulsão e que quanto maior a taxa de perfuração, menores os custos, como o esperado.

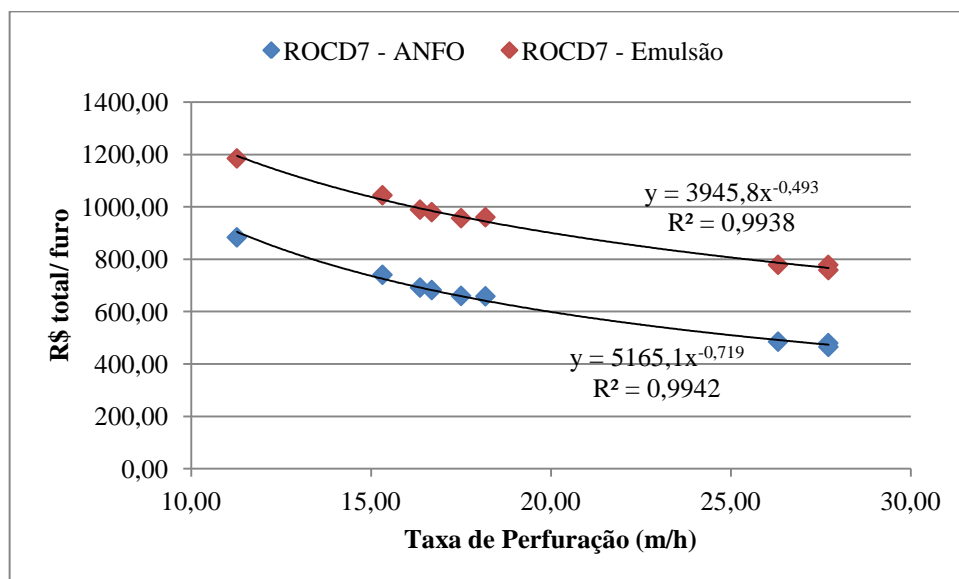


Figura 53 – Relação entre a taxa de perfuração e o custo por furo para a frota ROCD7.

A melhor reta ajustada aos pontos que correspondem ao custo por furo e a taxa de perfuração foi o modelo de potência, uma vez que o custo nunca será zero, mas irá tender ao infinito quanto maior for à taxa de perfuração. Como pode ser observado, o coeficiente de ajuste dos pontos a curva é um valor considerado ótimo, justificando a escolha do modelo.

#### 4.1.2.2. Frota ROCL8

A frota ROCL8 corresponde ao diâmetro analisado anteriormente de 146,05 mm e encontra-se classificada como uma frota de perfuratrizes de pequeno a médio porte. Como pode ser observado na Figura 54, o custo do furo associado a esta frota é maior em relação a anterior e a diferença de custos entre os explosivos aumentaram, fato que pode ser justificado pelo aumento da concentração de carga para diâmetros maiores.

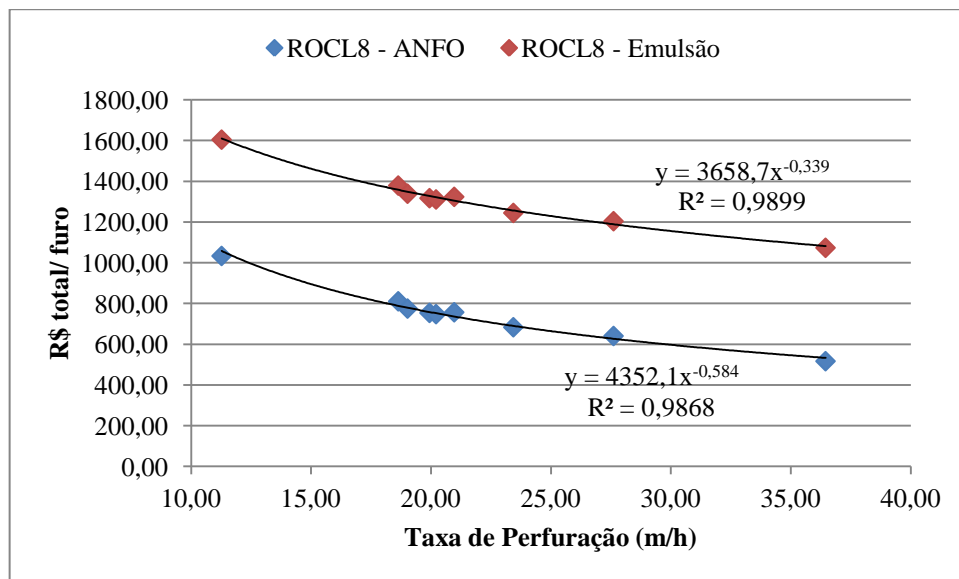


Figura 54 – Relação entre a taxa de perfuração e o custo por furo para a frota ROCL8.

Bem como analisado anteriormente, o modelo que melhor se adapta é o de potência, que apresenta uma aderência elevada dos pontos a curva.

#### 4.1.2.3. Frota SKSW

A frota SKSW corresponde ao diâmetro de furo de 203,2 mm analisado anteriormente, o que confere a esta frota um porte médio a grande. Sendo uma das frotas cujo preço de aquisição é o mais elevado, o custo por furo apresentado na Figura 55 teve uma alta gradual em relação à frota anterior.

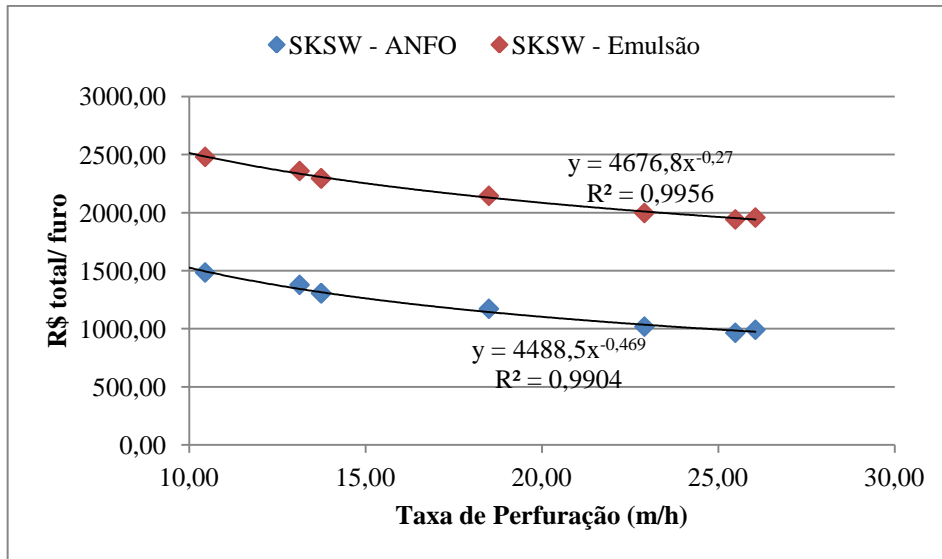


Figura 55 – Relação entre a taxa de perfuração e o custo por furo para a frota SKSW.

#### 4.1.2.4. Frota 1190E

A frota 1190E corresponde ao diâmetro de 229 mm analisado anteriormente, o que confere a mesma um porte grande. Esta frota apresentou as maiores variações de custo em relação à taxa de perfuração, devido principalmente as litologias mais brandas, uma vez que os custos associados às litologias mais resistentes estão mais próximos.

A variação do custo entre ANFO e emulsão foi similar aos outros casos analisados e a seleção do modelo de potência foi também o mais adequado.

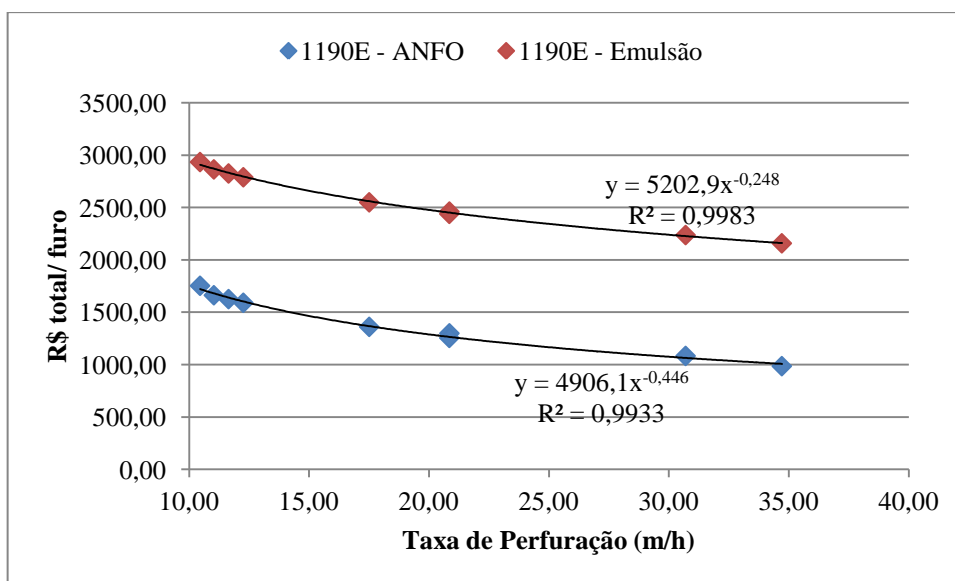


Figura 56 – Relação entre a taxa de perfuração e o custo por furo para a frota 1190E.

#### 4.1.2.5. Frota T4BH

A frota T4BH possui o maior diâmetro de furo, o que, segundo a análise realizada até o presente, deveria conferir a esta frota a característica de possuir os maiores custos associados às taxas de perfuração. Mas ao analisar a Figura 57, se observa que o custo associado a menor taxa de perfuração é menor em comparação a frota 1190E apresentada anteriormente. A diferença é que a frota T4BH é a que menos variou em função da taxa de perfuração.

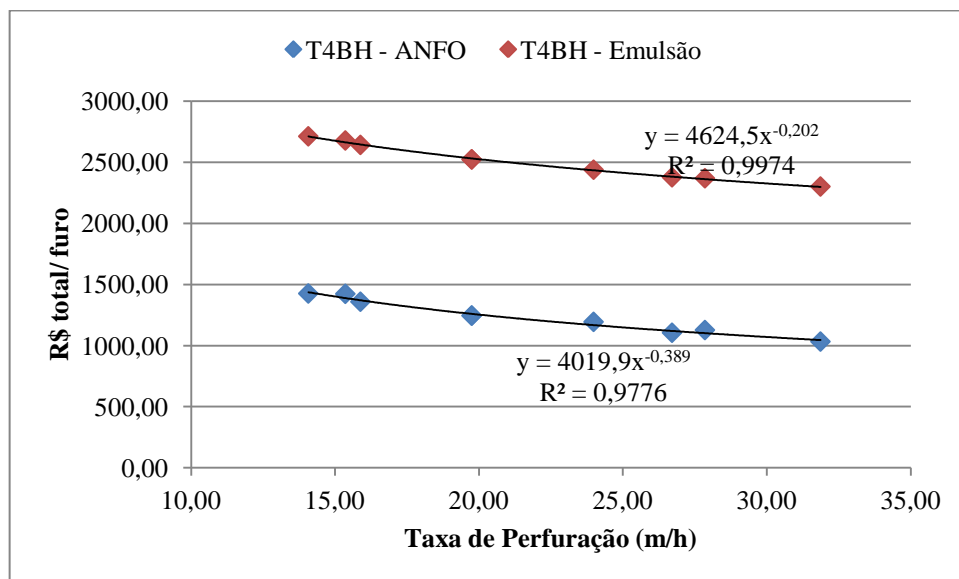


Figura 57 – Relação entre a taxa de perfuração e o custo por furo para a frota T4BH.

## 4.2. CUSTO POR VOLUME DE ROCHA FRAGMENTADA

Para poder realizar uma comparação entre os equipamentos e entre os explosivos é necessário obter o custo por volume de rocha fragmentada, pois desta forma se estará analisando sobre a mesma unidade todas as variáveis. A estimativa de custo, quando calculada em função do volume, deve levar em consideração não apenas os valores relacionados ao material que é consumido, mas também as variáveis do plano de fogo que influenciam no volume de rocha desmontado por furo.

### 4.2.1. Variáveis que influenciam no volume de rocha fragmentada

Quando se tratou sobre a escolha do plano de fogo, apresentaram-se diferentes situações que influenciam no volume de rocha fragmentada pelo furo. Pelo fato de que as fórmulas estão interligadas entre si, não existe apenas uma variável que influencia no custo por m<sup>3</sup>, mas sim muitas. Na tentativa de estabelecer uma relação entre as diferentes situações que podem ser encontradas no cotidiano da mineradora e no custo por volume de rocha, foram simulados diferentes cenários, apresentados nas seções seguintes.

#### 4.2.1.1. Comprimento da bancada

A variável correspondente ao comprimento da bancada influencia diretamente no custo final por volume de rocha fragmentada, uma vez que ela indica a quantidade de furos que devem ser executados em linha e principalmente o volume a ser desmontado. Para exemplificar o processo que ocorre a Figura 58 e a Figura 59 foram elaboradas utilizando os dados referentes à frota T4BH e o itabirito duro, simulando diferentes comprimentos de bancada para uma mesma altura e diâmetro.

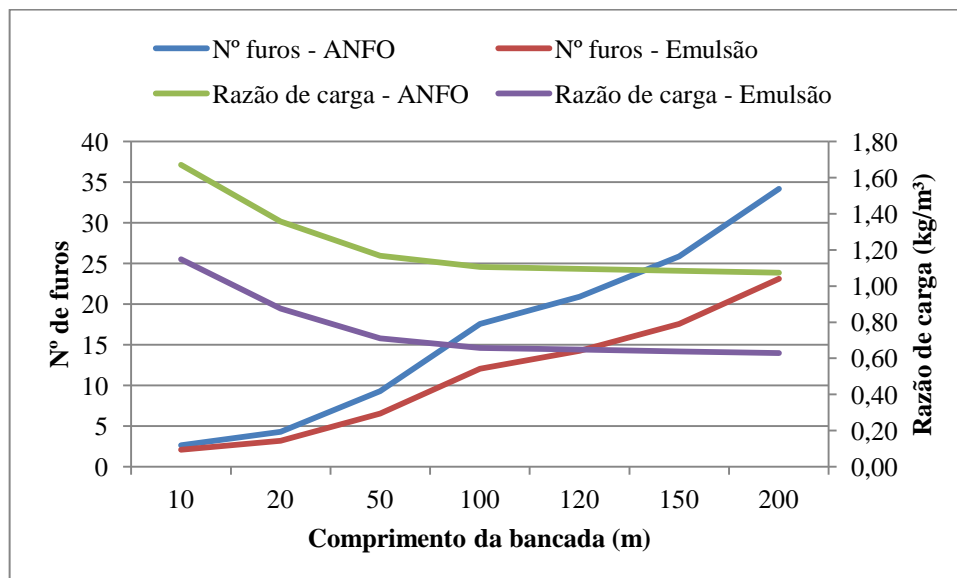


Figura 58 – Relação entre o número de furos e a razão de carga em função de diferentes comprimentos de bancada para os dois tipos de explosivos, observado para a litologia itabirito duro e para a frota T4BH.

O que se pode observar é que quanto maior é o comprimento da bancada, maior o número de furos necessários, uma vez que estes são função da mesma e do espaçamento entre eles. Observa-se também que quanto maior o comprimento, maiores são as diferenças



encontradas para ANFO e emulsão, estas que são justificadas pela concentração de carga (kg/m) que para o ANFO é menor.

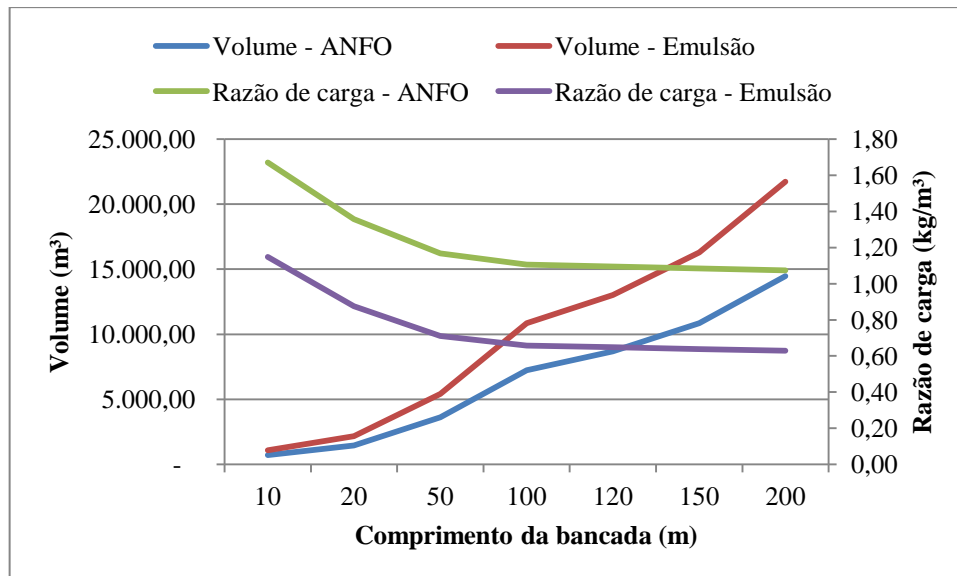


Figura 59 – Relação entre o número de furos e a razão de carga em função de diferentes comprimentos de bancada para os dois tipos de explosivos, observado para a litologia itabirito duro e para a frota T4BH.

A razão de carga, que é a variável que correlaciona a quantidade de explosivos por  $m^3$ , permanece constante após determinado comprimento, uma vez que ela é função da concentração de carga que não varia com a mesma, o que indica que o custo está sendo diluído em um maior volume.

A fim de verificar a variação do custo por  $m^3$  em função do comprimento da bancada, foi elaborada a Figura 60, distinguindo os custos por litologia e por frota. A primeira análise que pode ser feita é que quanto maior for o comprimento da bancada, menor o custo por  $m^3$  de rocha fragmentada, fato constatado em todas as análises feitas, e que após determinado comprimento ele tende a estacionariedade, ou seja, pode ser representado por uma função que tende ao infinito em relação ao comprimento, e tende a um valor mínimo em relação ao custo, este que varia em função da frota e da litologia.

Além destas observações, fica claro que a frota ROCD7 possui o custo por  $m^3$  mais caro em todas as análises, esta que possui o menor diâmetro associado, e que a frota T4BH tem o menor custo, esta que possui o maior diâmetro associado. Esta observação permite concluir que se tratando de custo por volume, independente do comprimento da bancada, quanto maior o diâmetro mais econômico é o processo. Outra observação importante é que rochas com maior resistência a perfuração, ou seja, com taxas de perfuração baixas, possuem o custo por  $m^3$  mais caro dos que as rochas mais brandas.

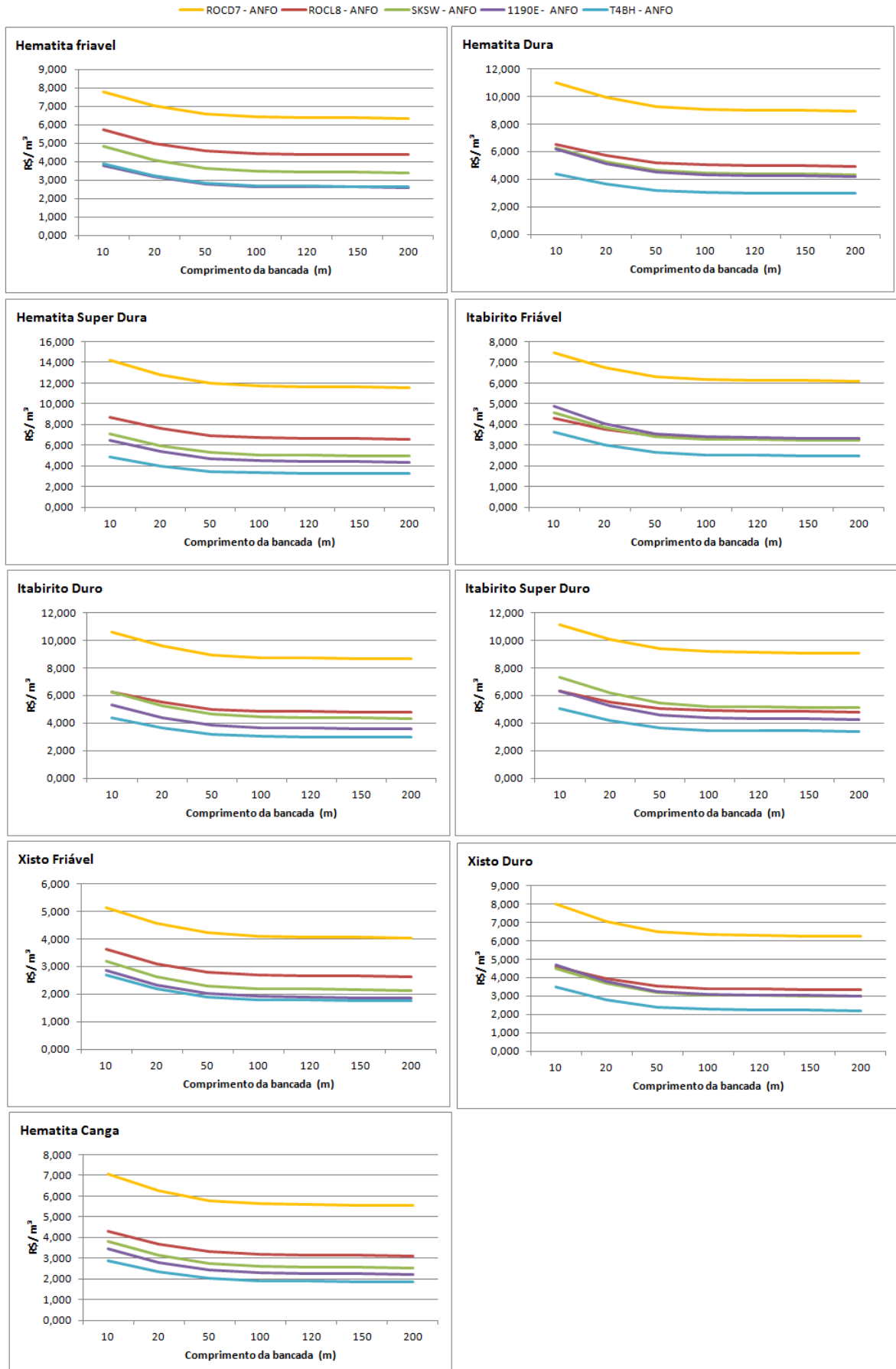


Figura 60 - Custo por m<sup>3</sup> em função do comprimento da bancada para as diferentes frotas e litologias.

#### 4.2.1.2. Altura da Bancada

A variável altura da bancada é também responsável pela variação do volume de rocha a ser fragmentada, influenciando também na profundidade dos furos, justificando uma análise mais aprofundada da sua relação com o custo por volume de rocha fragmentada.

Para simular a variação do volume foram atribuídas diferentes alturas de bancada para observar o comportamento das variáveis em função do seu aumento. A Figura 61 mostra que a profundidade dos furos aumenta exponencialmente com a altura da bancada e as retas das situações ANFO e emulsão se sobrepõem no gráfico, sendo que a razão de carga aumenta potencialmente.

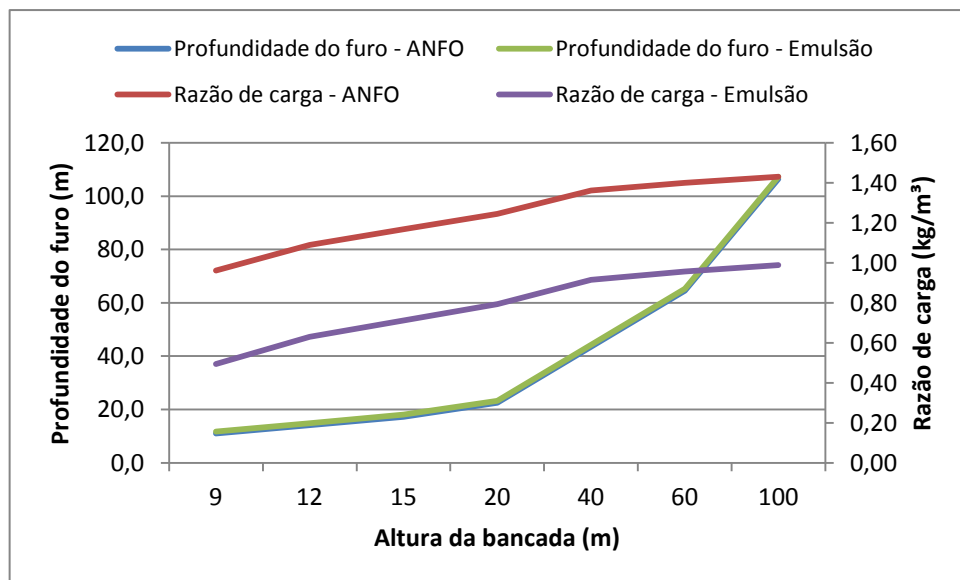


Figura 61 – Relação entre a profundidade dos furos e a razão de carga em função de diferentes alturas de bancada para os dois tipos de explosivo, observado para a litologia itabirito duro e para a frota T4BH.

A Figura 62 mostra que o volume aumenta com o mesmo comportamento observado para a profundidade dos furos, uma vez que ele também é função direta da altura do banco. Observa-se que a razão de carga em relação ao volume aumenta menos, ou seja, existe uma variação menor entre a quantidade de explosivo e o volume fragmentado pelo mesmo.

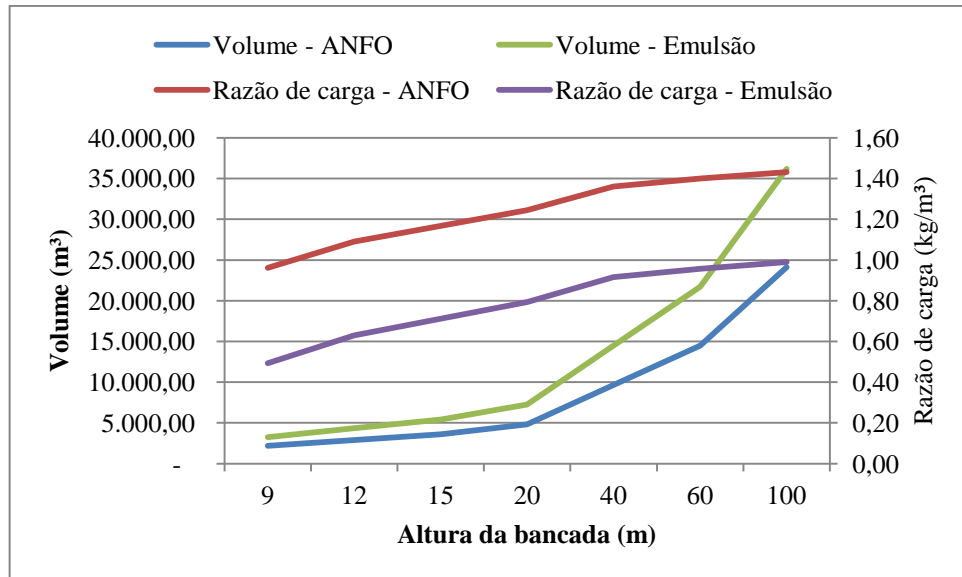


Figura 62– Relação entre o volume de rocha desmontada e a razão de carga em função de diferentes alturas de bancada para os dois tipos de explosivo, observado para a litologia itabirito duro e para a frota T4BH.

A relação do custo por  $m^3$  para as diferentes alturas de bancada em função das frotas foi distinguida em função das litologias, a fim de buscar uma correlação entre estas variáveis. Na Figura 63, observa-se que o maior custo por  $m^3$  em todas as litologias analisadas é o da frota ROCD7, cujo diâmetro associado é o menor, e que o menor custo é da frota T4BH, cujo diâmetro associado é o maior. Em todas as litologias é possível observar esta tendência de diminuição do custo em função do diâmetro.

Quando se observa o custo em relação à altura da bancada, se pode constatar que existe uma variação muito pequena do mesmo e que ela é irrisória quando comparada a grandeza da variável, sendo que em algumas litologias ela é mais perceptível do que em outras. Como o comportamento analisado entre a profundidade do furo e o volume a ser fragmentado é similar, o que influencia no custo é o diâmetro do furo, representado pelas frotas. Mesmo a altura da bancada sendo um dos fatores preponderantes na variação do volume de rocha a ser fragmentada, ela não é decisiva quando abordamos o custo por  $m^3$ .

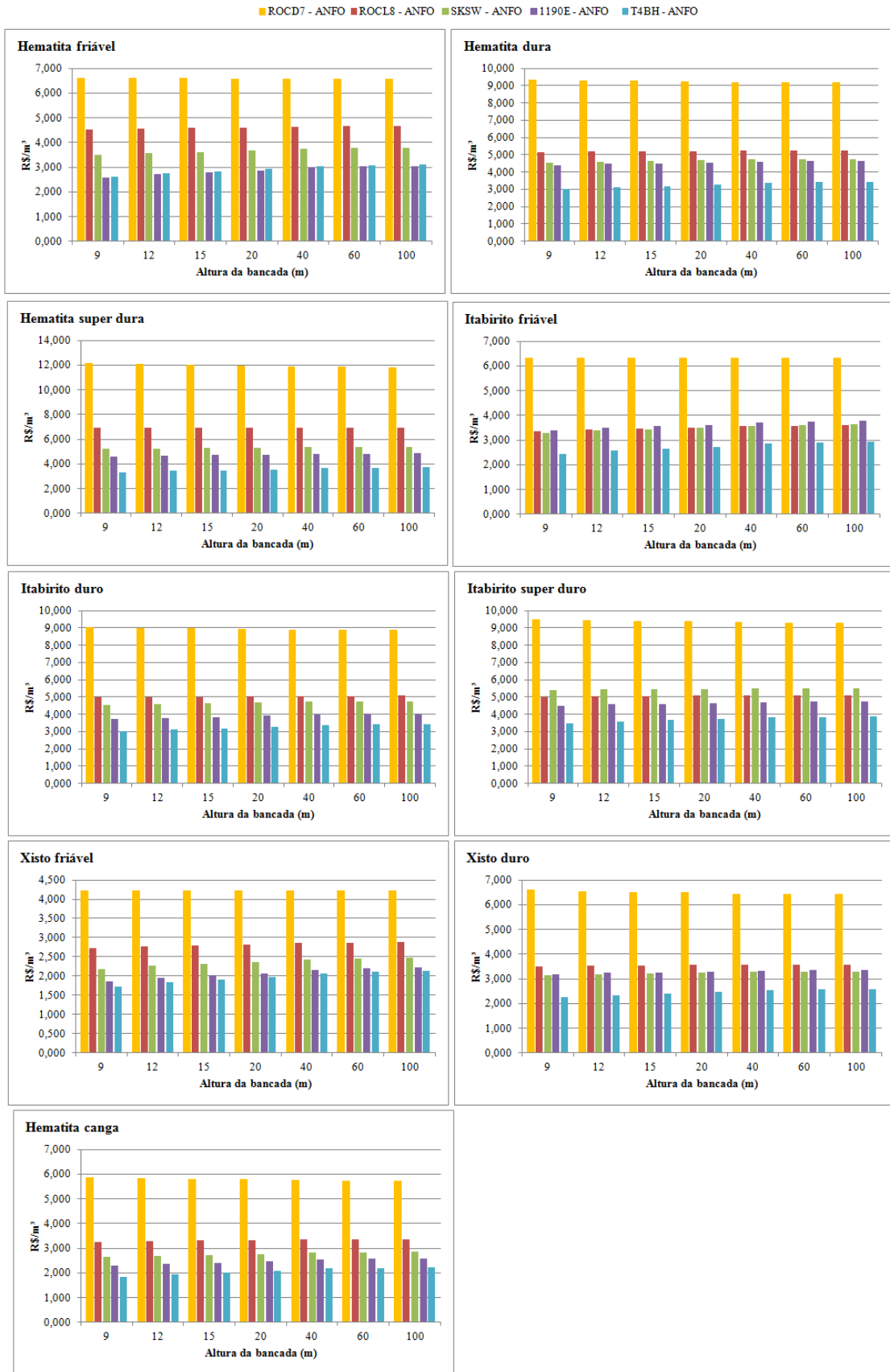


Figura 63 – Custo por m³ simulado para as diferentes alturas de bancada em função das frotas para cada litologia.

#### 4.2.2. Custo por m<sup>3</sup> de rocha fragmentada

Na seção anterior foram simuladas situações diferentes quanto à geometria da bancada para determinar a influência desta no custo por m<sup>3</sup> de rocha fragmentada. Foi constatado que o comprimento da bancada influencia principalmente em larguras pequenas e que a altura influencia muito pouco, mas em ambas as análises o fator preponderante na variação do custo foi o diâmetro que está associado à frota e a litologia, e que por sua vez está associado à taxa de perfuração. Estas são as duas variáveis principais que afetam o custo e serão analisadas nas seções seguintes.

Para as simulações apresentadas nesta seção, foi atribuído um comprimento de bancada de 50m e uma altura de 15m. A justificativa da escolha foi feita em função dos dados analisados, onde o comprimento após esta distância apresenta uma estacionariedade no custo e a altura por ser a mais corriqueiramente praticada pela empresa.

##### 4.2.2.1. Custo por m<sup>3</sup> em função da litologia

O custo está associado diretamente ao tipo de frota e principalmente ao diâmetro associado a esta. A Figura 64 e a Figura 65 mostram a relação encontrada para as diferentes litologias. Como observado anteriormente, a frota ROCD7 possui o maior custo em relação a todos os tipos de rocha, e a frota T4BH o menor em ambas as situações simuladas com ANFO e emulsão.

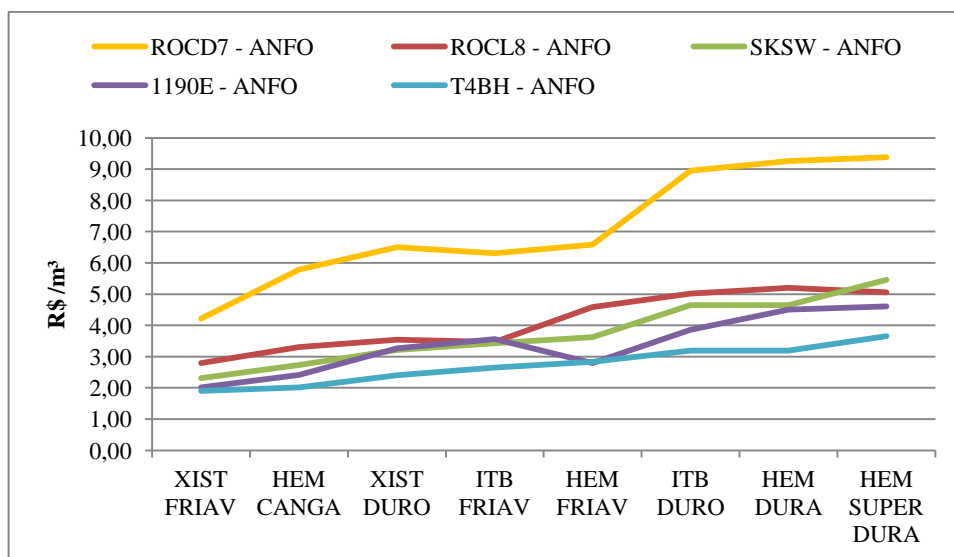


Figura 64 – Custo por m<sup>3</sup> quando utilizado ANFO para as diferentes frota em relação às litologias.

Outra observação importante é que existe uma estacionariedade do custo em função da litologia. Quando mais branda for a mesma, menor é a variação. Este comportamento pode ser atribuído à taxa de perfuração, uma vez que nestas litologias o tempo de perfuração e por consequência o custo dos materiais consumidos é menor, bem como a quantidade de explosivos.

Diferentemente das litologias associadas a altas taxas de perfuração, as que são mais resistentes e que por sua vez possuem baixas taxas, apresentam grandes variações no custo, atribuídas principalmente a capacidade e desempenho dos equipamentos, bem como ao diâmetro de perfuração, pois como se pode observar, o custo por m<sup>3</sup> decresce em função do equipamento associado a este.

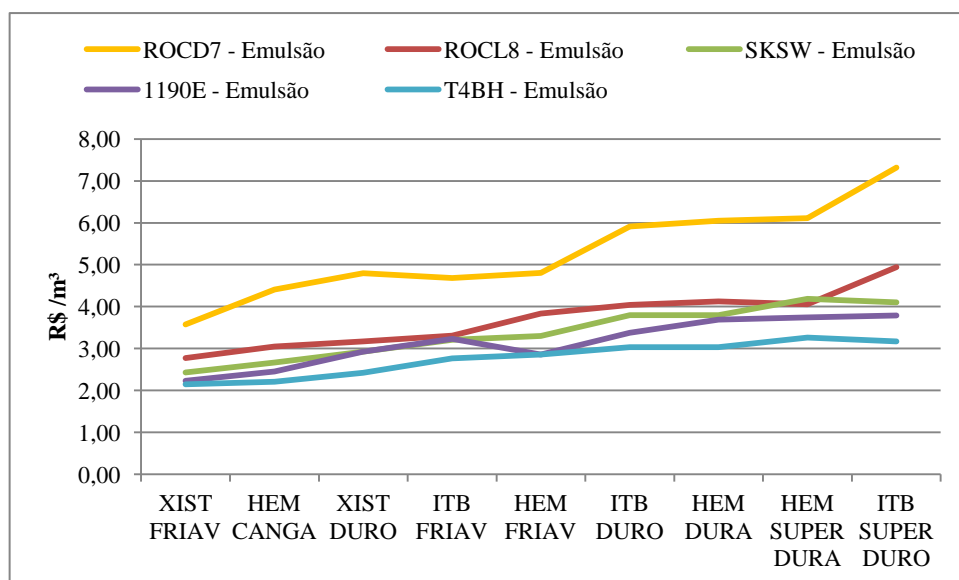


Figura 65– Custo por m<sup>3</sup> quando utilizado ANFO para as diferentes frotas em relação às litologias.

A fim de observar a variação encontrada em função da aplicação dos diferentes explosivos analisados, foi elaborada a Figura 66 que mostra a variação do custo por m<sup>3</sup> em função das litologias para cada frota. O que se pode observar e que foi constatado anteriormente é a relação da diminuição do custo em função da abrasividade da rocha, ou seja, elas possuem um comportamento inverso quanto ao seu crescimento.

Diferentemente dos resultados apresentados na análise de custo por furo, as situações simuladas para ambos os explosivos mostrou um comportamento muito similar, e a diferença de custo é relativamente pequena quando observado o conjunto, sendo maior a variação apenas nas frotas cujos os diâmetros analisados são os extremos, o menor e o maior.

Apesar de não existir um comportamento que tenha uma linearidade espacial, pode-se atribuir os picos de variação do custo em função das próprias estimativas realizadas em relação ao mesmo, onde uma pequena distorção dos valores pode acarretar em resultados menos acurados.



Figura 66 – Custo por m³ em função da litologia para cada frota, com ANFO e emulsão.

#### 4.2.2.2. Custo por m³ em função dos diâmetros de perfuração

O custo por m³ está diretamente ligado ao diâmetro do furo, uma vez que ele varia conforme a quantidade de materiais consumidos pelo mesmo, então quanto maior o furo, maior o custo associado a este. Esta relação foi discutida na seção 4.1, onde se concluiu que



quanto menor era o furo, menos material era consumido pelo mesmo e, por conseguinte menor o custo.

A Figura 67 apresenta as diferentes relações entre os diâmetros dos furos e os custos por furo e por  $m^3$  associado aos mesmos para cada litologia. O que se pode observar é que quanto maior o diâmetro menor é o custo por  $m^3$  e que o inverso também é verdadeiro.

Quando se analisa as situações simuladas entre os explosivos, percebe-se que as diferenças que são maiores quando observamos o custo por furo se tornam pequenas quando comparadas ao custo por  $m^3$ . Este fato pode ser explicado pela concentração de carga no furo que é mais elevada para a emulsão, mas que justamente justificada por este fato, a bancada necessita de um menor número de furos, o que acarreta em um volume maior desmontado por furo, portanto o custo acaba sendo diluído no volume.

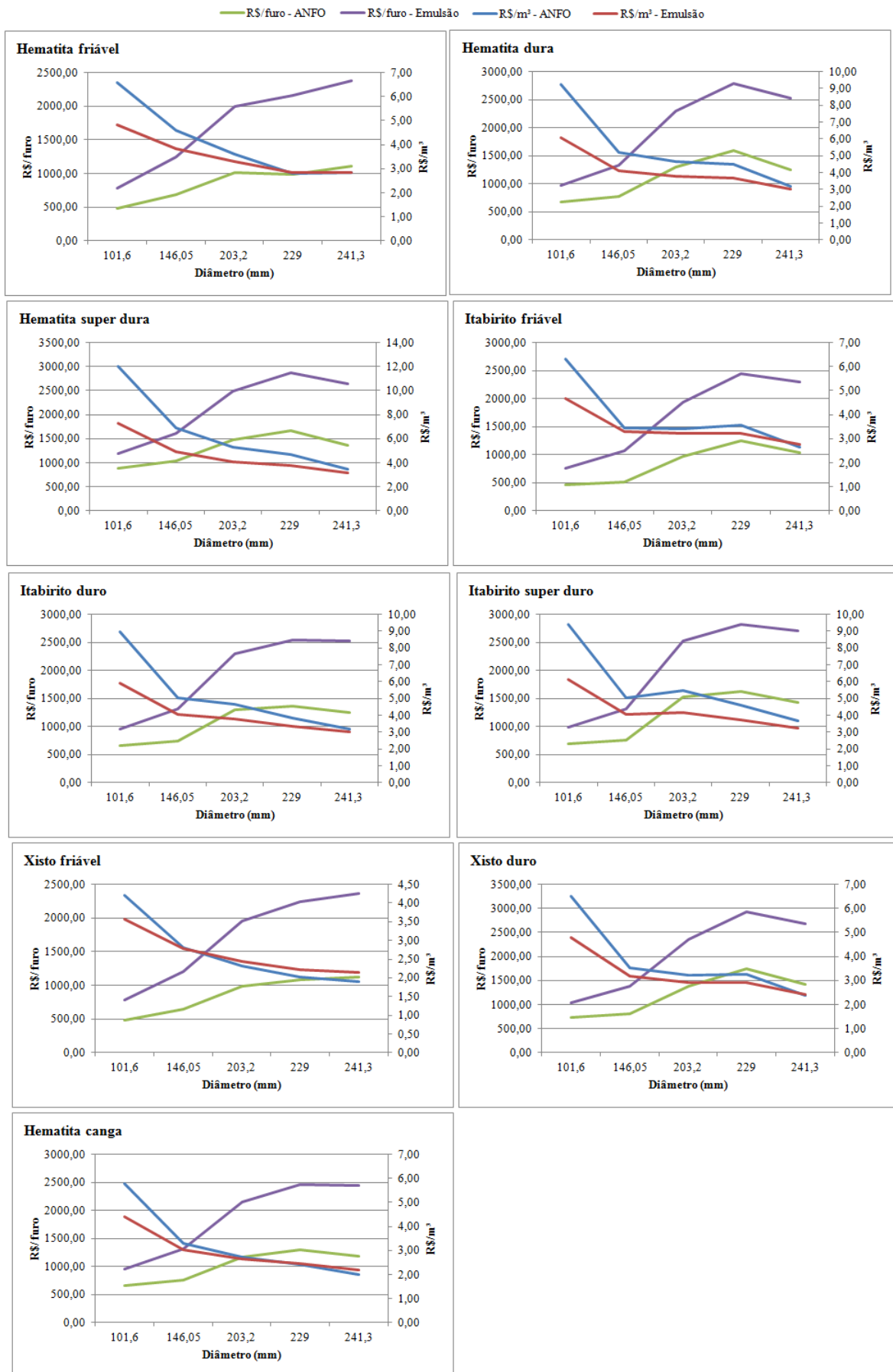


Figura 67 – Custo por m³ e por furo em função dos diâmetros de perfuração para cada litologia analisada.

### 4.3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Na estimativa de custos, as variáveis que são geradoras de gastos estão em constante oscilação quanto ao seu valor, por isso é necessário interpretar e analisar o impacto destas variações no custo final do processo. Para realizar esta análise, optou-se por manter fixa a litologia, no caso a escolhida foi o itabirito duro, uma vez que para cada litologia a variação é diferente, mas com o comportamento similar. Tendo sido feita esta escolha, foram simulados os cenários de variação do custo por furo para um aumento de 50% e uma diminuição de 50% no custo da variável analisada e posteriormente interpretadas as variações encontradas em cada tipo de frota.

#### 4.3.1. Análise de sensibilidade do custo de perfuração

Para observar as oscilações do custo por  $m^3$ , foi fixado a litologia em itabirito duro, o comprimento da bancada em 50m e a altura em 15m. Para determinar estas variações, foram simulados cenários onde o custo variava 50% a mais e a menos. A Figura 68 é referente à variação encontrada quando modificado o custo de perfuração por furo. Como pode ser observado, o custo final varia entorno de 40 a 20% quando aumentamos e diminuímos o custo de perfuração no caso para ANFO e para emulsão esta variação é menor, cerca de 30 a 10%.

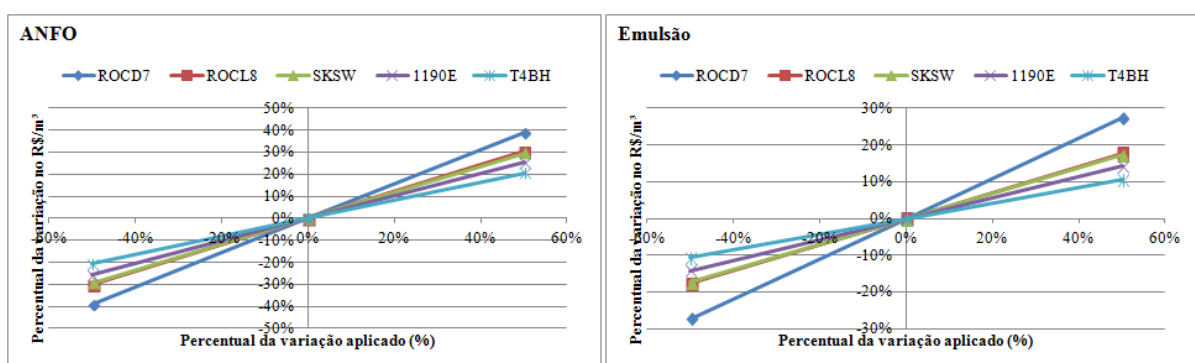


Figura 68 – Percentual da variação do custo por  $m^3$  em função do percentual do custo total de perfuração por metro.

A Figura 69 apresenta a variação realizada apenas para o custo de combustível por furo. Quando se altera este custo em 50% a mais ou a menos, o custo final por  $m^3$  oscila entre 6 e 2% para ANFO e entre 4 e 1% para emulsão, o que pode ser considerado um percentual

pequeno em relação ao custo total, ou seja, caso ocorra um aumento ou decréscimo neste custo a sua influência no custo final está entre as porcentagens observadas.

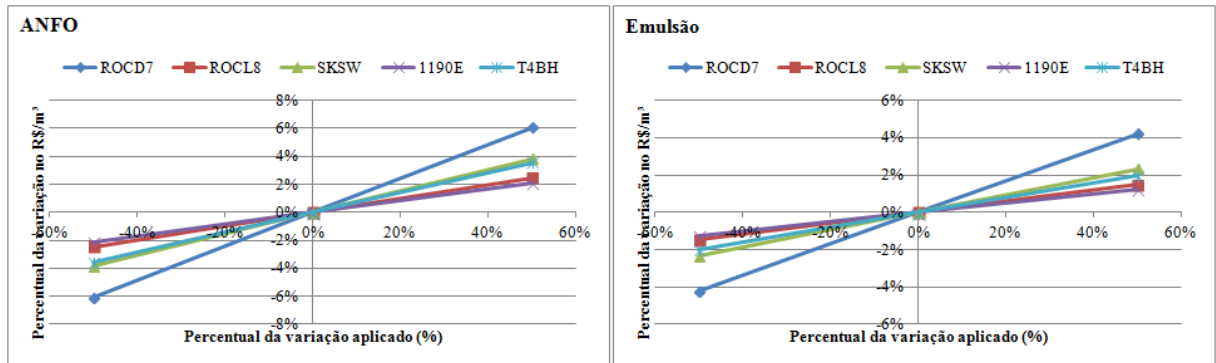


Figura 69 – Percentual da variação do custo por m<sup>3</sup> em função do percentual do custo de combustível por furo.

A Figura 70 apresenta a oscilação do custo por m<sup>3</sup> para diferentes variações do custo de mão de obra por furo. Como se pode observar, o custo oscila entre 8 e 4% para ANFO e entre 6 e 2% para emulsão. Este custo em relação ao de combustível apresenta uma maior influência sobre o custo por m<sup>3</sup>, devido ao aumento das porcentagens.

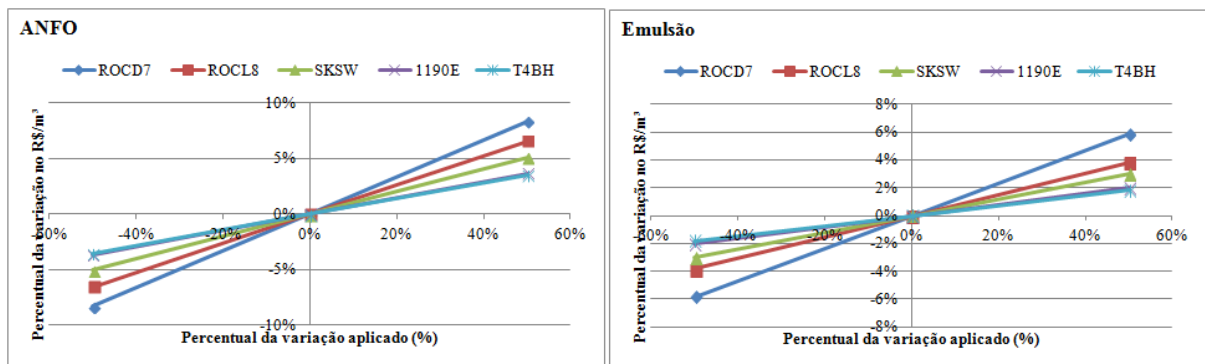


Figura 70– Percentual da variação do custo por m<sup>3</sup> em função do percentual do custo de mão de obra por furo.

Na Figura 71 estão representadas as oscilações do custo por m<sup>3</sup> em função do aumento e da diminuição percentual do custo com materiais de reposição. Esta oscilação varia entre 3 e 1,5% para ANFO e entre 2 e 1% para emulsão.

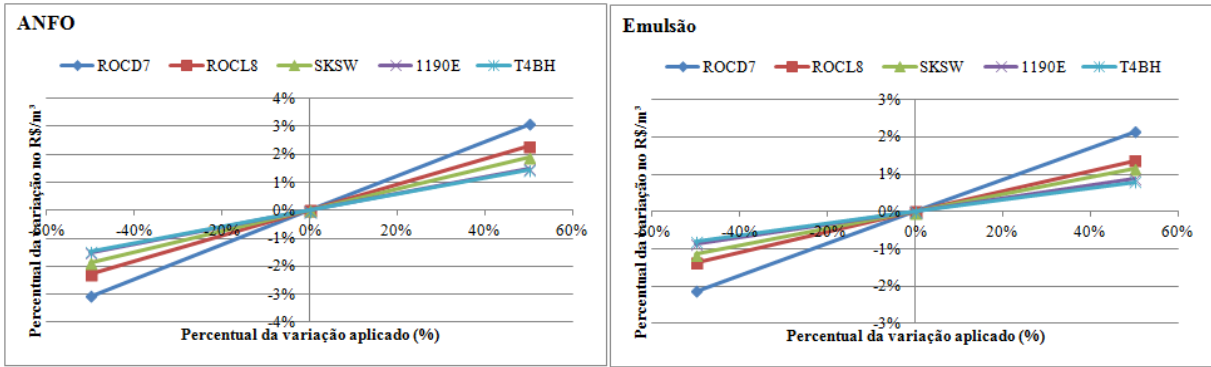


Figura 71– Percentual da variação do custo por m<sup>3</sup> em função do percentual do custo de materiais de reposição por furo.

A Figura 72 apresenta a oscilação do custo por m<sup>3</sup> em função da variação do custo de depreciação por furo. Como se pode observar, este custo oscila muito pouco, entre 3 e 1% para ANFO e entre 2 e 1% para emulsão.

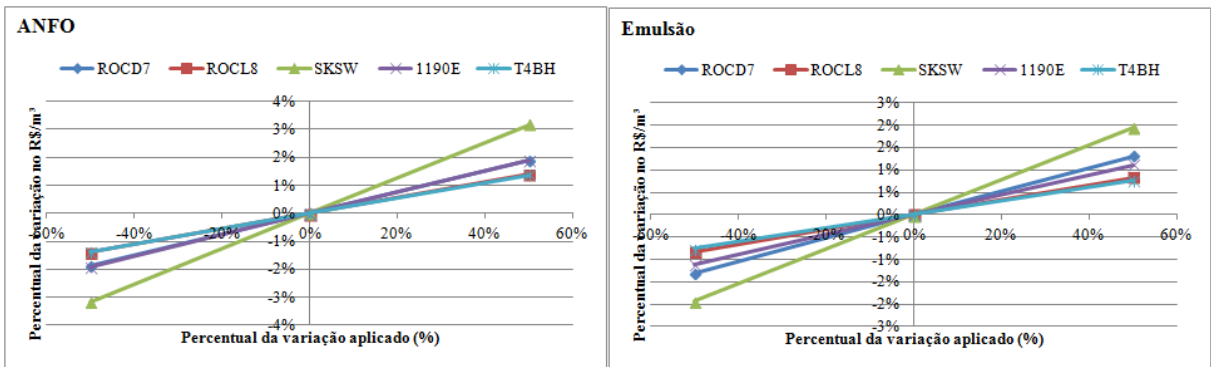


Figura 72– Percentual da variação do custo por m<sup>3</sup> em função do percentual do custo de depreciação por furo.

A Figura 73 mostra a última análise que foi realizada entre os custos de perfuração por furo, onde foi observada a variação em função do custo de manutenção por furo. Se pode observar que o percentual varia entre 20 e 10% para ANFO e entre 13 e 5% para emulsão.

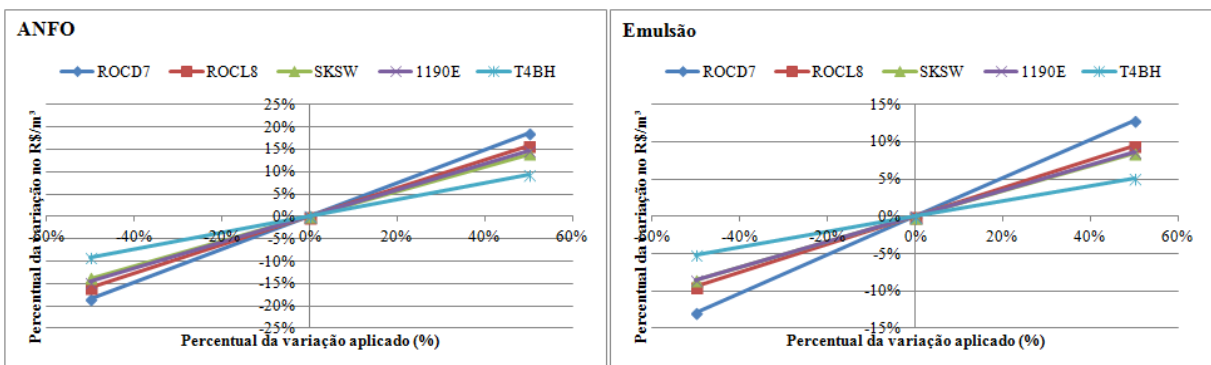


Figura 73– Percentual da variação do custo por m<sup>3</sup> em função do percentual do custo de manutenção por furo.

Nos casos simulados foi observado que as menores oscilações, ou seja, sensibilidade no custo por m<sup>3</sup> foram encontradas quando se varia os custos de mão de obra e materiais de reposição por furo. Esta menor influência destas variáveis pode ser observada previamente quando foi feito a análise do custo por furo na seção 4.1 onde elas apresentaram um percentual menor sobre o custo total. A maior sensibilidade foi observada quando se variou o custo de manutenção por furo, já que este representa a maior parcela dentre os custos de perfuração.

A frota de perfuratrizes que apresentou a maior oscilação devido às simulações foi a frota ROCD7, que por sua vez é a que possui o maior custo associado e a que apresentou a menor oscilação foi a frota T4BH, esta que possui o menor custo por m<sup>3</sup> associado. Portanto, se pode concluir que quanto menor for o custo por m<sup>3</sup>, menor será a sensibilidade devido às variações dos custos da operação de perfuração, uma vez que ela é diretamente função da grandeza da mesma.

#### 4.3.2. Análise de sensibilidade do custo de desmonte

A análise de sensibilidade para o custo de desmonte foi realizada a fim de observar a influência do custo desta etapa do processo no custo final por m<sup>3</sup>. Para tanto foi utilizada a mesma situação descrita anteriormente, com a litologia fixada em itabirito duro, o comprimento da bancada em 50m e a altura em 15m.

Na Figura 74 se pode observar a oscilação do custo por m<sup>3</sup> em função da variação do custo de desmonte por furo. Quando se acrescenta 50% ao custo de desmonte a variação encontrada é entre 30 e 10% para ANFO e entre 40 e 20% para emulsão, o inverso encontrado na variação do custo total de perfuração. Quando se diminui o custo em 50% a variação fica entre 30 a 10% para ANFO e entre 40 e 20% para emulsão.

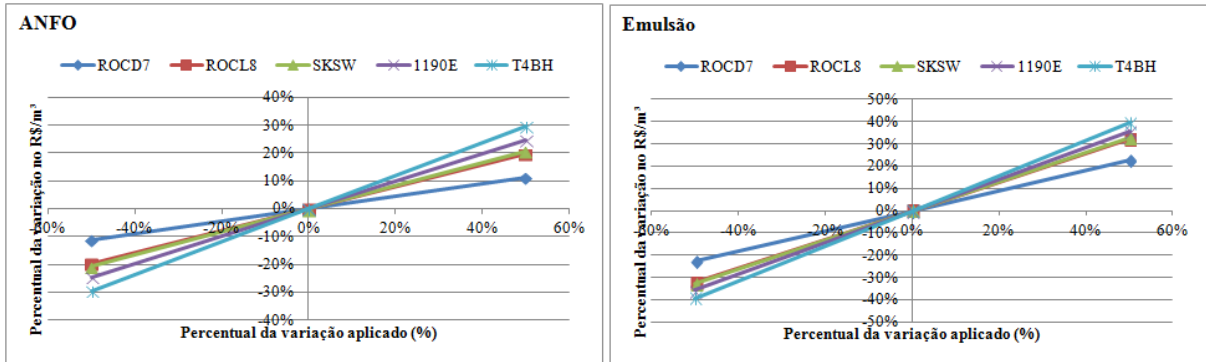


Figura 74– Percentual da variação do custo por m<sup>3</sup> em função do percentual do custo de desmonte por furo.

A Figura 75 apresenta a variação do custo por m<sup>3</sup> em função do aumento e da diminuição em 50% do custo de transporte do explosivo por furo. Esta variação possui um comportamento proporcional, variando entre 9 e 5% para ANFO e entre 9 e 5% para emulsão. Estes valores similares encontrados entre ambos explosivos ocorrem porque este custo está associado à quantidade de explosivo transportada, que quando analisada entre furo é muito similar, sendo, portanto a diferença em percentual muito pequena.

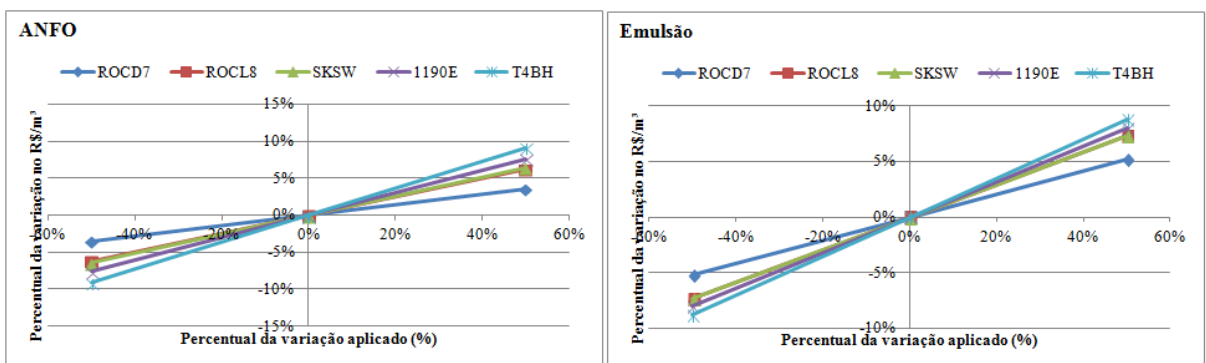


Figura 75– Percentual da variação do custo por m<sup>3</sup> em função do percentual do custo de transporte por furo.

A Figura 76 apresenta a oscilação encontrada no custo por m<sup>3</sup> quando variado o custo de mão de obra de desmonte por furo. A oscilação encontrada está entre 6 e 2% para ANFO e entre 8 e 4% para emulsão. Os valores encontrados nesta simulação são similares com os encontrados durante a análise do custo por furo, onde a mão de obra do desmonte possuía um custo percentual elevado comparado ao custo de desmonte por furo.

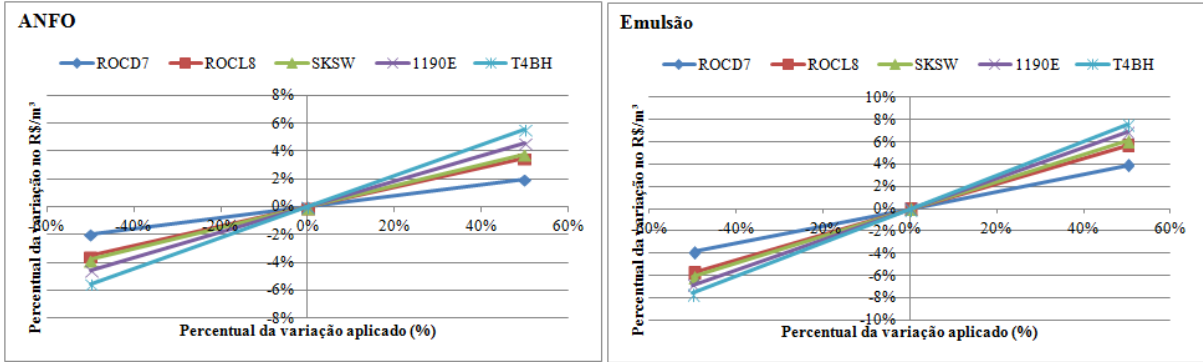


Figura 76– Percentual da variação do custo por m³ em função do percentual do custo de mão de obra de desmonte por furo.

A Figura 77 apresenta a oscilação do custo por m³ em função da variação percentual do custo de explosivo por furo. Pode-se observar que o custo por m³ oscila entre 15 e 5% para ANFO e entre 23 e 13% para emulsão. O valor do percentual da variação condiz com os resultados encontrados na análise do custo de desmonte por furo.

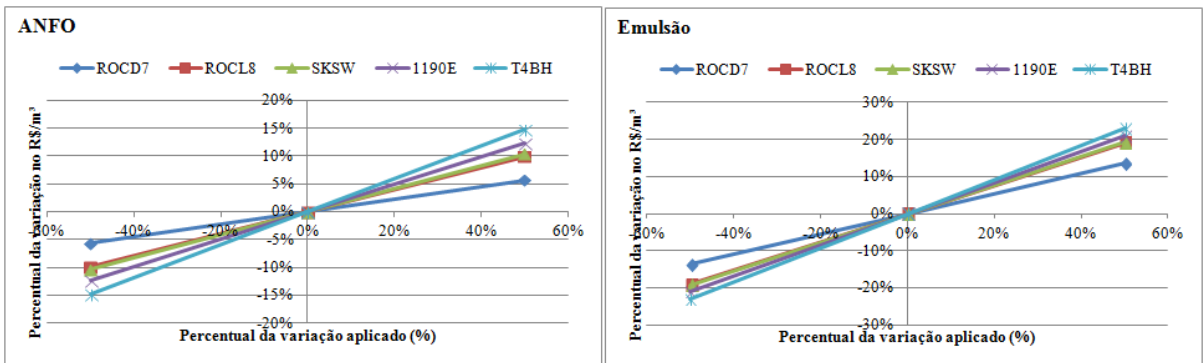


Figura 77– Percentual da variação do custo por m³ em função do percentual do custo de explosivos por metro.

Nos casos apresentados na simulação da variação do custo do desmonte em 50% a mais e a menos foi analisado que a maior sensibilidade do custo por m³ está associada à variação do custo de explosivo e de mão de obra de desmonte, dependendo do tipo de frota. Em todos os casos simulados, o percentual de variação do custo por m³ está ligado à emulsão, fato este que ocorre devido ao próprio custo do explosivo ser maior e da mão de obra que é mais cara por ser terceirizada. Quando maior o valor da grandeza, maior a sua sensibilidade às variações a que são submetidas.

Diferentemente dos casos simulados e analisados para perfuração, no desmonte ocorre o inverso com as frotas. Quanto maior o diâmetro, maior a sensibilidade à variação dos custos e maior a oscilação sofrida. O que ocorre é que quanto maior o diâmetro do furo



associado à frota, maior a quantidade de explosivo consumida e, portanto, maior o custo de mão de obra também. Isto significa que mesmo que o custo por  $m^3$  destas frotas seja mais barato do que frotas com diâmetro menor, ele está sujeito a uma maior sensibilidade na variação dos custos ligados ao processo de desmonte.

No caso das situações simuladas para o custo de desmonte por furo, ficou clara a influência do custo de explosivo, uma vez que as frotas com as maiores oscilações associadas foram as de maior diâmetro. O que se pode concluir da análise de sensibilidade é que quando variado o custo de perfuração, as frotas mais atingidas são aquelas cujo diâmetro de perfuração é menor e que são capazes de desmontar volumes pequenos de rocha, por isso o impacto no custo por  $m^3$  é mais elevado. Já nos casos de oscilação no custo de desmonte, as frotas mais atingidas são aquelas que utilizam mais explosivos no próprio furo e que quanto maior o valor do mesmo, maior o impacto.

# Capítulo 5

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nesta seção serão feitas as considerações finais sobre a metodologia desenvolvida nas seções anteriores, abordando e discutindo os resultados obtidos, abrangendo todos os tópicos apresentados. Ao final serão feitas recomendações para trabalhos futuros.

### 5.1. CONCLUSÕES

Para alcançar a meta de estimar através de um algoritmo de cálculo a influência dos custos de perfuração e desmonte para diferentes tipos de rocha e equipamentos para estimativa do custo por volume de rocha fragmentada em função de diferentes cenários, foi realizada uma sequência de etapas utilizando a metodologia proposta aplicada ao estudo de caso.

O algoritmo para estimativa de custos de perfuração e desmonte, desenvolvido no presente trabalho, é uma ferramenta de grande valia uma vez que forneceu um grande número de informações sobre as diferentes situações abordadas, de forma a ser possível aplicar estas informações obtidas para a melhoria do processo no que concerne a redução de custos.

O uso da ferramenta tornou evidente a importância e a influência da taxa de perfuração no custo final do produto, onde se concluiu que quanto maior a taxa de perfuração, menor é o custo associado à mesma, bem como maior a estabilidade do mesmo em função do aumento da taxa. Sobre este ponto de vista, quanto menor for a taxa de perfuração, maior o custo associado à mesma, e maior a variação. A importância da taxa de perfuração no custo é justificada pelo fato de que ela irá determinar o tempo que irá demorar a executar um determinado furo, e como os custos estão interligados com as horas, eles variam conforme a mesma.

Devido a flexibilidade do algoritmo foi possível simular diferentes situações para o uso de explosivos, onde foi possível observar que, apesar de terem sido considerados custos maiores quando se utiliza o explosivo tipo emulsão, estes custos ao final da análise foram diluídos no volume de rocha fragmentada, uma vez que a emulsão gera uma concentração de

carga maior por furo quando comparada ao ANFO o que por consequência, leva a um menor número de furos necessários para desmontar uma bancada de mesmo comprimento, agregando aos seus furos um volume maior do que para o ANFO, sendo o custo diluído neste volume.

A ferramenta utilizada proporcionou a estimativa do custo por furo, que por sua vez forneceu um número de informações bastante elevado quanto à relação existente entre o custo de perfuração e de desmonte para diferentes diâmetros de furo para ambos explosivos. Foi possível analisar que existe um ponto onde estes custos se igualam e que ele ocorre em diferentes momentos em função da taxa de perfuração. Devido a esta conexão direta entre o custo por furo e a taxa, foi possível determinar as equações da reta que passam pelos pontos referentes a estas duas variáveis, que foram distinguidos por tipo de frota. A obtenção destas equações sugere que seja possível a sua utilização na estimativa de outras litologias, apenas possuindo a informação referente à taxa de perfuração respectiva a ela.

Além de fornecer o custo por furo, o algoritmo estimou o custo em função da geometria da bancada. Para tal, foram elaboradas situações que dependiam apenas das variáveis: o comprimento da bancada; altura de bancada; diâmetro do furo; e litologia. A simulação destas variáveis modifica o plano de fogo, que, por conseguinte afeta o volume de rocha a ser fragmentado por furo e o custo final.

Com o uso da ferramenta foi possível concluir que a geometria da bancada influenciava mais quando em pequenas distâncias e que quanto maior o comprimento e a altura, menor era o custo por  $m^3$ . Observou-se também que quanto maior o comprimento da bancada, mais estacionário o custo ficava, o que foi justificado pela razão de carga possuir este mesmo comportamento. Quanto à altura, a variação encontrada nas simulações foi muito pequena em relação à grandeza do valor. No final, concluiu-se que o fator predominante era o diâmetro do furo e que ele, juntamente com a taxa de perfuração, era os responsáveis diretos sobre o custo de perfuração.

Ao observar o conjunto de informações obtidas nos diferentes cenários, a conclusão foi que quanto maior o diâmetro do furo e maior a taxa de perfuração, menor o custo por  $m^3$  e que o inverso também é verdadeiro.

A utilização do algoritmo permitiu realizar uma análise de sensibilidade a fim de compreender qual seria o impacto sofrido no custo final do produto quando ocorrer à oscilação de algum custo associado ao processo. Para esta análise foram simuladas diferentes situações de variação nos custos de perfuração e de desmonte por furo, que oscilaram em 50% para mais e para menos. O que foi observado na análise de perfuração foi que o custo que

mais influenciou no custo por m<sup>3</sup> foi o com a manutenção e que nas situações que utilizaram ANFO eram sempre mais elevados os impactos do que com os casos com a emulsão. Este fato pode ser explicado pelo volume desmontado pelo furo de emulsão que é maior do que aquele desmontado para ANFO, que acarreta em um custo por m<sup>3</sup> menor para este explosivo em função deste volume.

O trabalho executado pode ser de grande valia no auxílio na tomada de decisões quanto ao equipamento mais economicamente viável para executar determinado plano de fogo em uma rocha específica, bem como quais as situações de custo que podem ocorrer em função da escolha do tipo explosivo. Além destas informações, a ferramenta quando corretamente calibrada, pode fornecer estimativas de custos em função do volume de rocha a ser fragmentado e pode auxiliar na elaboração do custo orçamentário em função da produção a ser atingida.

## 5.2. RECOMENDAÇÕES

O algoritmo desenvolvido e aplicado no presente trabalho incorporou uma série de variáveis no que concerne a economia do processo em função da seleção do plano de fogo e das características dos equipamentos e das litologias presentes. Para que se possa obter uma reflexão dos impactos destas seleções nos custos das etapas seguintes, é de grande importância realizar a sequência dos custos nos processos de carregamento, transporte e cominuição, desta forma a análise teria um foco global e abrangeria diferentes cenários até a otimização do processo de lavra em sua magnitude.

Devido ao fato de que a metodologia apresentada no presente trabalho abordou os custos relativos consumidos em um espaço de dez meses, que pode ser considerado um período curto quando falamos em grandes volumes de produção, para uma estimativa mais acurada e precisa é sugerido avaliar o comportamento dos custos em um período mais longo de no mínimo um ano onde se possam obter todas as oscilações causadas pela sazonalidade, aumentando a confiabilidade dos dados a serem utilizados.

Quando se observa os resultados obtidos na estimativa, ficam algumas questões a serem respondidas, como: seria possível prever o custo de perfuração ou de desmonte por furo um em função do outro, com base no ponto de igualdade entre os percentuais observados nas análises feitas? Esta relação será verdadeira? Se fosse utilizado outro método de dimensionamento de plano de fogo diferente do utilizado, o comportamento dos custos seria

similar? Seria possível medir esta variação? O aprofundamento das questões acima, bem como uma análise mais detalhada sobre as variáveis, acrescentaria informações e aumentaria a confiabilidades dos dados.

## REFERÊNCIAS

- Afeni, T. B. **Optimization of drilling and blasting operations in an open pit mine – the SOMAIR experience**. Mining Science and Technology. May. 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 1 de agosto de 2013.
- AUSTRALIAN DRILLING INDUSTRY TRAINING COMMITTEE LIMITED, **Drilling: the manual of methods applications, and management**. 4. ed. [S. I.]: Lewis Publishers. 1997. 615 p.
- Bhandari, S. **Engineering Rock Blasting Operations**. Rotterdam: A. A. Balkema. 1997. 375 p.
- Bornia, A. C. **Análise Gerencial de Custos: aplicação em empresas modernas**. São Paulo: Bookman. 2007. 203 p.
- Brimson, J. A. **Contabilidade por Atividade: uma abordagem de custeio por atividade**. 1. ed. São Paulo: Atlas. 1996. Tradução Antônio T. G. Carneiro. 229 p.
- Eloranta, J. **Downstream Costs and their relationship to blasting**. J Eloranta & Associates. June. 1999. Disponível em: <<http://www.elorantaassoc.com/papers/>>. Acessado em: 1 de agosto de 2013.
- Giltner, S. G.; Koski, A. E. The application of a blast audit for production improvement. In: FRAGBLAST, International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, 9. 2009. Granada. **Rock Fragmentation by Blasting**. Leiden: CRC Press/ Balkema. 2010. p. 723-730.
- Gokhale, B. V. **Rotary drilling and blasting in large surface mines**. Leiden: CRC Press/Balkema. 2011. 744 p.
- Hartman, H. L. *et al.* **SME Mining Engineering Handbook**. 2. ed. Littleton: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. 1992. 2 v.
- Hemphill, G. B. Cost Determination. In: International Society of Explosives Engineers Annual Conference, 4. 1978. **Anais Eletrônicos ISEE General Proceedings & 1978 Research Proceedings**. New Orleans. 2000. CD-ROM.
- Hirschfeld, H. **Engenharia Econômica e Análise de Custos**. 7. ed. São Paulo: Atlas. 2010. 519 p.
- Hustrulid, W. **Blasting Principles for Open Pit Mining: general design concepts**. Rotterdam: A.A. Balkema. 1999. 2 v. 328 p.
- Ingmarsson, K. Drilling Productivity and Total Drilling Cost. In: International Society of Explosives Engineers Annual Conference, 24. 1998. **Anais Eletrônicos ISEE General Proceedings & 1998 Research Proceedings**. New Orleans. 2001. CD-ROM.
- Jimeno, C. L.; Jimeno, E. L.; Francisco, J. A. C. **Manual de perforacion y voladura de rocas**. [S.I.]: Instituto Tecnológico Geominero de España. 1995. 541 p. (Tecnologia y Seguridad Minera).

- Konya, C. J. **Blast Design**. Montville: Intercontinental Development. 1995. 230 p.
- Lapeyrouse, N. J. **Formulas and Calculations for drilling, production, and workover**. 2. ed. [S.I.]: Elsevier Science. 2002. 224 p.
- Martins, E. **Contabilidade de Custos**. 9. ed. São Paulo: Atlas. 2006. 230 p.
- Mesquita, J. M. C. **Análise de Custos**. Belo Horizonte: FEAD. 2009. 147 p.
- Oliveira, L. M.; Perez Jr, J. H. **Contabilidade de Custos: para não contadores**. São Paulo: Atlas. 2000. 280 p.
- Olofsson, S. O. **Applied Explosives Technology for Construction and Mining**. 2. ed. Årila: APPLEX. 1990. 304 p.
- Paterson, L.B. Productive and cost effective drilling. In: SME Annual Meeting, 128. 1999. Denver. **Preprint 99-78**. Denver, 1999.
- Paterson, L. B. Drilling Efficiency and the Associated Benefits to the Mining Process. In: International Society of Explosives Engineers Annual Conference, 26. 2000. **Anais Eletrônicos ISEE General Proceedings & 2000 Research Proceedings**. Anaheim. 2001. CD-ROM.
- Rajpot, M. A. **The effect of fragmentation specification on blasting cost**. 2009. 215 p. Dissertação de mestrado - Departamento de Engenharia de Minas, Queen's University, Kingston, 2009.
- Scott, A. *et al.* **Open Pit Blast Design: Analysis and Optimisation**. Queensland: JKMRC. 1996. 338 p.
- Sharma, D. K. *et al.* A performance prediction model for optimized drilling and blasting costs. In: FRAGBLAST, International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, 3. 1990. Brisbane. **Conference Proceedings**. Victoria. AUSIMM: 1990.
- Silva, M. A. R.; Siriani, F. A. **Considerações gerais sobre desmonte de rocha: análise de custo – índice de produtividade e otimização da malha de perfuração**. Boletim técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo. 1992.
- Yarali, O.; Soyer, E. **The effect of mechanical rock properties and brittleness on drillability**. Academic Journal. March. 2011. Disponível em: <<http://academicjournals.org/SER>>. Acessado em: 1 de agosto de 2013.