



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

JOSÉ INÁCIO GOMES NETO

**PROJETO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM EMPREENDIMENTO MINEIRO
NA VILA MURIBECA**

Recife

2024

JOSÉ INÁCIO GOMES NETO

**PROJETO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM EMPREENDIMENTO MINEIRO
NA VILA MURIBECA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador (a): Júlio César de Souza

Recife

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Gomes Neto, José Inácio.

Projeto de viabilidade econômica de um empreendimento mineiro na Vila Muribeca / José Inácio Gomes Neto. - Recife, 2024.

72

Orientador(a): Júlio César de Souza

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia de Minas - Bacharelado, 2024.

1. Projeto de Mineração. 2. TCC. 3. Mineração de brita. 4. Mineração de areia. 5. Análise Econômica na mineração. I. Souza, Júlio César de. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

JOSÉ INÁCIO GOMES NETO

**PROJETO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM EMPREENDIMENTO MINEIRO
NA VILA MURIBECA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia de
Minas da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia de Minas

Aprovado em: 25/10/2024

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dr. Júlio César de Souza (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Marinésio Pinheiro de Lima (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Engº de Minas Gabriel Filinkovski (Examinador Externo)
Caraíba Metais S/A

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho, primeiramente, aos meus pais, Maria e Marivaldo, que estiveram ao meu lado desde o início da minha graduação, apoiando-me em todos os momentos ao longo desses anos e tornando possível minha trajetória acadêmica. Expresso também minha gratidão ao Prof. Dr. Júlio César de Souza por toda a orientação e suporte na elaboração deste trabalho, e a todos os professores do Curso de Graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco pelo conhecimento compartilhado e pela dedicação ao ensino.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é investigar a viabilidade técnica e econômica da exploração de granodiorito de uma mina na região de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, com o objetivo de produzir brita e areia industrial com finalidade para uso na construção civil. Inicialmente temos uma análise geológica detalhada da área, situada na Suíte Itaporanga, que identifica características físico-químicas favoráveis à exploração, como a alta resistência e a baixa reatividade álcali-agregado. O planejamento de lavra inclui métodos de desmonte com explosivos, para uma eficiente fragmentação do material, e especifica a infraestrutura de apoio, como vias de acesso e instalações de britagem. Para atender a uma produção mensal planejada garantindo eficiência operacional e otimização dos custos, os equipamentos, como perfuratrizes e escavadeiras, foram dimensionados correspondentemente para suprir as exigências. A logística de transporte é desenvolvida para integrar o local da lavra à malha rodoviária da Região Metropolitana do Recife, destino final majoritário. Também apresenta uma análise de mercado, dando foco à demanda crescente na região pelo produto e a competitividade do granodiorito frente a outros materiais. O estudo de viabilidade econômica é complementado por um fluxo de caixa que projeta o retorno sobre o investimento, considerando uma produção inicial de 10.700 m³/mês, compatível às demandas do mercado local. Assim, o trabalho conclui que a exploração de granodiorito na área estudada é viável, desde que sejam seguidas as diretrizes técnicas, ambientais e de segurança estabelecidas.

Palavras-chave: Projeto de Mineração, TCC, Mineração de brita, Mineração de areia, Análise Econômica na mineração.

ABSTRACT

The aim of this work is to investigate the technical and economic viability of exploiting granodiorite from a mine in the region of Jabotão dos Guararapes, Pernambuco, with the aim of producing industrial gravel and sand for use in civil construction. Initially, there was a detailed geological analysis of the area, located in the Itaporanga Suite, which identified physical and chemical characteristics favorable to exploitation, such as high resistance and low alkali-aggregate reactivity. The mining plan includes explosive blasting methods, for efficient fragmentation of the material, and specific support infrastructure, such as access roads and crushing facilities. In order to meet a planned monthly output while guaranteeing operational efficiency and optimizing costs, equipment such as drills and excavators have been sized accordingly. The transportation logistics are designed to integrate the mining site with the road network of the Recife Metropolitan Region, the main final destination. A market analysis is also presented, focusing on the growing demand for the product in the region and the competitiveness of granodiorite compared to other materials. The economic feasibility study is complemented by a cash flow that projects the return on investment, considering an initial production of 10,700 m³/month, compatible with the demands of the local market. The study therefore concludes that the exploitation of granodiorite in the study area is feasible, provided that the technical, environmental and safety guidelines established are followed.

Keywords: Mining Project, TCC, Gravel mining, Sand mining, Economic Analysis in mining.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 - INTRODUÇÃO | 9 |
| 2 - LOCALIZAÇÃO | 10 |
| 2.1 Vias de Acesso | 12 |
| 3 - GEOLOGIA | 14 |
| 3.1 Reservas Geológicas | 15 |
| 4 - MERCADO PARA O GRANODIORITO | 17 |
| 5 – FISIOGRAFIA E INFRAESTRUTURA LOCAL | 19 |
| 6 - DESENVOLVIMENTO | 21 |
| 6.1 - Abertura de Vias De Acesso | 21 |
| 6.2 - Remoção da Vegetação, Solo Superficial e Estocagem | 24 |
| 6.3 - Drenagem da Pedreira | 24 |
| 6.5 - Edificações | 25 |
| 6.6 - Manipulação de Explosivos | 26 |
| 6.7 - Sistema de Captação e Abastecimento de Água | 27 |
| 7 - PLANTA DE BRITAGEM | 28 |
| 7.1 - Alimentador Vibratório, modelo AVF 4'x18' | 28 |
| 7.2 - Britador de Impacto Horizontal, modelo HSI 1300 / HSI 1012 | 30 |
| 7.3 - Britador de Impacto Vertical, modelo VSI 225 | 31 |
| 7.4 - Peneira Vibratória Inclinação, modelo AIS 5' K 14' DD e AIS 81 x 20' TD | 32 |
| 7.5 - Peneira Vibratória Modular, modelo AHFS 8' e 20' DO | 33 |
| 7.6 - Calhas Vibratórias, ACV 150100 e 13080 | 34 |
| 7.7 - Transportadores de Correias | 35 |
| 7.8 - Fluxograma | 37 |
| 8 - PROJETO DE LAVRA | 38 |
| 8.1 - Dimensionamento da Perfuração | 40 |
| 8.2 - Dimensionamento do Carregamento | 41 |
| 8.3 - Dimensionamento do Transporte | 43 |
| 8.4 - Dimensionamento do Plano de Fogo | 45 |
| 9 - PLANEJAMENTO DE LAVRA | 53 |
| 10 - ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA | 55 |
| 10.1 - Parâmetros para Elaboração do Estudo de Viabilidade Econômica | 57 |
| 11 - CONCLUSÕES SOBRE A VIABILIDADE DA LAVRA | 71 |
| 12 - REFERÊNCIAS | 72 |

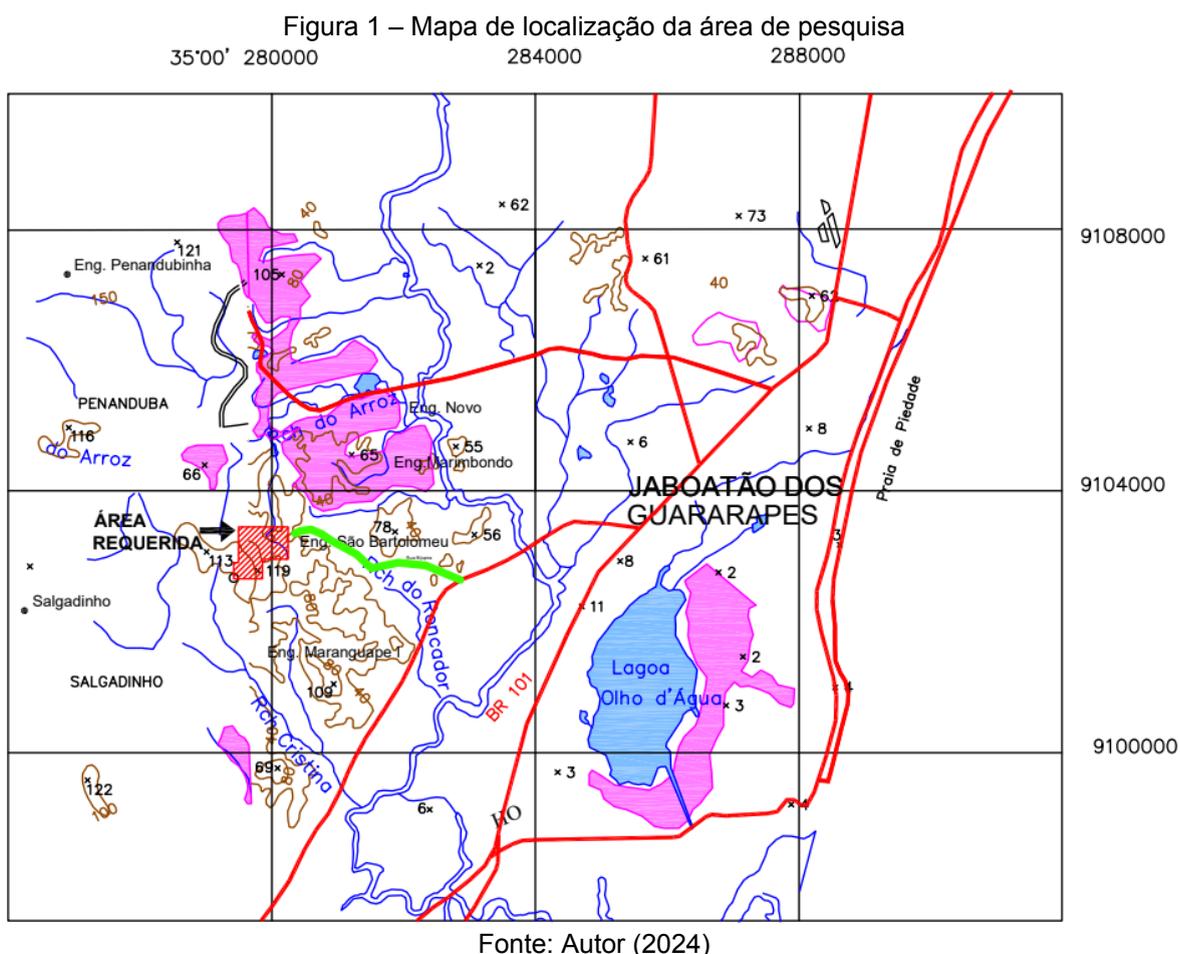
1 - INTRODUÇÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso aborda a exploração de granodiorito na região de Jaboatão dos Guararapes, próximo à Vila Muribeca, Pernambuco, destacando o potencial econômico e a viabilidade técnica da lavra desta rocha para a produção de brita e areia industrial. A pesquisa foca na caracterização geológica da área, nos processos de exploração planejados e na análise de mercado para agregados utilizados na construção civil, setor em constante crescimento na Região Metropolitana do Recife.

Além disso, são detalhados os aspectos técnicos do plano de lavra, incluindo dimensionamento de equipamentos, procedimentos de desmonte e logística de transporte, com o objetivo de garantir eficiência e segurança na operação. Este estudo contribui para a compreensão da viabilidade e dos impactos econômicos e sociais da extração mineral na região, atendendo às exigências de sustentabilidade e controle ambiental.

2 - LOCALIZAÇÃO

A área pesquisada está localizada próxima a Vila Muribeca, zona rural do Município de Jaboatão dos Guararapes – PE, inserida no interior da Região Metropolitana do Recife.



O ponto de amarração é um ponto tomado no campo com auxílio de GPS Garmin modelo Colorado 300T, sendo o vértice 1 da poligonal.

Figura 2 – Poligonal da área de pesquisa junto à ANM

DICAM/DNPM - Conversor/Navegador

DT: SAD69 MC: 33 W HEMISF: S

VALIDA DMS VALIDA DECIMAL VALIDA UTM

Lon: 035g00'08.048" W -35.002235556 WE: 279410.453

Lat: 08g10'57.761" S -8.182711389 SN: 9094951.163

Idt:

Com: . N W E Aplica Vetor Adiciona Ponto

Azm: . S VAL AZM Desfaz Vetor 499853.8 m2

Rmo: N g ' . " E VAL RMO 034g59'54.037" W (-034.998343649) 00000428.870 m

008g10'39.197" S (-008.177554768) -0904291.723 m

Unidade: DMS DEC UTM Exclui ponto

1 035g00'08.048" W 008g10'57.761" S:

2 035g00'05.586" W 008g10'57.761" S:

3 035g00'05.586" W 008g10'40.010" S:

4 034g59'41.000" W 008g10'40.010" S:

5 034g59'41.000" W 008g10'56.048" S:

6 034g59'52.558" W 008g10'56.048" S:

De: Para: Calcula 0 m 0 g 000g00'00.000"

008g10'36.801" S

008g11'09.220" S

035g00'10.753" W 034g59'38.295" W

Fonte: ANM (2024)

Tabela 1 – Coordenadas geográficas dos vértices da poligonal

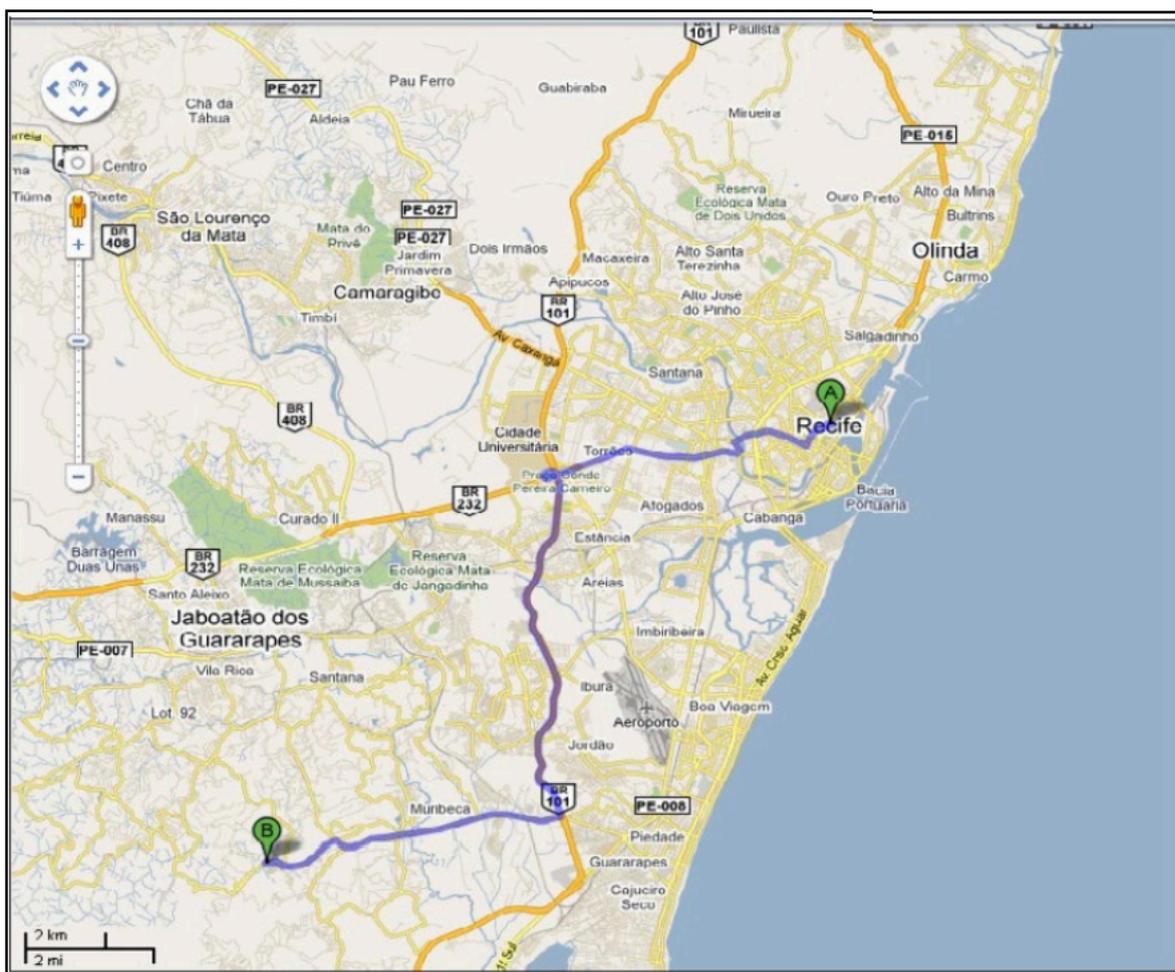
| | | |
|------------|----------------|----------------|
| Vértice 1 | -08° 11'05"811 | -34° 59'55"257 |
| Vértice 2 | -08° 11'05"811 | -35° 00'08"048 |
| Vértice 3 | -08° 10'57"761 | -35° 00'08"048 |
| Vértice 4 | -08° 10'57"761 | -35° 00'05"586 |
| Vértice 5 | -08° 10'40"010 | -35° 00'05"586 |
| Vértice 6 | -08° 10'40"010 | -34° 59'41"000 |
| Vértice 7 | -08° 10'56"048 | -34° 59'41"000 |
| Vértice 8 | -08° 10'56"048 | -34° 59'52"558 |
| Vértice 9 | -08° 10'57"329 | -34° 59'52"558 |
| Vértice 10 | -08° 10'57"329 | -34° 59'53"710 |
| Vértice 11 | -08° 11'05"713 | -34° 59'53"710 |
| Vértice 12 | -08° 11'05"811 | -34° 59'55"257 |

Fonte: ANM (2024)

2.1 Vias de Acesso

A área está localizada na extremidade sul da Vila Muribeca, na Região Metropolitana do Recife, distante cerca de 14 km em linha reta com rumo 45° SE do município de Recife, no chamado Distrito de Muribeca, Município do Jaboatão dos Guararapes, Estado de Pernambuco.

Figura 3 – Mapa de Acesso à Área de Pesquisa Mineral



Fonte: Autor (2024)

Partindo-se do Recife, o acesso à área é feito através da rodovia pavimentada BR 101 – Sul até chegar-se a PE 07 (eixo da integração), tomando-se direção ao aterro da Muribeca percorre-se cerca de 7 km até chegar-se a entrada da Vila de Muribeca onde toma se estrada lateral à esquerda em direção à Vila.

Após percorrer-se a Vila de Muribeca passando a igreja velha (ruínas históricas) toma-se a estrada carroçável à direita e percorre-se cerca de 1 km até tomar-se novamente inflexão à esquerda em estrada carroçável e chega-se a área de pesquisa após trafegar cerca de 500 m (figura 3).

3 - GEOLOGIA

Em termos regionais a área se insere no Terreno Pernambuco-Alagoas, o qual constitui uma entidade tectônica, cuja história geológica se estende do Paleoproterozóico ao Recente, incluindo intensos processos de deformação datados do Meso e Neoproterozóico.

Incluem as rochas da sequência metassedimentar formada por paragnaisses a biotita, xistos, paragnaisses eventualmente migmatizados, metagrauvacas, quartzitos, calcissilicáticas, mármore e intercalações de metamáficas englobados no Complexo Cabrobó de idade mesoproterozóica. Nesta entidade geotectônica têm-se ainda os ortognaisses de composição granítica a tonalítica, eventualmente migmatizados, com enclaves máficos de composição quartzo-diorítica, pertencentes ao Complexo Belém do São Francisco datados do Paleoproterozóico.

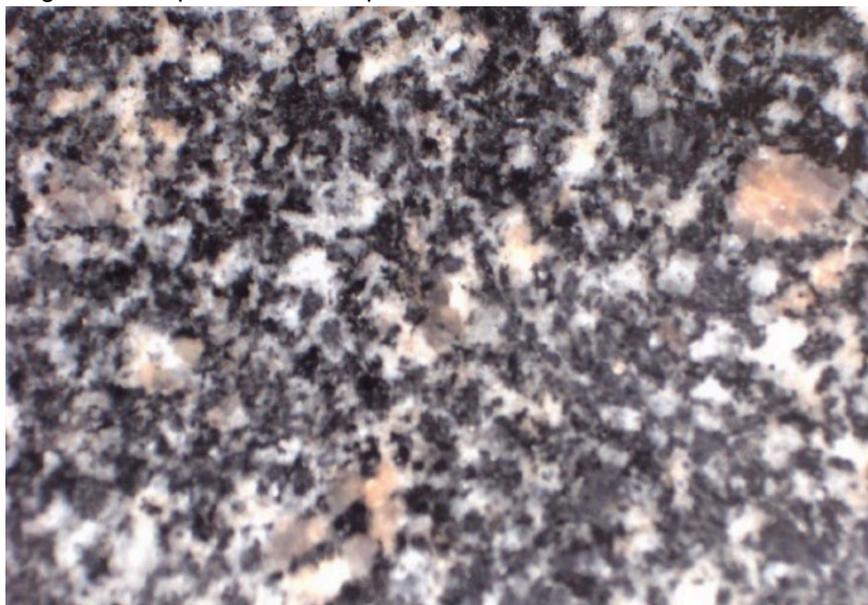
Incluídos nestes metamorfitos ocorrem extensos batólitos de plutonitos brasileiros de composição granítica a granodiorítica com termos sieníticos a monzoníticos, pertencentes à Suíte Itaporanga de quimismo calcioalcalino de alto potássio.

No local afloram as rochas plutônicas da Suíte Itaporanga, representadas na área em estudo por um plutonito homogêneo, não deformado, destituído de foliação, coloração cinza-escura, granulação média a grossa e textura equigranular com tendência porfirítica. Mostra-se destituído de fraturamento e com pouca incidência de veios e enclaves o que facilita os futuros trabalhos de exploração.

Aflora sob a forma de vários e extensos maciços rochosos, com a existência de uma bancada de antigas explorações da pedreira onde tem-se exposição desse maciço rochoso com cerca de 250 metros de extensão, 75 metros de largura no pit floor bancadas residuais com 20 de altura em média.

Em todo setor objeto do presente estudo predomina o litotipo ora descrito, o qual faz contato brusco com os granodioritos porfiríticos de coloração cinza clara, com enclaves máficos também pertencentes à unidade acima mencionada. No geral a rocha que se apresenta na área requerida possui excelentes condições para a exploração de material para produção de brita e areia industrial. A figura 5 apresenta uma amostra da rocha, identificada como da família dos granodioritos.

Figura 4 – Aspecto Macroscópico da Rocha Coletada nos Afloramentos



Fonte: Autor (2024)

3.1 Reservas Geológicas

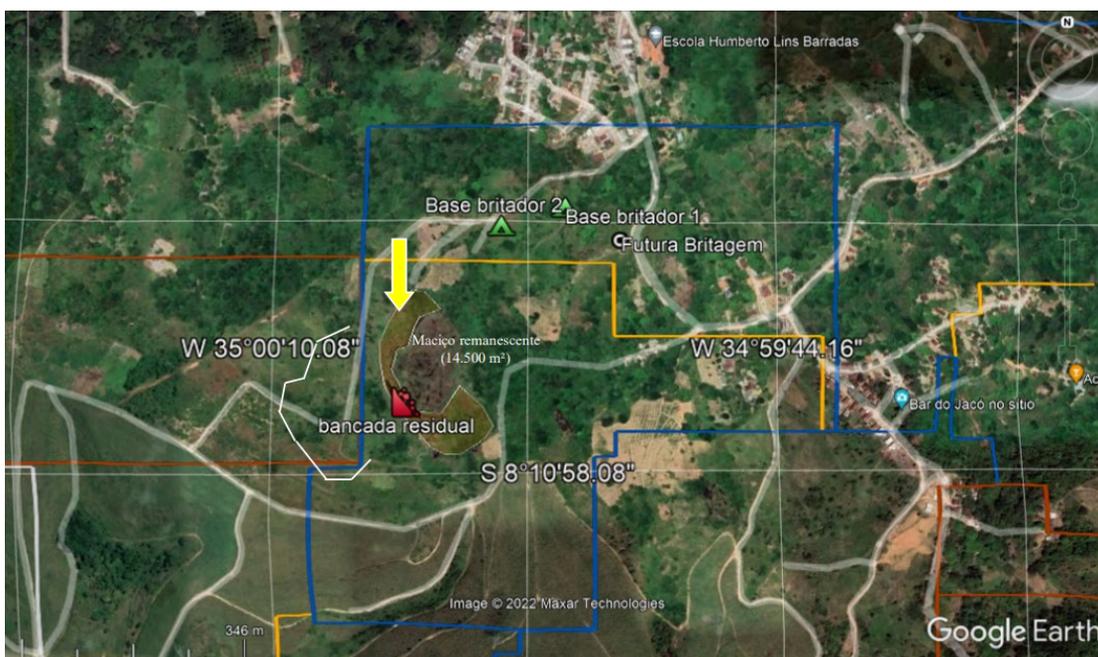
As reservas geológicas disponíveis para realização da lavra foram estimadas a partir da geometria da bancada remanescente já existente na área de exploração que possui uma configuração geométrica com um comprimento de frente de aproximadamente 250 m de extensão conforme figura a seguir.

Considerando a geometria da bancada residual existente no local, onde vai ser iniciada a lavra, e o maciço remanescente acima do nível do *pit floor*, com extensão de 250 m e cerca 50 a 100 m de largura ao longo da frente de lavra podemos estimar um volume de maciço disponível para lavra como segue:

- Área de maciço remanescente acima do *pit floor*: 18.750 m²
- Altura média do maciço remanescente acima do *pit floor*: 20 m
- Volume disponível para lavra: 375.000 m³

Como o objetivo é realizar a lavra inicial do maciço rochoso para fins de elaboração do projeto de lavra definitivo, com uma produção de cerca de 20.000 ton/mês ou aproximadamente 10.700 m³/mês tem-se uma reserva acima do *pit floor*, em área remanescente já objeto de exploração anterior, suficiente para operar em um período de até 53 meses ou 4,4 anos, com possibilidade de expansão.

Figura 5 – Mapa Com Indicação Do Processo Minerário, Bancada Residual, Bases Antigas De Britadores e Maciço Remanescente Acima Do Pit Floor



Fonte: Autor (2024)

4 - MERCADO PARA O GRANODIORITO

Enquadrado na categoria dos agregados de uso imediato na construção civil, os resultados do estudo petrográfico mostraram que o granodiorito a ser lavrado no local possui um potencial bastante pequeno para apresentar a reação álcali-agregado. Por suas características mineralógicas e texturais esse problema não deverá ocorrer no material a ser lavrado na jazida, constituindo-se num diferencial em relação a grande maioria das britas explotadas na Região Metropolitana do Recife, via de regra oriundas de corpos granitóides deformados e com presença de minerais deletérios.

Estes materiais são largamente empregados em grandes obras que carecem de volumes consideráveis de brita e areia industrial que mantenham o padrão definido nas normativas oficiais, assegurando o pleno fornecimento até a finalização da obra.

Para o mercado local, pretende-se inserir no mercado da Região Metropolitana do Recife e arredores após obtenção da portaria de lavra aproximadamente 25.000 m³/mês de areia industrial e britas de 19 e 25 mm na fase de lavra definitiva da jazida. Para que assim seja, deverá ser adotada uma lavra em grande escala de produção, minimizando-se os custos operacionais e garantindo a competitividade da mina, com rigoroso controle de qualidade, tendo em vista a crescente demanda de exigência de qualidade para areias e britas e que tenha condições de competir em boas condições frente aos produtos atuais existentes no mercado local.

A definição da melhor configuração geométrica da cava final e parâmetros de operação (plano de fogo, diâmetro dos furos, razão de carga dos explosivos, etc), que garantirão essa competitividade, deverão ser objeto de estudo e otimização na fase de lavra experimental a ser deflagrada com a expedição da Guia de Utilização.

Devemos ainda frisar, como elemento que caracteriza a viabilidade da pedreira, no que tange aos aspectos da comercialização da substância mineral útil, que a capacidade de produção do projeto de 18.000 ton/mês foi arbitrada com critério moderado, sem exercer nenhum otimismo exagerado, visto que outras minas produzem quantidades semelhantes do mesmo material e não apresentam dificuldades na comercialização do produto.

Os fatos acima apontados, reforçados pelo aumento crescente na demanda local de agregados para uso na construção civil e as obras previstas para a região, permitem concluir que o mercado para o granodiorito e o produto final almejado na operação que se pretende implantar no local são perfeitamente viáveis.

5 – FISIOGRAFIA E INFRAESTRUTURA LOCAL

A área pesquisada oferece boas condições de infraestrutura para a atividade de exploração de granodiorito para a produção de brita tendo sido objeto de lavra de brita em anos passados, existindo no local uma bancada residual com cerca de 20 m de altura e bases de antigos britadores utilizados na ocasião.

Os locais selecionados para implantação das futuras frentes de lavra situam-se bastante próximos da rodovia estadual PE – 88 que liga as cidades de Jaboatão dos Guararapes e Cabo de Santo Agostinho - PE. A partir de Vila de Muribeca o trajeto em direção a Recife se verifica através de outra rodovia pavimentada (BR-101). A distância que separa a futura pedreira de granodiorito da capital do Estado, centro de consumo e escoamento do produto é de cerca de 15 km.

Além de contar com a sede municipal de Jaboatão dos Guararapes, o apoio logístico às operações de lavra podem ser obtidos na cidade do Recife, que conta com centros comerciais de serviços mais desenvolvidos.

A área dispõe de toda infra-estrutura básica para o desenvolvimento das atividades de lavra de granodiorito com disponibilidade de energia elétrica, água, meios de comunicação, transporte e demais insumos e serviços.

Clima

A região Metropolitana do Recife possui clima segundo Koppen, sendo quente e úmido, com chuvas de Maio a Julho. Tem uma oscilação entre 1800 a 2000 mm na precipitação pluviométrica média anual, concentrando nos meses de Maio a Julho.

- Umidade relativa do ar em torno de 80%
- Temperatura média é de 27° C
- Amplitude Térmica de 5° C

Solos

São predominantemente do tipo argilo-arenoso repousando sobre o embasamento cristalino. Os fatores de pedogênese, clima, ação de organismos, material de origem e tempo atuando de forma intensa podem obliterar ou até mesmo destruir por completo as feições sedimentológicas dos vales da região. Aparecem latossolos sobre os terrenos do grupo barreiras e raras faixas de areias pleistocênicas no leito dos rios que formam a rede hidrográfica da região.

Vegetação

Vegetação apresenta resquícios de Mata Atlântica, típicos de floresta sub-perenifólia, apresentando-se em árvores de médio porte como macaibeiras, ibiriba, dendê e outras. Basicamente o que predomina na região é a cana-de-açúcar, jaqueiras, mangueiras, cajueiros, coqueiros além de grande número de espécies de ervas e plantas rasteiras.

Relevo

É representado pelos patamares cristalinos com aspectos de outeiros com cotas variando de 30 a 130 m em relação ao nível do mar.

Hidrografia

A bacia do rio Jaboatão domina toda a região e na área estudada temos o Riacho Colônia e Pimenta. A drenagem é do tipo dendrítica, com nervuras foliares.

6 - DESENVOLVIMENTO

A configuração da lavra requer que alguns trabalhos sejam executados preliminarmente, proporcionando um melhor controle de qualidade e melhores taxas de recuperação. Desta forma, o suprimento do mercado consumidor é garantido, além da minimização da degradação ambiental.

Esta fase consiste da execução de todos os serviços preparatórios para a lavra, ou seja, os de criar uma infraestrutura local, como vias de acesso, depósitos de estéril/rejeito, solo orgânico, decapeamento da jazida, praça de trabalho, pátio de armazenagem de material fragmentado para britagem, planta de britagem, edificações, sistema de captação de água, drenagem da pedreira, etc. Enfim, todos os serviços que se fizerem necessários para o início das operações de lavra propriamente ditas.

6.1 - Abertura de Vias De Acesso

Os trabalhos de desenvolvimento deverão ser realizados utilizando escavadeira hidráulica de 45 ton, trator de esteiras tipo D4-A e caminhões caçamba trucados com capacidade de 18 m³, para o decapeamento e abertura dos acessos.

Existem várias estradas vicinais que foram utilizadas no passado para exploração da antiga pedreira do local que cortam a área, sendo elas os principais acessos para as demais partes da infraestrutura mineira necessária até a frente de lavra residual. Esses acessos necessitam de alargamento compatível com os caminhões previstos para exploração e manutenção para nivelamento e implantação de drenagem. A figura 6 mostra o aspecto atual dos antigos acessos que serão recuperados e ajustados ao porte dos caminhões previstos para a lavra.

No caso deste projeto teremos apenas que melhorar a qualidade das estradas já existentes. Estes acessos se prestarão ao tráfego periódico de máquinas pesadas e caminhões transportando insumos, material fragmentado da frente de lavra e pessoal lotado na pedreira. Portanto, estes acessos deverão ser ampliados para uma largura compatível ao cruzamento de dois caminhões, no mínimo 7,2 metros, considerando 2,6 metros para cada caminhão com capacidade de 18 m³, geralmente utilizados nesta modalidade de lavra, para transporte da produção.

Figura 6 – Antigo Acesso Às Frentes De Lavra E Britadores Que Será Recuperado Para A Exploração Atual



Fonte: Autor (2024)

Um pátio central deve ser aberto destinado ao armazenamento do minério *run of mine* (ROM) produzido, em cota compatível com o *pit floor*, para priorizar o

transporte horizontal dos caminhões. Nesse nível será instalado o britador primário que enviará o material britado a um estágio de britagem secundária localizado em nível inferior à britagem primária e posteriormente para a planta de cominuição e classificação de areia e brita.

O material produzido na britagem secundária será encaminhado até o setor de produção de areia industrial onde será instalada a Planta de Britagem Final e Classificação com objetivo de produzir pó de brita (areia industrial), britas de pequeno diâmetro para construção civil (britas 0 e 1) e construídos os prédios administrativos: escritório, almoxarifado e refeitório.

Os acessos secundários deverão ser abertos de forma a permitir ligação às frentes de lavra, construídos essencialmente para permitir o tráfego de equipamentos de mineração, veículos de serviço e transporte de ROM para o pátio central utilizando caminhões trucados de 18 m³. As seguintes medidas deverão ser adotadas:

- Aumento da largura da via principal de acesso, principalmente em trechos de curva, compatível ao cruzamento de dois veículos de mesmo porte e implantação de sistema de drenagem lateral (valetas de drenagem);
- Adequação dos raios de curvatura das curvas às manobras seguras para os veículos de transporte;
- A pista de rolamento deverá ser constantemente aplainada e as curvas construídas com pequenos gradientes voltados para o interior das encostas, no sentido transversal à pista, para anular a força centrífuga que tende a jogar o veículo em movimento para fora da estrada;
- As vias serão sinalizadas com placas educativas e de advertência, indicando velocidades máximas permitidas, área de perigo devido à atividade da lavra e locais apropriados para o estacionamento.

Tais medidas são fatores importantes para um transporte rápido, seguro e econômico, com menor desgaste de pneus, um dos elementos de custo operacional mais elevado, e para a manutenção da regularidade dos ciclos e eficiência do transporte.

6.2 - Remoção da Vegetação, Solo Superficial e Estocagem

Como o maciço no setor em apreço encontra-se praticamente aflorante, o capeamento consiste basicamente da camada superficial de solo de pequena espessura. Quando presente, a vegetação, composta basicamente de gramíneas e pequenos arbustos, deverá ser removida nos trechos por onde passarão as estradas e locais selecionados para a implantação de edificações, depósitos, pátios e praça de trabalho, e onde a lavra será implantada.

Os trabalhos de remoção de solo e camada de argilas estéril serão realizados por uma escavadeira hidráulica CAT modelo PC 345-GC. O solo escavado deverá ser carregado em caminhões de 18 m³ e transportado até o depósito de solo vegetal localizado próximo ao *pit floor* para posterior utilização em atividades de recomposição ambiental. O material estéril será transportado até o bota-fora para disposição final.

6.3 - Drenagem da Pedreira

Antecede ou sucede ao decapeamento da jazida e tem por finalidade derivar águas pluviais das frentes de trabalho, edificações, vias de acesso e quaisquer outros serviços envolvendo corte/aterro, com remoção, transporte e deposição de solo e/ou estéril.

Também é uma medida de prevenção aos impactos ambientais, principalmente carreamento do solo e deposição em locais não apropriados, quando a condução das águas é feita sem qualquer critério de direcionamento do fluxo, não se aproveitando das linhas de talvegues naturais, na maioria das vezes, já

inexistentes, devido à interferência antrópica, alterando significativamente a superfície original das encostas.

Este sistema de drenagem deverá ser mantido durante toda a vida útil da pedreira e sofrerá correções, quando se observar a ineficiência da condução das águas nos períodos chuvosos, ou mesmo, mudanças na direção de avanço da frente de lavra e/ou acessos.

6.5 - Edificações

São aquelas obras civis a serem construídas não só com a finalidade de apoio operacional, mas também administrativo e conforto dos operários envolvidos nas operações mineiras. Portanto, devem ser dimensionados de acordo com as normas de higiene, bem estar e segurança do pessoal lotado na pedreira, causando o menor grau de impacto ambiental possível.

Basicamente, deverá ser edificada uma construção, convenientemente dividida em três setores, sendo um para o refeitório, outro para o almoxarifado/escritório e o último para vestuário/banheiro. Esta obra será edificada em uma área já terraplenada para se evitar cortes desnecessários no terreno, facilidades de acesso e custo com a construção.

O refeitório terá área mínima construída de 5 x 8 m e será equipado com bebedouro com água mineral, mesa grande, bancos de madeira, geladeira, armários e um fogão tradicional. Também terá função de descanso na ocasião do lanche da tarde ou abrigo para se proteger da chuva no período de inverno. Ao lado e conjugado ao refeitório, será edificado o almoxarifado que também terá a finalidade de escritório administrativo. A área construída será de 5 x 5 m onde serão armazenados insumos, ferramentas manuais, equipamentos de proteção individual e materiais diversos. Um conjunto de prateleiras deverá ser adaptado nas paredes do cômodo. Como condição de higiene e conforto dos operários, será implantado um

sanitário na lateral do refeitório e equipado com vasos sanitários, lavatórios e espaço para instalação de chuveiros.

Deverá ser também edificado um pequeno alojamento para os empregados utilizem como vestuário, banheiro coletivo e chuveiros para apoio e higiene dos funcionários da empresa com área estimada de 5 x 6 m. Além dessa estrutura administrativa também deverá ser instalada no local de expedição, no nível da estrada de acesso e transporte da produção uma balança rodoviária com capacidade de 100 ton.

6.6 - Manipulação de Explosivos

De acordo com o método de lavra estabelecido o desmonte de material será feito com a utilização de explosivos, neste caso, mais especificamente, explosivos industriais detonantes, já que a região não sofre com frequentes chuvas, em especial explosivos a base de nitrato de amônia (ANFO), devido ao menor custo e maior segurança na sua manipulação. Os acessórios mais empregados serão o estopim, tubos de choque, espoleta simples, *booster* e retardos.

Os explosivos e acessórios deverão ser contratados de empresa devidamente legalizada junto ao Exército, que deverá se responsabilizar pela liberação de uso do mesmo junto aos órgãos competentes e seguirão à risca as normas de uso, condução e controle de explosivos gerenciados pelo exército brasileiro. O manuseio de explosivos apenas deverá ser confiado às pessoas habilitadas portadoras da carteira de *blaster*. Os furos direcionados na ocasião do desmonte devem evitar ultralançamentos de rochas e a consequente degradação da vegetação do entorno da frente.

Os horários das detonações deverão ser pré-estabelecidos, como medida de segurança. Devem-se manter distantes dos locais de detonação, animais e transeuntes. Estradas próximas deverão ser interditadas juntamente com auxílio de um operário que deve informar sobre os perigos iminentes nos horários das detonações. Após as detonações, deve-se isolar o local, e esperar até que todos os

gases liberados sejam diluídos na atmosfera, minimizando os riscos de intoxicação dos operários.

6.7 - Sistema de Captação e Abastecimento de Água

A água imprescindível ao processo produtivo deverá ser captada através de caminhões pipa. A água a ser usada como água potável para o consumo humano deverá ser adquirida junto a fabricantes de água mineral em garrações de 20 lt. Para implantação desse sistema, faz-se necessário a instalação de uma caixa d'água com capacidade de 10.000 litros a ser locada próxima das frentes de trabalho em cotas mais elevadas quanto possível.

7 - PLANTA DE BRITAGEM

A Planta de Britagem será constituída de etapas de cominuição e classificação tendo como equipamentos principais:

- Alimentador Vibratório, modelo AVF 4'x18'
- Britador de Impacto Horizontal, modelo HSI 1300 / HSI 1012
- Britador de Impacto Vertical, modelo VSI 225
- Peneira Vibratória Inclinada, modelo AIS 5' K 14' DD
- Peneira Vibratória Inclinada, modelo AIS 81x 20' TD
- Peneira Vibratória Modular, modelo AHFS 8' ,e 20' DO
- Calhas Vibratórias, 0 / 150100 / 0/13080
- Transportadores de correias

7.1 - Alimentador Vibratório, modelo AVF 4'x18'

Solução econômica para alimentação primária, especialmente onde o material é mais fácil de transportar e especialmente quando é desejável retirada de finos. Produzido em vários modelos atendendo a todos os britadores primários do mercado. O único em sua categoria que possui vibradores na lateral, que além de uma produtividade maior, elimina a queda de material sobre a parte vibrante e facilita a manutenção,

Tabela 2: Dados Técnicos do Alimentador Vibratório

| MODELO | DIMENSÕES DA MESA | POTÊNCIA | CAPACIDADE(m³ /h) | CAPACIDADE APROXIMADA DA TREMONHA(m³) | PESO APROXIMADO DO EQUIPAMENTO |
|--------------|-------------------|-------------|-------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| AVF 4' x 18' | 1.200 X 5.500 | 2 x 20,0 cv | 80 a 250 | 8,5/17,0 | 11.500 kg |

Fonte: ATHOX, (2024)

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Mesa Vibratória de construção reforçada com 01 lance de grelhas (1.000mm de comprimento) para escalpe de finos.
- 02 (dois) Motores elétricos de 20,0 HP. VIII pólos;
- 02 (dois) Vibradores V-03 com rolamentos autocompensadores de rolos;
- 02 (duas) Proteções dos vibradores e eixos cardans;
- 02 (dois) Eixos cardan;
- 10 (dez) Molas reforçadas;
- 01 (um) Sk1d metálico reforçado;
- 01 (um) conjunto de tremonha de alimentação
- Carga de lubrificantes para início de operação;
- Pintura de proteção e acabamento padrão Athox;

Figura 7: Alimentador Vibratório, modelo AVF 4'x18'



Fonte: ATHOX, (2024)

7.2 - Britador de Impacto Horizontal, modelo HSI 1300 / HSI 1012

Equipado com um sistema de britagem de dois estágios, que reduz o material ao tamanho desejado, gerando partículas de formato cúbico. O ajuste preciso dos elementos de britagem, combinado com um sistema de proteção, garante a durabilidade do equipamento e a qualidade do produto final. A otimização do fluxo de material, com a remoção de finos pelo by-pass, reduz o desgaste e aumenta a eficiência do processo. O projeto avançado dos elementos de britagem proporciona uma excelente redução de tamanho.

Tabela 3: Dados Técnicos dos Britadores de Impacto Horizontal

| MODELO | POTÊNCIA INSTALADA(H.P) | TAMANHO DA BOCA DE ALIMENTAÇÃO | TAMANHO MAX. RECOMENDADO NA ALIMENTAÇÃO | PRODUÇÃO MÁXIMA APROXIMADA(to n/h) | PESO APROXIMADO DO EQUIPAMENTO |
|-----------|-------------------------|--------------------------------|---|------------------------------------|--------------------------------|
| HSI -1300 | 300 | 1.000 X 1.200 | 700 mm | 300 a 400 | 16.450 kg |
| HSI -1012 | 250 | 800 X 1.200 | 550 mm | 180 a 280 | 14.300 kg |

Fonte: ATHOX, (2024)

Equipado com portas laterais e traseiras de fácil acesso para manutenção, acionadas por poucos parafusos. Sistema de vedação com cortina de correntes e borracha garante a contenção do material durante o processo. Suportado por mancais de rolamentos autocompensadores de grande porte, projetados para resistir às altas cargas da operação de britagem e garantir maior durabilidade.

Figura 8: Britador de Impacto Horizontal (HSI)



Fonte: ATHOX, (2024)

7.3 - Britador de Impacto Vertical, modelo VSI 225

O equipamento funciona através do arremesso do material contra placas fixas, impulsionado pela força centrífuga de um rotor. A alta energia cinética gerada fragmenta o material ao longo de suas linhas naturais de fratura, resultando em um produto com formato cúbico. A manutenção é facilitada pelo acesso aos componentes internos através da tampa superior.

Tabela 4: Dados Técnicos do Britador de Impacto Vertical

| MODELO | POTÊNCIA DO MOTOR | | TAMANHO MAX. RECOMENDADO NA ALIMENTAÇÃO | | CAPACIDADE mtph | PESO |
|---------|-------------------|---------|---|---------|--------------------|--------------|
| | kW | hp | Imperial | Métrico | | kg lbs |
| VSI 225 | 2 x 112 | 2 x 150 | 1.3/4" | 45 | 150 a 200 | 8.000 17.635 |

Fonte: ATHOX, (2024)

Estes equipamentos são normalmente aplicados em fábricas de cimento, areia artificial, agregados de concreto, construção civil, pavimentação asfáltica e minerações em geral. Alguns tipos de materiais britados são: basalto, calcário, dolomita, carvão, seixo rolado, granito, quartzito, cassiterita, minério de ferro, entre outros.

Figura 9: Britador de Impacto Vertical (VSI)



Fonte: ATHOX, (2024)

7.4 - Peneira Vibratória Inclinada, modelo AIS 5' K 14' DD e AIS 81 x 20' TD

As Peneiras Vibratórias são desenvolvidas para serem utilizadas para classificação final, processo de lavagem e para classificação intermediária de materiais, tais como minérios, asfalto, areia, brita pedra e outros. As peneiras de movimento circular possuem apenas um elemento vibratório, composto de um eixo principal e em suas extremidades possui contrapesos reguláveis facilitando assim o ajuste da amplitude do equipamento, este conjunto de eixo e contrapesos é apoiado em rolamentos autocompensadores de rolos, lubrificados a graxa e protegidos por labirintos e retentores a fim de garantir um perfeito funcionamento e uma longa vida ao equipamento.

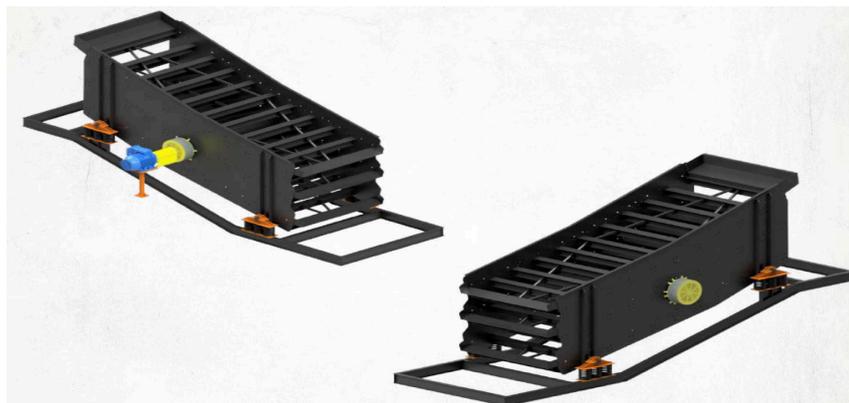
Tabela 5: Dados Técnicos das Peneiras Vibratórias Inclinada

| MODELO | DIMENSÃO ÚTIL POR MODELO | ÁREA TOTAL(m ²) | MOTOR(HP) | QUANTIDADE MOTOR | VIBRADOR ATHOX | QUANTIDADE VIBRADOR |
|----------------|--------------------------|-----------------------------|-----------|------------------|----------------|---------------------|
| AIS 5'x14' DD' | 1.525x4.270 (mm) | 6,5 | 25,0 | 01 | VA - 04 | 01 |
| AIS 8'x20' DD' | 2.440x6.100 (mm) | 14,9 | 40,0 | 01 | VA - 05 | 01 |

Fonte: ATHOX, (2024)

As peneiras de movimento circular possuem apenas um elemento vibratório, composto de um eixo principal e em suas extremidades possui contrapesos reguláveis facilitando assim o ajuste da amplitude do equipamento, este conjunto de eixo e contrapesos é apoiado em rolamentos auto-compensadores de rolos, lubrificados a graxa e protegidos por labirintos e retentores a fim de garantir um perfeito funcionamento e uma longa vida ao equipamento.

Figura 10: Peneira Vibratória Inclinada, modelo AIS 5' K 14' DD e AIS 81 x 20' TD



Fonte - ATHOX, (2024)

7.5 - Peneira Vibratória Modular, modelo AHFS 8' e 20' DO

As Peneiras Vibratórias são desenvolvidas para serem utilizadas para classificação final, processo de lavagem e para classificação intermediária de materiais, tais como minérios, asfalto, areia, brita pedra e outros. Suas características de construção permitem um máximo rendimento e uma eficiente classificação. Apresentam ainda qualidade e simplicidade de fabricação com grande facilidade de operação e são perfeitamente adaptáveis às diversas condições de instalação.

Tabela 6: Dados Técnicos da Peneira Vibratória Modular

| MODELO | DIMENSÃO ÚTIL POR MODELO | ÁREA TOTAL (m ²) | MOTOR (HP) | QUANTIDADE MOTOR | VIBRADOR ATHOX | QUANTIDADE VIBRADOR |
|-----------------|--------------------------|------------------------------|------------|------------------|----------------|---------------------|
| AMS 8'x20' DD/2 | 2.440x6.100 (mm) | 14,9 | 25,0 | 02 | VA - 04 | 02 |

Fonte: ATHOX, (2024)

Nas peneiras modulares há melhor aproveitamento da área de peneiramento, uma vez que em cada seção há um trabalho específico de classificação e graças à variação de velocidade do material a camada se mantém mais constante. O uso de Peneiras Multi-inclinação Modulares possibilita em média capacidades acima de 30% em relação a peneiras de inclinação constante em um mesmo tamanho.

Figura 11: Peneira Vibratória Modular, modelo AHFS 8' e 20' DO



Fonte - ATHOX, (2024)

7.6 - Calhas Vibratórias, ACV 150100 e 13080

São equipamentos utilizados para a retomada de material em processo industrial, geralmente mineral, com finalidade de garantir uma alimentação e dosagem constante a qualquer equipamento subsequente. Consiste de um corpo fixo e solidário a unidade de retenção (túnel sob pilha pulmão ou silo) que por sua vez suporta a calha de alimentação através de molas helicoidais. O corpo fixo possui uma comporta de saída, regulável através de parafusos, permitindo um volume pré-estabelecido de saída de material.

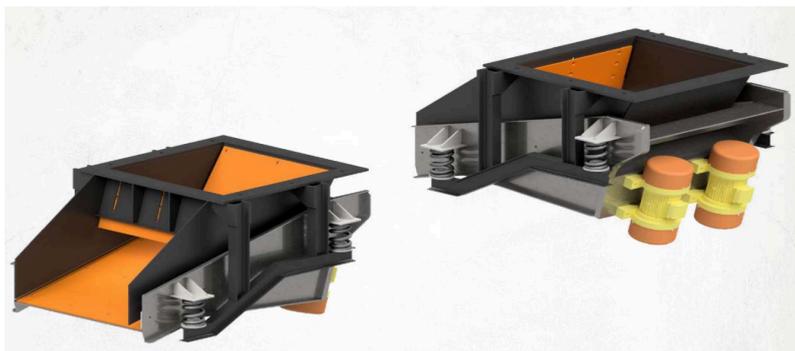
Tabela 7: Dados Técnicos das Calhas Vibratórias

| MODELO | CAPACIDADE (m³/h) | MOTOVIBRADOR | | | TAMANHO MÁXIMO DA ALIMENTAÇÃO | PESO (Kg) |
|-----------|-------------------|--------------|----------------|------|-------------------------------|-----------|
| | | QUANTIDADE | H.P.(Unitário) | rpm | | |
| ACV150100 | 160 a 320 | 02 | 3,0 | 1750 | 0 a 10" | 1.240 |
| ACV13080 | 120 a 240 | 02 | 2,0 | 1150 | 0 a 8" | 945 |

Fonte: ATHOX, (2024)

Dois motovibradores com contra pesos reguláveis nas pontas de seus eixo permitem uma segunda regulagem de alimentação. A calha de alimentação é revestida por chapas aparafusadas a sua estrutura para sua substituição quando desgastadas.

Figura 12: Calhas Vibratórias, ACV 150100 e 13080



Fonte - ATHOX, (2024)

7.7 - Transportadores de Correias

Equipamentos industriais amplamente utilizados para mover diversos tipos de materiais de um ponto a outro. Eles são compostos por uma correia contínua que se movimenta sobre roletes ou tambores, transportando a carga de forma eficiente e segura.

Tabela 8: Dados Técnicos das Correias

| MODELO | LARGURA | COMPRIMENTO | INCLINAÇÃO MÁXIMA | POTÊNCIA (H.P) | ALTURA DA TRELIÇA | LARGURA DA TRELIÇA | TIPO ESTICADOR |
|--------|---------|-------------|-------------------|----------------|-------------------|--------------------|----------------|
| TC-01 | 36" | 40 METROS | 18" | 40 HP | 400 mm | 1190 mm | Gravidade |
| TC-02 | 36' | 40 METROS | 18" | 40 HP | 400 mm | 1190 mm | Gravidade |
| TC-03 | 36' | 35 METROS | 18" | 30 HP | 400 mm | 1190 mm | Gravidade |
| TC-04 | 36' | 30 METROS | 18" | 25 HP | 400 mm | 1190 mm | Gravidade |
| TC-05 | 24" | 35 METROS | 18" | 15 HP | 400 mm | 870mm | Gravidade |
| TC-06 | 24" | 25 METROS | 18" | 12,5 HP | 400 mm | 870mm | Parafuso |
| TC-07 | 24" | 25 METROS | 18" | 12,5 HP | 400 mm | 870mm | Parafuso |
| TC-08 | 36' | 30 METROS | 18" | 12 HP | 400 mm | 1190 mm | Gravidade |
| TC-09 | 24" | 25 METROS | 18" | 12,5 HP | 400 mm | 870mm | Parafuso |
| TC-10 | 24" | 25 METROS | 18" | 12,5 HP | 400 mm | 870mm | Parafuso |
| TC-11 | 24" | 25 METROS | 18" | 12,5 HP | 400 mm | 870mm | Parafuso |
| TC-12 | 24" | 25 METROS | 18" | 12,5 HP | 400 mm | 870mm | Parafuso |
| TC-13 | 24" | 25 METROS | 18" | 12,5 HP | 400 mm | 870mm | Parafuso |

Fonte: ATHOX, (2024)

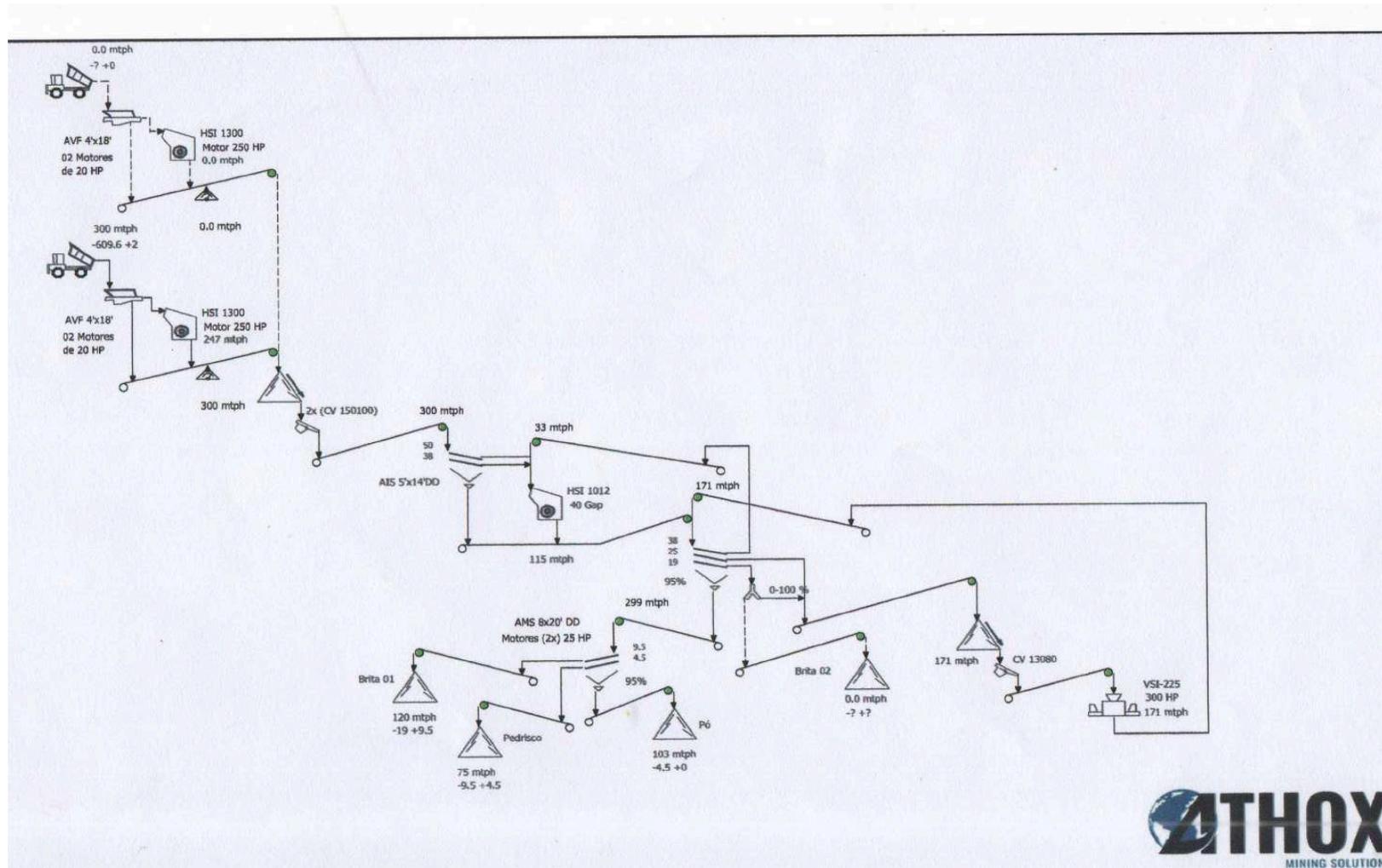
Figura 13: Correias Transportadoras



Fonte: athox.com.br

7.8 – Fluxograma do Beneficiamento

Figura 14: Fluxograma da Planta de Britagem e Classificação



Fonte: ATHOX Consultoria (2023)

8 - PROJETO DE LAVRA

A lavra de agregados para construção civil e brita é normalmente realizada em litologias caracterizadas por rochas de grande coesão e resistência mecânica, características tecnológicas desejáveis para sua utilização na construção civil como material de brita para confecção de concretos, contra piso e outras aplicações estruturais. Essas características são encontradas geralmente em litologias cristalinas, entre as quais destacam-se a exploração de pedreiras em rochas graníticas, migmatíticas, gnáissicas e efusivas (basaltos, dioritos, andesitos, etc).

Devido a essas características de alta coesão e resistência mecânica dos maciços explotados, invariavelmente tem-se a necessidade de desmonte a explosivo para fragmentação do material *in situ*. Essas características também propiciam a utilização de bancadas altas e íngremes com bastante segurança e estabilidade, fatores esses que permitem um melhor aproveitamento da energia rompedora dos explosivos, reduzindo dessa forma os custos operacionais na exploração.

O método de lavra tradicional para aplicação nas pedreiras de agregados para construção civil prevê a utilização de perfuração roto-percussiva para execução de furos com diâmetros medianos a grandes, em bancadas altas (na faixa de 12 a 25 m). Os explosivos mais utilizados são aqueles à base de nitrato de amônia, principalmente em função de seu baixo custo e segurança no transporte e manuseio. A utilização de explosivos tipo ANFO atende a essas características mas possui o inconveniente de não poder ser aplicado em situações com presença de água. Nesses casos opta-se normalmente pelo emprego de explosivos a base de emulsões, lamas e encartuchados em filmes plásticos. Deve-se sempre utilizar cargas mistas na base e na coluna explosiva visando aumentar a eficiência do desmonte e evitar problemas de geração de repés na praça da bancada inferior, geração de blocos e *over breaking* na bancada remanescente.

O carregamento do minério desmontado na pilha via de regra é realizado através da utilização de grandes unidades escavo-carregadoras entre as quais as mais frequentemente encontradas em pedreiras de agregados para construção civil são a *shovel* e a pá carregadeira. Alternativamente pode-se empregar escavadeiras hidráulicas para essa operação unitária.

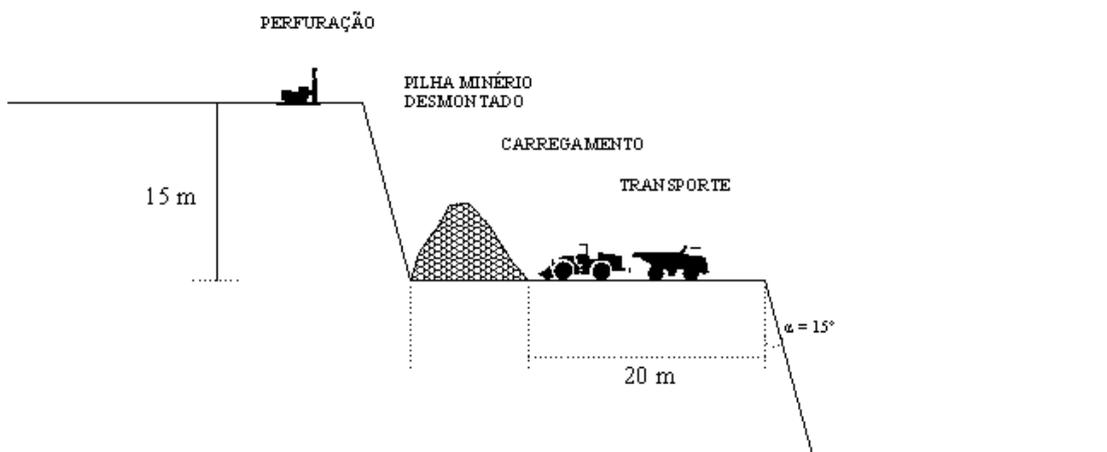
O transporte interno do material desmontado, das bancadas da pedreira até a Planta de Britagem, é realizado normalmente com a utilização de equipamentos do ramo rodoviário. De acordo com a capacidade de produção prevista, tamanho médio dos blocos gerados nas detonações, distância de transporte e número de frentes de lavra pode-se optar pela utilização de pequenos caminhões tipo caçamba (capacidades na faixa de 10 até 25 ton) até a utilização de grandes caminhões tipo fora de estrada (capacidades na faixa de 35 até 250 ton).

A Planta de britagem para obtenção de agregados para construção civil é de *lay-out* relativamente simples fazendo-se apenas a redução de tamanho dos blocos de minério bruto em britadores normalmente do tipo mandíbulas ou cônico e posterior classificação granulométrica dos produtos britados em estágio simples ou múltiplo em peneiras vibratórias a seco. A classificação em faixas granulométricas é padronizada em função das bitolas dos tipos de brita encontradas no mercado e depende das características do material bruto e também do fluxograma da Planta de Britagem, podendo-se variar a sua produção de acordo com as perspectivas de mercado.

Para a pedreira estimou-se os seguintes parâmetros geométricos para desenvolvimento do projeto da cava operacional:

| | |
|----------------------------------|-------------|
| Altura das bancadas: | 15 m |
| Inclinação dos taludes: | 15° |
| Largura das bermas operacionais: | 20 m |
| Inclinação da cava operacional: | 2/1,5 (75%) |

Figura 15: Configuração geométrica e disposição dos espaços nas bancadas



Fonte: Autor (2024)

8.1 - Dimensionamento da Perfuração

A perfuração utilizada será do tipo roto-percussiva com utilização de carreta de perfuração tipo ROC série 600 com acionamento através de marteleto tipo *top hammer* pneumático e malha de furação de acordo com o plano de fogo apresentado nos próximos capítulos. São previstos furos com diâmetro de 2½" e comprimento total de 16 m inclinados 15° com relação a vertical. Pela malha prevista de furação tem-se um afastamento de 2 m, espaçamento de 3 m e altura de bancada de 15 m. Para tal configuração temos uma perfuração específica de:

$$\frac{16,5 \text{ m}}{2 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 15 \text{ m}} = \frac{16,5}{90} = 0,183 \text{ m/m}^3$$

Para a produção mensal máxima prevista na fase de implantação da pedreira que foi estimada em 10.700 m³/mês temos uma necessidade de perfuração de:

$$10.700 \text{ m}^3 \times 0,183 \frac{\text{m}}{\text{m}^3} = 1.958 \text{ ml de perfuração}$$

Considerando uma velocidade de penetração média para o tipo de rocha existente na pedreira (granodiorito - média dureza) de 10 m/hora, para o equipamento escolhido, tem-se uma necessidade de:

$$\frac{1.958 \text{ m}}{10 \text{ m/h}} = 195,8 \text{ h de perfuração}$$

Conclui-se portanto que necessita-se de 2 carretas de perfuração para atender a produção desejada, operando no regime de trabalho indicado abaixo.

| | |
|---------------------------------------|-----------------|
| Horas de perfuração diária: | 8 h |
| Regime de trabalho: | 22 dias/mês |
| Horas mensais produção possíveis: | 352 horas/mês |
| Horas mensais perfuração necessárias: | 195,8 horas/mês |
| Horas para movimentação e manutenção: | 57 horas/mês |
| Capacidade utilizada na perfuração: | 71,82% |

8.2 - Dimensionamento do Carregamento

O método de carregamento projetado para a pedreira utilizará uma escavadeira hidráulica com capacidade de caçamba de 3,5 m³. Considerando a massa específica do material seco ($\gamma = 2,75 \text{ ton/m}^3$) o peso de cada caçambada será de 9,62 ton, sendo a capacidade mínima de potência da pá-carregadeira a ser utilizada estabelecida em 15 ton.

A capacidade de produção de cada equipamento de carregamento pode ser estimada a partir da fórmula postulada por VIDALI, que possui o seguinte formato:

$$Ch = \frac{60 \times 60 \times Ce \times Ef \times Vc}{Cg \times tc} \text{ (m}^3\text{/h empolado)}$$

Onde:

- Ch: Capacidade horária
- Ce: Coeficiente de enchimento da caçamba
- Ef: Eficiência mecânica
- Vc: Volume da caçamba
- Cg: Coeficiente de giro máximo
- Tc: Tempo de ciclo mínimo

Os parâmetros da fórmula para o tipo de equipamentos de carregamento escolhido são:

- Ce: 0,8
- Ef: 0,7
- Vc: 3,5 m³
- Cg: 1,1
- Tc: 72s (50 ciclos/h)

Para esses parâmetros temos a seguinte capacidade de produção horária para o equipamento escolhido:

$$Ch = \frac{60 \times 60 \times 0,8 \times 0,7 \times 3,5}{1,1 \times 72} = 89,09 = 89 \text{ m}^3/\text{h}$$

Considerando um regime de trabalho de 8 horas/dia e 22 dias úteis/mês, temos a seguinte capacidade de produção mensal por escavadeira hidráulica:

$$89 \text{ m}^3/\text{h} \times 8 \text{ h/dia} \times 22 \text{ dias/mês} = 15.488 \text{ m}^3/\text{mês}$$

Conclui-se portanto que será necessária 1 unidade com as características definidas acima para atender a produção desejada de 15.000 m³/mês de rocha fragmentada, operando no regime de trabalho abaixo indicado:

| | |
|---------------------------|-------------|
| Horas de operação diária: | 8 h |
| Regime de trabalho: | 22 dias/mês |
| Número de unidades: | 1 unidade |

| | |
|---------------------------------------|----------------------------|
| Capacidade de produção total: | 15.488 m ³ /mês |
| Capacidade utilizada no carregamento: | 96,85% |

8.3 - Dimensionamento do Transporte

O transporte projetado para a pedreira será realizado por caminhões tipo caçamba convencionais com capacidade de caçamba de 18 m³. Considerando a massa específica do material seco ($\gamma = 2,75 \text{ ton/m}^3$) o peso a ser transportado por ciclo de operação será de 35,35 ton, sendo a capacidade mínima do caminhão a ser utilizado estabelecido em 40 ton.

O número de caminhões programados para atender a escavadeira hidráulica selecionada para a lavra pode ser estimado a partir da relação técnica:

$$\text{Número de caminhões} = \frac{T_{\text{ciclo cam}} \times E_f(\text{carreg})}{T_{\text{carga}} \times E_f(\text{cam})}$$

Onde:

$T_{\text{ciclo cam}}$: Tempo de ciclo do transportador

$E_f(\text{carreg})$: Eficiência da carregadeira

T_{carga} : Tempo de carga do caminhão

$E_f(\text{cam})$: Eficiência do caminhão

O tempo de ciclo mínimo do transportador é determinado considerando-se os tempos de carga do transportador, traslado do transportador cheio e vazio, descarga no britador e a distância de transporte. Abaixo é apresentado o cálculo para determinação do tempo de ciclo mínimo do transporte.

$$T_{\text{carga}} = \frac{18 \text{ m}^3 \times 1,32 \text{ min/caç}}{2,8 \text{ m}^3/\text{caç}} = 8,48 \Rightarrow 8,5 \text{ min}$$

Capacidade da caçamba = $3,5 \text{ m}^3/\text{caç} \times 0,8$ (coef enchim) = $2,8 \text{ m}^3/\text{caç}$

Tempo de carga do transportador = 50 ciclos/h x 1,1 (coef giro) = 1,32 min

Percurso total pedreira – britador primário: 500 m

Velocidade de translado: caminhão cheio: 25 km/h = 417 m/min

caminhão vazio: 40 km/h = 667 m/min

Tempo de translado: caminhão cheio: $\frac{500 \text{ m}}{417 \text{ m/min}} = 1,5 \text{ min}$

caminhão vazio: $\frac{500 \text{ m}}{667 \text{ m/min}} = 1,0 \text{ min}$

Tempo de descarga no britador: 1,5 min

Tempo de ciclo total: 8,5 min + 1,5 min + 1,0 min + 1,5 min = 12,5 min

Capacidade horária dos caminhões:

$$18 \text{ m}^3/\text{caç} \times 0,9 (E_i) \times 0,8 (C_e) \times 5 \text{ ciclos/h} = 64,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

Número de caminhões necessários por pá-carregadeira, considerando uma eficiência no sistema de transporte de 80%:

$$\text{N}^\circ \text{ de caminhões} = \frac{12,5 \times 0,7}{8,5 \times 0,8} = 1,29 \Rightarrow 2 \text{ caminhões / carregadeira}$$

Necessita-se portanto de 2 caminhões para atender a produção desejada mais 1 unidade de reserva. A frota total projetada para a empresa corresponde portanto a 3 caminhões caçamba com capacidade de caçamba de 18 m³, operando no regime de trabalho abaixo indicado:

Horas de operação diária: 8 h

Regime de trabalho: 22 dias/mês

Número de unidades: 2 unidades

Capacidade de produção total: 22.800 m³/mês

Capacidade utilizada no transporte: 65,78%

8.4 - Dimensionamento do Plano de Fogo

O presente plano de fogo foi elaborado visando acima de tudo a segurança das operações e o pleno controle ambiental em termos de vibrações, lançamento de fragmentos e geração de ruídos.

Com essas medidas espera-se que a pedreira atenda as exigências em termos de produção mensal desejada, segurança nas operações de lavra e controle de possíveis danos relacionados ao desmonte primário.

Geometria do Plano de Fogo

A rocha a ser desmontada é um granodiorito *strictu senso*, que possui as seguintes características tecnológicas:

If – índice de fraturamento = 0,7

Densidade *in situ* = 2,750 ton/m³

Velocidade de propagação de ondas elásticas = 3.000 m/s

Impedância = 2,75 x 3.000 = 8.250 ton / m². s

Afastamento

Valores normais para determinação do afastamento:

$25 \cdot \varphi < A < 45 \cdot \varphi$ $\varphi = \text{diâmetro do furo} = 2 \frac{1}{2}''$

Intervalo do afastamento: $1,60 \text{ m} < A < 2,85 \text{ m}$

Afastamento adotado = 2,0 m (próximo ao limite inferior para melhor controle de vibrações e fragmentação da rocha)

Inclinação das bancadas

Adotou-se uma inclinação de 15° com o propósito de melhorar as condições de segurança no trabalho, melhorar a estabilidade dos taludes operacionais, reduzir a ultra quebra da bancada remanescente e aumentar a eficiência do fogo.

Intervalo de variação entre 10 e 25°

Espaçamento

Será utilizada uma malha retangular direta. Para essa configuração tem-se os seguintes valores limites para o espaçamento:

$$2,6 \text{ m} < E < 4 \text{ m}$$

Espaçamento adotado: 3 m haja visto as condições geoestruturais do maciço associados a uma menor interferência de vibrações. Com essas condições impostas na malha nos é assegurada uma boa fragmentação com um mínimo de vibrações, conforme indicado no item Análise de Vibrações.

Altura das bancadas

Altura de bancada básica, de acordo com as fórmulas propostas por Ash & Smith (1976) e Hemphill (1981):

$$50,8 \varphi < L < 260 \varphi$$

Intervalo da altura de bancada: $3,25 \text{ m} < L < 16,50 \text{ m}$

Adotou-se uma altura de 15 m.

Sub-furação

A sub-furação refere-se a perfuração dos furos abaixo da linha de praça da bancada inferior, executada com o objetivo de evitar a formação de repés.

Intervalo da sub-furação:

$$0,4 \text{ m} < S_f < 1,0 \text{ m}$$

Adotou-se uma sub-furação de 0,8 m

Comprimento dos furos

O comprimento dos furos é obtido a partir da seguinte relação geométrica

$$L_b = L / \cos \alpha + S_f = 15 / \cos 15^\circ + 0,8 \text{ m} = 16,33 \Rightarrow 16,5 \text{ m}$$

Reconfiguração dos furos para comprimento adotado: 16,5 m

Altura da bancada: 15 m

Sub-furação: 0,5 m

Tampão

O intervalo de altura do tampão varia de acordo com a seguinte relação:

$$0,5 \cdot A < T < A$$

Intervalo de altura do tampão: $1 \text{ m} < T < 2 \text{ m}$

Altura de tampão adotada: 1,5 m

Especificação dos Explosivos

Características da rocha:

$$\rho_r = 2,75 \text{ ton/m}^3 \quad v_r = 3.000 \text{ m/s} \quad I_r = 8.250 \text{ ton/m}^2.\text{s}$$

Fator de compatibilização de impedâncias desejado: 0,5

Explosivo a ser utilizado

Explosivo ANFO tipo emulsão $\rho_{\text{anfo}} = 1,15 \text{ ton/m}^3$ $v_{\text{anfo}} = 5.000 \text{ m/s}$

Impedância: $I_1 = 1,15 \cdot 5.000 = 5.750 \text{ ton/m}^2.\text{s}$

Fator de impedância no desmonte: $5.750 / 8.250 = 0,70$

Os explosivos a serem usados são:

Explosivo ANFO tipo emulsão com as seguintes especificações: densidade de 1,15 ton/m³, velocidade de detonação de 5.000 m/s, volume gasoso de 982 lt/kg e energia absoluta de 950 kcal/kg

Distribuição das Cargas Explosivas no Furo

Área dos furos: $\varphi^2 \cdot \pi / 4 = 0,0032 \text{ m}^2$ ($\varphi = 2\frac{1}{2}''$)

Razão linear de carregamento

A fórmula para cálculo da razão linear de carregamento é:

$$1 \text{ m} \cdot \pi \cdot \varphi^2 / 4 \cdot \rho_{\text{expl}}$$

Razão linear de carregamento do explosivo: $1 \cdot 0,0032 \cdot 1,15 = 0,00368 \text{ ton/m}$

Comprimento das cargas

Carga de explosivo (Lex): $L_b - T = 16,5 - 1,5 = 15 \text{ m}$

Quantidade de explosivo na carga total por furo

Carga de explosivo: $15 \text{ m} \cdot 0,00368 \text{ ton/m} = 55,2 \text{ kg}$

Carga total por furo: $55,20 \text{ kg}$

Razão de carga

Volume total desmontado por furo: $L \cdot A \cdot E = 15 \cdot 2 \cdot 3 = 90 \text{ m}^3$

Razão de carga = $55,20 \text{ kg} / 90 \text{ m}^3 = 0,613 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow 613,33 \text{ g/m}^3$

Energia desenvolvida

Energia total por furo: $55,20 \text{ kg} \cdot 950 \text{ kcal/kg} = 52.440 \text{ kcal}$

Volume de gases

Volume gasoso total por furo: $55,20 \text{ kg} \cdot 982 \text{ lt/kg} = 54.206 \text{ litros}$

Razão energética total (Ret)

Ret = Energia total / Volume desmontado: $52.440 / 90 = 582,67 \text{ kcal/m}^3$

Razão volumétrica gasosa total (Rvt)

Rvt = Volume gasoso / volume desmontado: $54.206 / 90 = 602,29 \text{ lt/m}^3$

Lançamento da pilha

O lançamento máximo da pilha pode ser estimado pela relação empírica:

$$\text{Lançamento (m)} = \frac{1}{4} \cdot \text{Razão volumétrica gasosa} = 602,29 / 4 = 150 \text{ m}$$

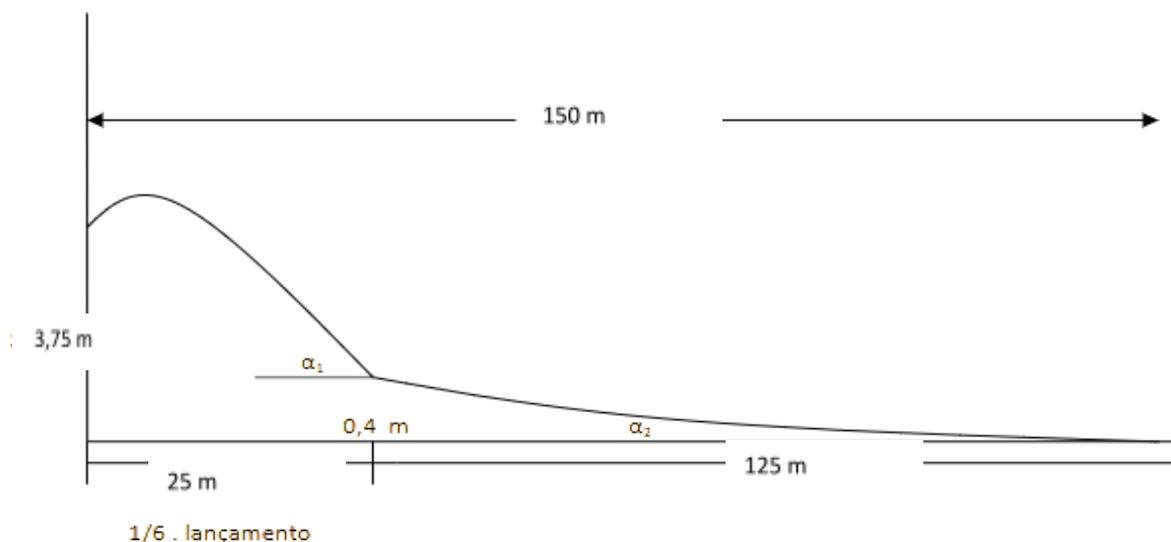
Área de segurança mínima considerando um coeficiente de segurança igual a 2 (distância 100% superior a maior distância prevista de lançamento) será de 300 m.

Altura da pilha formada

A altura máxima de pilha formada pode ser estimada pela seguinte relação empírica:

$$\text{Altura máxima} = \frac{1}{4} \cdot \text{Altura da bancada} = 15 / 4 = 3,75 \text{ m}$$

Figura 16: Configuração geométrica da pilha formada



Fonte: Autor (2024)

O material desmontado é aquele onde concentra-se o segmento 1 (próximo a bancada) e o segmento 2 correspondente ao espalhamento máximo estimado.

Ângulo de espalhamento segmento 1: $\alpha_1 = 13,15^\circ$

Ângulo de espalhamento segmento 2: $\alpha_2 = 0,27^\circ$

Localização do ponto de ignição da coluna explosiva

O ponto de iniciação deve estar posicionado a uma distância de cerca de 1/6 do comprimento do furo.

Considerando que o comprimento do furo possui 16,5 m, tem-se que o ponto de iniciação deve ser posicionado a 2,75 m acima do fundo do furo. Ou seja, a uma profundidade de 13,75 m abaixo da boca do furo. Para iniciação será utilizada uma carga de *booster* de 200 gr a base de Pentaeritrol tetranitrato (PETN).

A amarração do desmonte será em malha estagiada com utilização do sistema de iniciação não elétrica através de tubos de choque.

Dimensionamento da Produção Desejada

Está prevista uma produção mensal de cerca de 15.000 m³/mês de material fragmentado. Para fazer face a essa produção desejada deve-se lavrar um volume *in situ* igual ao volume total dividido pelo empolamento médio da rocha. Assim tem-se:

Volume desmontado *in situ*: $15.000 \text{ m}^3 / 1,40 = 10.700 \text{ m}^3/\text{mês}$

O número de furos a serem detonados por mês é determinado dividindo-se a produção total *in situ* pelo volume total arrancado *in situ* por cada furo. Assim tem-se:

Número de furos: $10.700 \text{ m}^3 / 90 \text{ m}^3/\text{mês} = 119 \text{ furos}/\text{mês}$

A necessidade em termos de metros perfurados mensalmente é obtida dividindo-se a metragem total a ser perfurada, obtida pelo número de furos multiplicado pelo comprimento de cada furo, pela perfurabilidade específica do equipamento de perfuração. Considerando a operação com uma carreta de perfuração tipo ROC 601 e admitindo-se uma perfurabilidade média nesse tipo de rocha de 10 m/h, tem-se:

Metragem a ser perfurada mensalmente: $119 \text{ furos} \cdot 16,5 \text{ m}/\text{furo} = 1.964 \text{ m}/\text{mês}$

Número de horas de perfuração: $1.964 \text{ m} / 10 \text{ m}/\text{h} = 196,4 \text{ horas} \Rightarrow 25 \text{ dias}$

Considerando o tempo gasto na movimentação da perfuratriz e posicionamento, estimado em 30% do tempo de perfuração, tem-se mais 57 h de traslado totalizando 253 h de operação. A produção desejada pode ser obtida através da operação de 2 perfuratrizes de carreta tipo ROC 601, operando 22 dias/mês em turno de 8 horas/dia com eficiência média de 0,8, totalizando 352 horas disponíveis na perfuração, com 71,87% de utilização da capacidade de produção disponível. A perfurabilidade específica é obtida dividindo-se a metragem total perfurada por furo pelo volume *in situ* explotado. Assim tem-se:

Perfurabilidade específica: $1.961 \text{ m} / 10.700 \text{ m}^3 = 0,183 \text{ m}/\text{m}^3$

9 - PLANEJAMENTO DE LAVRA

O nível de produção desejado para a pedreira na fase de implantação da pedreira é de cerca de 15.000 m³/mês de material fragmentado. Considerando um fator de empolamento médio de 40% para o litotipo local, chega-se a uma necessidade de desmonte de material *in situ* de aproximadamente:

$$\frac{15.000 \text{ m}^3/\text{mês}}{1,4} = 10.700 \text{ m}^3/\text{mês}$$

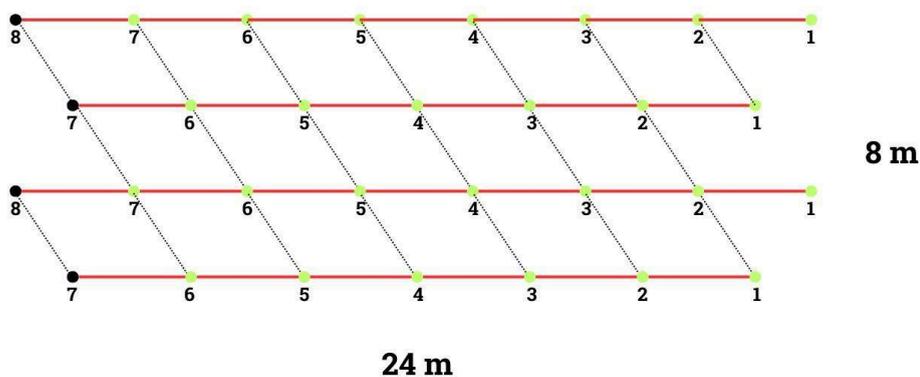
Pelo Plano de Fogo previsto tem-se um volume desmontado de rocha *in situ* por furo da ordem de: 2 x 3 x 15 m = 90 m³, o que nos leva a uma necessidade de:

$$\frac{10.700 \text{ m}^3/\text{mês}}{90 \text{ m}^3/\text{furo}} = 119 \text{ furos/mês}$$

Considerando que teremos apenas 1 frente de lavra na fase de lavra inicial em exploração na área da pedreira deve-se proceder ao desmonte de 120 furos/mês para obtenção da produção desejada.

Planejando-se a execução de 1 detonação semanal na pedreira, num regime alternado de desmonte primário, tem-se a necessidade de detonação de 30 furos por desmonte semanal.

Figura 17: Malha de Furação



| | |
|---|--|
| Área total de avanço semanal na pedreira: | $24 \text{ m} \times 8 \text{ m} = 192 \text{ m}^2$ |
| Avanço mensal planejado na lavra: | $192 \text{ m}^2 \times 4 = 768 \text{ m}^2$ |
| Volume <i>in situ</i> mensal desmontado: | $768 \text{ m}^2 \times 15 \text{ m} = 11.520 \text{ m}^3/\text{mês}$ |
| Volume fragmentado mensal produzido: | $11.520 \text{ m}^3/\text{mês} \times 1,4 = 16.128 \text{ m}^3/\text{mês}$ |

Pela configuração acima temos um lançamento lateral da pilha o que possibilita uma melhor configuração da pilha final e maior segurança, evitando-se o lançamento de fragmentos para as bancadas inferiores.

Para cada detonação são previstos os seguintes materiais: 1 mantopim de 2 m, 30 retardos de 40 ms, 30 iniciadores (*booster*) de 200 gr, 600 m de tubo de choque, 1,656 kg de explosivo ANFO tipo emulsão.

O consumo médio mensal estimado de explosivos e acessórios para a produção desejada é apresentado abaixo e será fornecido por empresa terceirizada, devidamente capacitada e legalizada para essa atividade, que será também responsável pela detonação:

| | |
|-------------------------|----------|
| Mantopim: | 4 un |
| Retardos 40 ms: | 120 un |
| Booster de 200 gr: | 120 un |
| Tubos de choque (20 m): | 120 un |
| Emulsão: | 6.624 kg |

10 - ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Na indústria de agregados para construção civil (brita), a linha de produção resultante da lavra da rocha está dividida em 3 estágios independentes que fornecem os seguintes produtos:

Material fragmentado;

Material cominuído em circuito de britagem;

Material classificado em circuito de classificação granulométrica a seco.

O esquema de exploração na pedreira de brita compõe a primeira etapa do processo de obtenção de brita e pode ser visualizado no diagrama de blocos do sistema produtivo na figura 18.

Está prevista inicialmente, na fase de implantação da lavra para a exploração da pedreira de brita a produção de cerca de 15.000 m³/mês de brita e areia industrial, correspondentes a 10.700 m³ de volume *in situ* na pedreira, através da aplicação de método de lavra a Céu Aberto com utilização de desmonte a explosivos em bancadas altas a meia encosta.

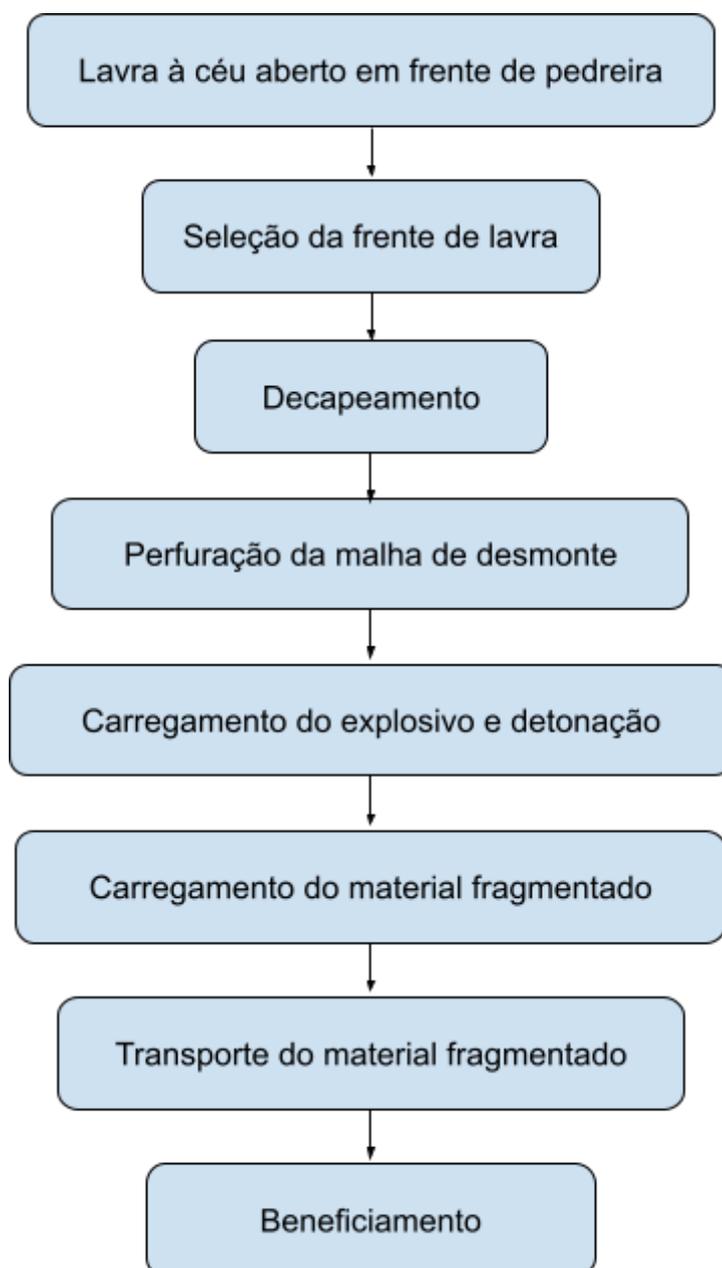
A produção prevista será direcionada em sua maior parte para atender o mercado da Região Metropolitana do Recife, onde constantemente são realizados grandes empreendimentos no setor da construção civil, constituindo-se o maior pólo consumidor do Estado de Pernambuco. A fase de lavra definitiva prevê uma produção da ordem de 25.000 m³/mês de agregados para construção civil.

O material a ser lavrado constitui-se de um granodiorito, material de alta coesão e excelentes características para emprego como brita e areia industrial.

A análise de viabilidade econômica da área de pesquisa será realizada através da elaboração de um fluxo de caixa convencional definindo-se:

- Tempo de retorno do investimento inicial a uma taxa de atratividade de 18% ao ano.
- Taxa interna de retorno do projeto, admitindo que o empreendimento terá no mínimo 15 anos de duração após sua efetiva implantação.
- Valor atual líquido do empreendimento, supondo que o projeto terá 15 anos de vida útil, com uma taxa de retorno de 18% ao ano.

Figura 18: Diagrama de Blocos do Sistema Produtivo



Fonte: Autor (2024)

O fluxo de caixa será elaborado sem levar em consideração a inflação. Portanto, a taxa de 18% ao ano não está relacionada à inflação, mas sim a um valor adicional sobre ela. A escolha dessa taxa se baseia no fato de que a taxa de captação de empréstimos no mercado financeiro costuma ultrapassar os 12% ao ano.

10.1 - Parâmetros para Elaboração do Estudo de Viabilidade Econômica

Despesas de Pesquisa:

- Requerimento de pesquisa
- Mapeamento geológico/topográfico da área pesquisada
- Ensaio petrográficos e tecnológicos
- Elaboração do relatório final de pesquisa com estudo de pré-viabilidade econômica

Os custos dos trabalhos de pesquisa realizados na área da pedreira somam R\$ 50.000,00 (cinquenta mil reais).

Obtenção do Decreto de Lavra

Para obtenção do decreto de lavra a concessionária deverá requerer a lavra e apresentar o Plano de Aproveitamento Econômico da jazida. Atualmente o custo de um requerimento de lavra completo e elaboração dos demais relatórios técnicos é da ordem de R\$ 35.000,00 (trinta e cinco mil reais).

Preparação da Mina para Lavra

O início da lavra permanente na pedreira deverá ocorrer quando se tiver o Requerimento de Lavra aceito pela ANM e publicado no Diário Oficial da União, etapa esta que permitirá a implantação definitiva do empreendimento.

Esta lavra se dará inicialmente nos locais onde já ocorreu a lavra anteriormente através de concessionária localizados próximos ao local da Planta de Britagem. Pela cotação do mercado o custo de extração para uma produção de cerca de 15.000 m³/mês foi estimado em cerca de R\$ 32,62/m³ de material fragmentado.

Preparação da Infra-estrutura

Sendo a área requerida dotada de boas condições de infra-estrutura, pois fica próxima às cidades de Jaboatão dos Guararapes e Recife, pode-se instalar nesses municípios próximos o almoxarifado central e a administração, como também residir os operários. Quanto às vias de acesso deve-se salientar que a área alvo para início da lavra localiza-se a cerca de 500 m da Planta de Britagem, com acesso extremamente facilitado no local.

Para dotar a área de ótimas condições, estão previstos trabalhos de melhoramento da estrada terraplenada que dá acesso à frente de lavra e construção de novos acessos às frentes de lavra. Essas obras foram estimadas pela cotação do mercado em cerca de R\$ 50.000,00 (cinquenta mil reais).

Para instalação será necessário a construção de um prédio industrial com cerca de 1.500 m² e dos pátios de alimentação do britador e armazenamento da produção em pilhas. O custo de construção do prédio industrial foi estimado em 1.064,77 R\$/m² conforme “Custos Unitários Básicos de Construção (CUB/m²)”, calculados de acordo com a Lei Fed. nº. 4.591, de 16/12/64 e com a Norma Técnica NBR 12.721:2006 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e são correspondentes ao mês de Janeiro/2024. Temos portanto um custo de construção

civil estimado em R\$ 1.595.000,00 (hum milhão, quinhentos e noventa e cinco mil reais).

Aquisição de Equipamentos

Para extração de 15.000 m³/mês de material fragmentado (brita e areia industrial), serão necessários os seguintes equipamentos.

- 1 Carreta de perfuração tipo ROC série 601
- 1 Escavadeira hidráulica com capacidade de caçamba de 3,5 m³
- 2 Caminhões tipo caçamba trucado com capacidade de 18 m³
- 1 Compressor com capacidade de 600 cfm e pressão de 110 psi
- 2 Camionete para supervisão
- 1 Caminhão pipa para controle de poeira
- 1 Trator de lâmina frontal (bulldozer) tipo D4 para limpeza de frentes de lavra
- 2 Marteletores tipo BBC ou similar para fogacho

O custo estimado para os equipamentos necessários à execução das atividades de lavra é de cerca de R\$ 3.310.000,00 (três milhões trezentos e dez mil reais). Relação de equipamentos necessários à extração de 15.000 m³/mês de material fragmentado.

Para processamento de 15.000 m³/mês de material fragmentado (brita e areia industrial) na Planta de Briategm, serão necessários os seguintes equipamentos.

- 1 Alimentador Vibratório, modelo AVF 4'x18'
- 1 Britador de Impacto Horizontal, modelo HSI 1300 / HSI 1012
- 1 Britador de Impacto Vertical, modelo VSI 225
- 1 Peneira Vibratória Inclinada, modelo AIS 5' K 14' DD
- 1 Peneira Vibratória Inclinada, modelo AIS 81x 20' TD
- 1 Peneira Vibratória Modular, modelo AHFS 8' ,e 20' DO
- 2 Calhas Vibratórias, 0 / 150100 / 0/13080
- 13 Transportadores de correias

O custo estimado para os equipamentos necessários à execução das atividades de beneficiamento e produção de britas é de cerca de R\$ 8.000.000,00 (oito milhões de reais). Relação de equipamentos necessários à extração de 15.000 m³/mês de material fragmentado.

Tabela 9: Custo de equipamentos e materiais

| <i>Equipamentos</i> | <i>Quantidade</i> | <i>Preço Unitário (R\$)</i> | <i>Preço Total (R\$)</i> |
|--------------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Compressor | 01 | 60.000,00 | 60.000,00 |
| Carreta de perfuração | 02 | 70.000,00 | 140.000,00 |
| Escavadeira hidráulica | 01 | 1.200.000,00 | 1.200.000,00 |
| Caminhões | 02 | 600.000,00 | 1.200.000,00 |
| Afiadora de broca | 01 | 5.000,00 | 5.000,00 |
| Camioneta | 01 | 80.000,00 | 80.000,00 |
| Caminhão-pipa | 01 | 160.000,00 | 160.000,00 |
| Marteletes | 02 | 7.500,00 | 15.000,00 |
| Trator de lâmina frontal | 01 | 450.000,00 | 450.000,00 |
| Planta de Beneficiamento | 01 | 8.000.000,00 | 8.000.000,00 |
| Total | 15 | - | 11.310.000,00 |

Fonte: Autor (2024)

Aquisição de Peças, Equipamentos e Acessórios

É necessário que a empresa instale um pequeno almoxarifado nas proximidades da frente de lavra, pois a distância até Recife, que é a principal cidade para aquisição de peças sobressalentes e acessórios, é de cerca de 20 km. O estoque deste almoxarifado deve constar inicialmente de brocas, engates, mangueiras, lubrificadores de linha, óleo diesel, graxa, cabos de marreta, etc. Este estoque deve ser em quantidade superior às necessidades preliminares.

O custo destas peças, equipamentos e acessórios foi estimado em 2,5% do valor total do investimento previsto. Sendo assim, serão necessários R\$ 80.000,00 (oitenta mil reais) para a despesa inicial com o almoxarifado, incluído no item Capital de Giro.

Depreciação de Equipamentos e Instalações

A depreciação é calculada de acordo com as orientações do Código de Tributação e Normas da Receita Federal, IN-SRF-2/69, Portaria 407/76 IN-SRF-72/84 e IN-SRF 103/84.

Tabela 10: Custo da depreciação

| <i>Equipamentos</i> | <i>Taxa de Depreciação</i> | <i>Valor Total (R\$)</i> | <i>Depreciação (R\$)</i> |
|--------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Compressor | 10% | 60.000,00 | 6.000,00 |
| Carreta de perfuração | 10% | 140.000,00 | 14.000,00 |
| Pá-carregadeira | 10% | 1.200.000,00 | 120.000,00 |
| Caminhões | 10% | 1.200.000,00 | 120.000,00 |
| Afiadora de broca | 10% | 5.000,00 | 500,00 |
| Camioneta | 10% | 80.000,00 | 8.000,00 |
| Caminhão-pipa | 10% | 160.000,00 | 16.000,00 |
| Marteletes | 50% | 15.000,00 | 7.500,00 |
| Trator de lâmina frontal | 10% | 450.000,00 | 45.000,00 |
| Equipamentos britagem | 10% | 8.000.000,00 | 800.000,00 |
| Prédios e Planta | 5% | 1.595.000,00 | 79.750,00 |
| Total | - | 11.032.500,00 | 1.216.750,00 |

Fonte: Autor (2024)

O custo anual de depreciação será, portanto, de R\$ 1.216.750,00 / ano.

Receita Anual com a Produção de Brita e Areia Industrial

A produção de brita e areia industrial na pedreira está prevista para 15.000 m³/mês, de acordo com a distribuição percentual de produtos apresentada a seguir. A receita anual estimada para o empreendimento foi calculada levando-se em consideração o balanço de massas da Planta de Concentração que produz 40% de brita 1, 25% de brita 0 e 35% de pó de pedra (areia industrial).

Tabela 11: Produção Esperada e a estimativa de receitas anuais

| <i>Produto</i> | <i>Produção anual (m³)</i> | <i>Preço de venda FOB (R\$/m³)</i> | <i>Faturamento anual (R\$)</i> |
|--------------------------------|---------------------------------------|---|--------------------------------|
| BRITA 0 | 72.000 | 60,00 | 4.320.000,00 |
| BRITA 1 | 45.000 | 65,00 | 2.925.000,00 |
| PÓ DE BRITA (AREIA INDUSTRIAL) | 63.000 | 55,00 | 3.465.000,00 |
| TOTAL | 180.000 | 59,50 | 10.710.000,00 |

Fonte: Autor (2024)

Receita anual = R\$ 10.710.000,00 (dez milhões, setecentos e dez mil reais)

Mão-de-obra e Encargos Sociais do Pessoal

A tabela abaixo apresenta a estimativa da mão-de-obra para a operação da pedreira. O pessoal inclui assessoria técnica (engenheiro de minas) e supervisão das atividades (encarregado geral). A mão-de-obra administrativa será computada no item Despesas de Administração.

Tabela 12: Custo de Mão-de-obra e Encargos Sociais do Pessoal

| <i>Função</i> | <i>Quantidade</i> | <i>Salário Mensal (R\$)</i> | <i>Custo Total (R\$)</i> |
|--------------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Responsável técnico | 01 | 10.000,00 | 10.000,00 |
| Encarregado geral lavra | 01 | 4.500,00 | 4.500,00 |
| Encarregado geral planta | 01 | 4.500,00 | 4.500,00 |
| Operários lavra | 10 | 2.500,00 | 25.000,00 |
| Operários planta | 8 | 2.500,00 | 20.000,00 |
| Subtotal | - | - | 64.000,00 |
| Encargos sociais (110%) | - | - | 70.400,00 |
| Despesa mensal | - | - | 134.400,00 |

Fonte: Autor (2024)

A partir da tabela acima se verifica que a despesa de mão-de-obra direta e encargos sociais num período de 12 meses custarão para a empresa R\$ 1.612.800,00 (um milhão, seiscentos e doze mil mil e oitocentos reais), conforme cálculo abaixo.

Despesa direta mão-de-obra anual = R\$ 134.400,00 / mês x 12 meses/ano = R\$ 1.612.800,00

Transporte

Como o mercado consumidor principal da empresa localiza-se em Recife – PE é necessário estimar-se o custo de frete para envio da produção até os consumidores finais. Esse valor deverá ser ressarcido pelo consumidor e portanto não afeta os custos do projeto.

O frete de cada carga de 18 m³ ou cerca de 32 ton métricas custará para o consumidor a quantia de R\$15,00 / m³. Como há previsão de transportar cerca de 128.400 m³ / ano, o custo total de frete anual será de:

$$128.400 \text{ m}^3 / \text{ano} \times \text{R\$ } 15,00 / \text{m}^3 = \text{R\$ } 1.926.000,00$$

Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS)

Com a promulgação da Nova Constituição do Brasil em 04 de outubro de 1988 foi extinto o antigo Imposto Único sobre Minerais (IUM) sendo esse substituído pelo Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), cuja alíquota para comercialização de brita é de 17%.

$$\text{ICMS} = (\text{Faturamento bruto anual}) \times 17\%$$

$$\text{ICMS} = (10.710.000,00) \times 17\% = \text{R\$ } 1.820.700,00$$

Taxa de Arrendamento

De acordo com o Regulamento do Código de Mineração, Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 o proprietário do solo onde está localizada a jazida deve participar do resultado da lavra, auferindo um dízimo do valor do ICMS (artigo 86). Como a empresa é proprietária das áreas previstas para lavra o valor referente à taxa de arrendamento é nulo.

Material de Consumo

Os equipamentos que trabalham movidos a óleo diesel apresentam um consumo médio de 14 litros de óleo por hora de trabalho e 0,075 de lubrificantes/hora. A previsão é que o compressor trabalhe 8 horas/dia, durante 264 dias/ano. Desta forma, o consumo previsto de óleo diesel e lubrificantes será de:

Consumo de óleo diesel

Compressor: 264 dias/ano x 4 horas/dia x 1 unid x 14 lt/hora = 14.784 lt

Escavadeira hidráulica: 264 dias/ano x 7 horas/dia x 1 unid x 16 lt/hora = 29.568 lt

Caminhões: 500 km/mês / 4 km/lt x 12 meses = 1.500 lt

Caminhonete: 1.000 km/mês / 6 km/lt x 12 meses = 2.000 lt

Trator de lâmina: 264 dias/ano x 2 horas/dia x 1 unid x 14 lt/hora = 7.392 lt

Consumo de lubrificantes

Compressor: 264 dias/ano x 4 horas/dia x 1 unid x 0,075 lt/hora = 79,2 lt

Escavadeira hidráulica: 264 dias/ano x 7 horas/dia x 1 unid x 0,268 lt/hora = 495,3 lt

Trator de lâmina: 264 dias/ano x 2 horas/dia x 1 unid x 0,144 lt/hora = 76,1 lt

Consumo de pneus

Caminhões: 6.000 km/ano / 15.000 km vida útil x 10 unid = 4 unid/ano

Para a execução da perfuração do Plano de Fogo previsto para desmonte de brita na pedreira é necessária a utilização de brocas e hastes de prolongamento. Para cada m³ de material fragmentado são perfurados em média cerca de 0,183 metros com as brocas, ou 32.940 m de furação por ano. Como o tempo de vida útil das brocas em granodiorito oscila em torno de 250 metros (com reafiação) e a produção anual de material *in situ* será de 180.000 m³, deverão ser consumidas anualmente 132 brocas. O custo do desmonte do material prevê a utilização de desmonte por explosivos.

Tabela 13: Quantidade de explosivo e seus custos

| <i>Item de Custo</i> | <i>Consumo Mensal</i> | <i>Custo Unitário (R\$)</i> | <i>Custo Mensal (R\$)</i> |
|----------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Mantopim:* | 4 un | 4,50 | 18,00 |
| Retardos 40 ms: | 120 un | 5,60 | 672,00 |
| Booster de 200 gr: | 120 un | 12,00 | 1.440,00 |
| Tubo de choque: | 120 un | 8,00 | 960,00 |
| Emulsão: | 6.624 kg | 3,50 | 23.184,00 |
| TOTAL: | - | - | 26.274,00 |

Fonte: Autor (2024)

* Incluídos os insumos necessários para o desmonte secundário

Custo anual em explosivos e acessórios = 26.274,00 x 12 = R\$ 315.288,00

Para os equipamentos adquiridos são necessários trabalhos de manutenção, conserto e substituição de peças. O custo desses trabalhos foi estimado a uma base de 3% do valor de aquisição dos equipamentos por ano de operação.

Na tabela abaixo tem-se o custo de material de consumo anual calculado em R\$ 1.032.010,50 (um milhão, trinta e dois mil, dez e cinquenta centavos).

Tabela 14: Despesas Anuais de Materiais de Consumo

| <i>Despesa</i> | <i>Quantidade</i> | <i>Custo Unitário (R\$)</i> | <i>Custo Total (R\$)</i> |
|--|-------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Óleo diesel | 55.244 lt | 6,80 | 375.659,20 |
| Lubrificante | 650,6 lt | 20,50 | 13.337,30 |
| Pneus | 4 unid | 10.000,00 | 40.000,00 |
| Explosivos e acessórios | - | - | 315.288,00 |
| Brocas | 132 unid | 300,00 | 39.600,00 |
| Peças e material de reposição (3%) | - | - | 99.300,00 |
| SUBTOTAL | | | 883.184,50 |
| Outros materiais não listados (5% subtotal): | | | 45.000,00 |
| TOTAL | - | - | 928.184,50 |

Fonte: Autor (2024)

Custo de beneficiamento

O custo de beneficiamento foi estimado como sendo da ordem de 16,00 R\$/m³, valor esse obtido junto ao levantamento histórico de custos da empresa em empreendimentos semelhantes. Esse custo refere-se basicamente às etapas de cominuição e classificação granulométrica executadas na Planta de Britagem existente na área de exploração. Dessa forma o custo anual de beneficiamento pode ser definido como segue:

Custo anual beneficiamento: 180.000 m³/ano x 16,00 R\$/m³ = R\$ 2.880.000,00

Despesas Administrativas

A despesa administrativa é formada pelo salário do pessoal da administração central, o material de expediente, luz, comunicações, despesas de viagens e despesas de comercialização.

Feita uma análise dos balanços das empresas de produção de brita no Brasil, verificou-se que as despesas administrativas representam em média de 2 a 5% das receitas anuais com a venda de minério. Para a nossa análise de viabilidade econômica vamos considerar a taxa de 2,5% da receita anual.

Despesa Administrativa Anual = Receita Anual x 2,5%

Despesa Administrativa Anual = R\$ 10.710.000,00 x 2,5% = R\$ 267.750,00

Despesa com Seguros

O valor aqui calculado se refere basicamente ao seguro contra os riscos de incêndio ou de roubo. Esse seguro se faz necessário para as máquinas, equipamentos e veículos.

Para as máquinas e equipamentos a taxa média contra incêndio, roubo e riscos diversos é de 1,50%. Já para os veículos a taxa sobe para 2,5% do valor dos bens.

A expressão abaixo nos dá a despesa anual com seguros:

Despesa com seguros = (valor equipamentos x 1,50%) + (valor veículos x 2,5%)

Despesa seguros = (R\$ 9.870.000 x 1,50%) + (R\$ 1.440.000 x 2,5%) = R\$ 184.050,00

Despesas de produção

A despesa total de produção é obtida somando-se os valores referentes à mão-de-obra de operação, material de consumo, custo de beneficiamento, despesas administrativas e seguros.

Tabela 15: Custo de produção na pedreira

| <i>Item de custo</i> | <i>Valor anual (R\$)</i> | <i>Custo unitário (R\$/m³)</i> |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Mão-de-obra operacional | 1.612.800,00 | 8,95 |
| Material de consumo | 928.184,50 | 5,16 |
| Beneficiamento | 2.880.000,00 | 16,00 |
| Despesas administrativas | 267.750,00 | 1,49 |
| Seguros | 184.050,00 | 1,02 |
| Total | 5.871.984,50 | 32,62 |

Fonte: Autor (2024)

As despesas de produção anuais são portanto estimadas em R\$ R\$ 5.871.984,50 (cinco milhões, oitocentos e oitenta e quatro mil, novecentos e oitenta e quatro reais e cinquenta centavos.). O custo unitário de produção foi calculado em R\$ 32,20 (trinta e dois reais e sessenta e dois centavos) por metro cúbico produzido.

Lucro Operacional

O lucro operacional foi calculado a partir da relação abaixo, levando em consideração as receitas e as despesas de produção anuais da pedreira.

Lucro Operacional = Receitas – Despesas de produção (exceto impostos e depreciações)

Lucro Operacional = R\$ 10.710.000,00 – R\$ 5.871.984,50 = R\$ 4.838.015,50.

Imposto de Renda e Tributação

O imposto de renda no Brasil corresponde a uma alíquota que incide sobre o lucro tributável. Define-se o lucro tributável como o lucro operacional, deduzidas as despesas com:

Depreciação dos bens ativos, representativa da diminuição anual do seu valor devido ao desgaste do uso, a ação da natureza e obsolescência normal; amortização do capital empregado, imposto sobre circulação de mercadorias e serviços – ICMS, PIS/COFINS, CFEM e contribuição social sobre o lucro líquido - CSLL.

No caso em apreço será calculado com base na alíquota de 25% do lucro presumível, de acordo com a legislação vigente. A CFEM foi calculado com uma alíquota de 2% sobre o lucro operacional líquido (-ICMS). O PIS/COFINS foi estimado com uma taxa de 1,65 e 7,60% sobre o lucro operacional líquido após dedução da CFEM (-ICMS e CFEM). A CSLL foi calculado pela alíquota de 9% sobre o lucro operacional deduzidos todos os impostos, taxas e tributações.

| | |
|---|------------------|
| Lucro operacional: | R\$ 4.838.015,50 |
| Despesas com ICMS: | R\$ 1.820.700,00 |
| Despesas com depreciação de equipamentos: | R\$ 1.216.750,00 |

$$\text{CFEM} = (\text{lucro operacional} - \text{ICMS}) \times 2\%$$

$$\text{CFEM} = (4.838.015,50 - 1.820.700,00) \times 2\%$$

$$\text{CFEM} = \text{R\$ } 60.346,31$$

$$\text{PIS/COFINS} = (\text{lucro operacional} - \text{ICMS} - \text{CFEM}) \times 9,25\%$$

$$\text{PIS/COFINS} = (4.838.015,50 - 1.820.700,00 - 60.346,31) \times 9,25\%$$

$$\text{PIS/COFINS} = \text{R\$ } 273.519,65$$

$$\text{CSLL} = (\text{lucro operacional} - \text{ICMS} - \text{CFEM} - \text{PIS/COFINS}) \times 9\%$$

$$\text{CSLL} = (4.838.015,50 - 1.820.700,00 - 60.346,31 - 273.519,65) \times 9\%$$

$$\text{CSLL} = \text{R\$ } 241.510,46$$

Lucro operacional líquido: R\$ 2.441.939,08

Imposto de Renda = (lucro operacional líquido – Depreciação) x 25%

Imposto de Renda = (2.441.939,08 – 1.216.750,00) x 25%

Imposto de Renda = R\$ 306.297,27

Lucro líquido anual após IR: R\$ 2.135.641,81

Capital de Giro

Na avaliação de jazidas minerais, o capital de giro representa um fator de grande importância, devendo ser suficiente para cobrir as parcelas com estoque de minério na mina e em trânsito nos mercados, custo de produção, transporte, embarque e comercialização, almoxarifado, caixa e bancos, contas a pagar relativas ao material comprado a prazo, etc.

Na determinação do capital de giro se observa que ele está ligado ao fator custo direto de produção. Com base em experiência em outras pedreiras, o capital de giro para a pedreira será considerado como equivalente a 1,5 meses de produção em termos de custos diretos e administração. Como custo direto de produção, entendemos as despesas que entram diretamente na operação da jazida, incluindo-se portanto os gastos com ICMS, Imposto de Renda e gastos administrativos.

O custo anual de obtenção de brita na pedreira é igual a R\$ 5.796.884,50; então tem-se:

Capital de giro = (R\$ 5.871.984,50 x 1,5/12) = R\$ 735.000,00

Determinação do Tempo de Retorno do Investimento

Observando-se os valores acumulados dos custos de implantação, com os valores de produção e do faturamento anual tem-se o retorno do investimento em aproximadamente 77 meses.

Tabela 16: Despesas de Implantação

| <i>Despesas de Implantação</i> | <i>Custos (R\$)</i> |
|-----------------------------------|----------------------|
| Despesas de Pesquisas | 50.000,00 |
| Obtenção do Decreto de Lavra | 35.000,00 |
| Preparação da Infra-estrutura | 1.645.000,00 |
| Despesa com Equipamentos de Lavra | 3.310.000,00 |
| Despesa Equipamentos de Britagem | 8.000.000,00 |
| Capital de Giro | 735.000,00 |
| Total do Investimento | 13.775.000,00 |

Fonte: Autor (2024)

Tempo de retorno do investimento = R\$ 13.775.000,00 / R\$ 2.134.841,81 = 6,45 anos

Tabela 17: Tempo de Retorno do Investimento

| <i>Despesas de Produção</i> | | <i>Produção Anual (m³)</i> | <i>Faturamento Anual (R\$)</i> | <i>Lucro Líquido Operacional Anual (R\$)</i> |
|-----------------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------------|--|
| <i>Itens de Despesa</i> | <i>Custos</i> | | | |
| Mão-de-obra | 1.612.800,00 | 180.000 | 10.710.000,00 | |
| Material de Consumo | 928.184,50 | | | |
| Seguros | 184.050,00 | | | |
| ICMS | 1.820.700,00 | | | |
| CFEM | 60.346,31 | | | |
| PIS/COFINS | 273.519,65 | | | |
| CSLL | 241.510,46 | | | |
| Imposto de Renda | 306.297,27 | | | |
| Administração | 267.750,00 | | | |
| Custo de beneficiamento | 2.880.000,00 | | | |
| Custo Total | 8,575,158.19 | | | 2.134.841,81 |

Fonte: Autor (2024)

Índice de lucratividade = Lucro líquido operacional / Faturamento

Índice de lucratividade = R\$ 2.134.841,81 / 10.710.000,00 ≈ 19,93%

11 - CONCLUSÕES SOBRE A VIABILIDADE DA LAVRA

A viabilidade da lavra de material para produção de brita ficou demonstrada ao longo desse capítulo, já que o valor atual das despesas versus o faturamento, nos permite um lucro líquido operacional de 20% do faturamento bruto anual. O tempo de retorno do investimento inicial foi calculado com base na divisão do capital investido pelo lucro líquido operacional e nos deu como resultado o retorno do investimento em um período de 6 anos e 5 meses após a implantação da lavra definitiva na pedreira.

Os resultados do cálculo do fluxo de caixa indicam a viabilidade econômica do empreendimento na pedreira, gerando lucro operacional líquido após imposto de renda de R\$ 2.134.841,81 (dois milhões, cento e trinta e quatro mil, oitocentos e quarenta e um reais e oitenta e um centavos).

Parte das operações de lavra, tais como perfuração e detonação, poderão ser terceirizadas, o que refletirá numa diminuição dos investimentos fixos e pequeno aumento nos custos de produção (referentes a serviço de terceiros).

Convém frisar, que para a produção estimada no presente estudo, a Planta de Britagem operará com uma capacidade média de 50% do seu total, portanto em função da ampliação da demanda, o volume de brita a ser produzido poderá ser facilmente ampliado. Inicialmente em cerca de 100%, caso os equipamentos passem a operar a pleno vapor ou seja com 95% da sua capacidade. Havendo necessidade de maior volume de material, pode-se com um turno adicional de 4 horas ampliar em mais 40% a produção e atender as possíveis ampliações de demanda, sem onerar os custos fixos de produção, o que melhora bastante a capacidade de retorno do empreendimento.

12 - REFERÊNCIAS

SOUZA, J. C. Relatório Final de Pesquisa. *Projeto Britagem da Muribeca – Exclusive Mineradora Unipessoal Ltda.* Recife, 2023.

BARBOSA, O. Geologia Econômica da Parte da Região do Médio São Francisco, Nordeste do Brasil. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM, 1970. 71 p. Ilustrado. 1 mapa colorido em bolso. (Boletim 140).

BRITO NEVES, B. B. de. Regionalização Geotectônica do Pré-Cambriano Nordestino. 1975. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.

ASH, R. L.; SMITH, N. S. Changing Borehole Length to Improve Breakage: A Case History. In: *Proceedings of the Second Conference on Explosives and Blasting Techniques*. Louisville: Society of Explosives Engineers, 1976.

SOUZA, J. C. Método de Lavra a Céu Aberto. Apostila de aula. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

ATHOX Consultoria e Engenharia em Projetos Mecânicos Ltda. Proposta comercial. Jaboatão dos Guararapes, 2023. Documento interno.

ATHOX. Manual técnico dos equipamentos. Disponível em: <https://www.athox.com.br>. Acesso em: 20 ago. 2024.

KÖPPEN, W. *Grundrisse der Klimakunde*. Berlin: Walter de Gruyter, 1923.

VIDALI, J. L. Carregamento e Transporte na Mineração: Dimensionamento de Equipamentos. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

JIMENO, C. L.; JIMENO, E. L.; CARCEDO, F. J. *Drilling and Blasting of Rocks*. Rotterdam: Balkema, 1995.