

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE MINAS E MATERIAIS



MICHAEL JOSÉ BATISTA DOS SANTOS
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE MINAS E MATERIAIS



MICHAEL JOSÉ BATISTA DOS SANTOS
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Amanda Kelly da Costa Veiga
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Michael José Batista dos Santos

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia de minas e materiais / Organizador Michael José Batista dos Santos. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-641-3

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.413211211>

1. Engenharia de minas. 2. Engenharia de materiais. I. Santos, Michael José Batista dos (Organizador). II. Título.

CDD 622

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

A obra “Coleção desafios das engenharias: Engenharia de minas e materiais” versa sobre áreas interdisciplinares inerentes a extração e concentração mineral, além do aproveitamento dos recursos naturais alternativos, de biopolímeros, e avaliação de microestruturas em ligas metálicas.

A coleção reúne trabalhos, estudos de caso, pesquisas e análises desenvolvidas em laboratório, capazes de contribuir com o desenvolvimento científico e tecnológico na mineração, através de metodologias passíveis de implementação de melhorias de processos produtivos nas etapas de lavra e beneficiamento mineral. Da mesma forma, a obra traz compreensão da engenharia de materiais referente ao comportamento de materiais metálicos e o desenvolvimento de novos materiais provenientes de recursos renováveis e ambientalmente amigáveis.

Estes são trabalhos que tem como foco principal oferecer soluções de engenharia pertencentes da indústria mineral e de materiais, as quais são discutidos cientificamente de forma objetiva e eficiente nos capítulos desta coleção.

Em suma, parabênizo os autores dos capítulos não unicamente pelo conhecimento científico compartilhado, como também pela abordagem concisa e didática nesta publicação.

Ademais, desejo que esta seja uma leitura técnica e reflexiva, que sirvam de pilar e provocação pela busca de melhoria contínua de processos e do desenvolvimento científico-tecnológico nas engenharias, e que contribua na construção de novas soluções para os grandes desafios, sobretudo das área de mineração e de materiais.


Michael José Batista dos Santos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SEGURANÇA DA MAIOR PILHA DE ESTÉRIL DO COMPLEXO MINERADOR DE FERRO CARAJÁS


Michael José Batista dos Santos
Glauce Wivyanne Oliveira Costa
Denilson Andrade Torres
Irineu Antônio Schadach de Brum

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4132112111>

CAPÍTULO 2..... 14

AVALIAÇÃO DE RECURSOS MINERAIS EM UM DEPÓSITO MINERAL DE CALCÁRIO CALCÍTICO


Nayara Augustino Amorim
Júlio César de Souza
Jorge Luiz Valença Mariz
Suelen Silva Rocha
Gabriel Filinkoski

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4132112112>

CAPÍTULO 3..... 27

DESIGN OF A SELECTIVE FLOTATION SYSTEM FOR A CU-ZN ORE, ASSOCIATED TO HIGH PYRITE-PYRRHOTITE CONTENTS (>25%)


Prieto-Díaz Ma. de J.
Hernández-Salazar Ma. M.
Corona-Arroyo M.A.
Elorza-Rodríguez E.

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4132112113>

CAPÍTULO 4..... 35

COMPARAÇÃO DA MICROESTRUTURA E MICRODUREZA DE LIGAS DE AL-SI FUNDIDAS SOB GRAVIDADE, ALTA E BAIXA PRESSÃO

Margarete Sabino de Moura
Josiel Bruno de Oliveira
Debora Silva Costa
Roger Hoel Bello
Adalberto Gomes de Miranda
José Costa de Macêdo Neto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4132112114>

CAPÍTULO 5..... 43

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA, QUÍMICA E MORFOLÓGICA DAS FIBRAS DE CIPÓ TITICA (*Heteropsisriedeliana Schott*) E POLIPROPILENO RECICLADO, VISANDO A APLICAÇÃO EM COMPOSITOS POLIMÉRICOS

Talisson Sousa Oliveira
Josiel Bruno de Oliveira

Roger Hoel Bello
Adalberto Gomes de Miranda
José Costa de Macêdo Neto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4132112115>

SOBRE O ORGANIZADOR	55
ÍNDICE REMISSIVO.....	56

AVALIAÇÃO DE RECURSOS MINERAIS EM UM DEPÓSITO MINERAL DE CALCÁRIO CALCÍTICO

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 03/11/2021

Nayara Augustino Amorim

Departamento de Engenharia de Minas –
Universidade Federal de Pernambuco
Recife – PE
<http://lattes.cnpq.br/7959423306035136>

Júlio César de Souza

Dept. de Engenharia de Minas – Universidade
Federal de Pernambuco
Recife - PE
<http://lattes.cnpq.br/4295864256992991>

Jorge Luiz Valença Mariz

Depto. de Engenharia de Minas – Universidade
Federal do Rio Grande do Sul
Recife - PE
<http://lattes.cnpq.br/4225383677086672>

Suelen Silva Rocha

Departamento de Engenharia de Minas –
Universidade Federal de Pernambuco
Recife - PE
<http://lattes.cnpq.br/9112697423226628>

Gabriel Filinkoski

Departamento de Engenharia de Minas –
Universidade Federal de Pernambuco
Recife – PE
<http://lattes.cnpq.br/0114449032235103>

RESUMO: Este trabalho avaliou uma ocorrência mineral de calcário calcítico situada na Fazenda Barrinha a qual localiza-se na cidade de Formosa

da Serra Negra – MA, por meio de modelagem geológica em ambiente computacional. A modelagem do depósito e estimativa dos recursos minerais medidos foram realizadas com base em dados topográficos e informações obtidas com a recuperação dos testemunhos de sondagem utilizando a ferramenta Studio 3, da Datamine. Como resultado, verificou-se a existência de uma delgada camada de material de recobrimento no maciço constituída por solo areno-argiloso e calcário alterado, e um volume de calcário calcítico consideravelmente grande foi estimado. O recurso medido de calcário calcítico e do material do capeamento obtidos mediante a modelagem foi de aproximadamente 3,76 milhões m³ e 510 mil m³, respectivamente, o que possibilita uma vida útil de aproximadamente 10 anos ao empreendimento.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem Geológica, Calcário, Planejamento de Lavra, Avaliação de Reservas.

EVALUATION OF MINERAL RESOURCES IN A CALCITIC LIMESTONE DEPOSIT

ABSTRACT: This paper evaluated a mineral occurrence of calcitic limestone in Fazenda Barrinha located in Formosa da Serra Negra - MA, through geological modeling in a computational environment. The modeling of the deposit and measured mineral resources estimation were carried out based on the topographic database and the drillholes surveys using the Datamine tool, Studio 3. As a result, it was verified the existence of a thin layer of coating material, constituted of a sand-argillaceous soil and altered limestone and a large volume of calcitic limestone. The

measured resource of calcitic limestone and coating material obtained through the modeling was approximately 3,76 million m³ and 510 thousand m³, respectively, which allows a useful life of approximately 10 years to the mine.

KEYWORDS: Geological Modeling, Limestone, Mine Scheduling, Reserve Evaluate.

1 | INTRODUÇÃO

A mineração tem papel fundamental no desenvolvimento da humanidade desde os tempos pré-históricos, onde os minerais eram utilizados nas mais diversas atividades. À medida que novas tecnologias foram sendo assimiladas, também foram desenvolvidas novas metodologias de exploração dos recursos minerais, chegando-se ao atual cenário em que se tem a informatização de processos que antes requeriam maior tempo e menor confiabilidade. Ainda assim, um desafio global nos próximos anos será o aproveitamento ambientalmente amigável e atrativo financeiramente dos recursos minerais para atender à demanda crescente da sociedade cada vez mais consumista, sendo um dos setores de maior demanda o de agregados para construção civil. Atualmente, a mineração a céu aberto contribui significativamente na produção de bens minerais (SHISHVAN e SATTARVAND, 2015).

A quantificação e qualificação das reservas minerais são aspectos fundamentais para determinar a viabilidade técnica e econômica de um projeto de mineração. Yamamoto (2001) afirma que o processo de avaliação de um depósito é iniciado com a sua amostragem e tem por objetivo caracterizar a reserva mineral, determinando tipo e extensão da mineralização, a geometria do corpo mineralizado e os seus teores. Os métodos para avaliação de recursos e reservas minerais foram constantemente melhorados para produzir resultados mais precisos e confiáveis. Este aperfeiçoamento foi resultado da crescente escassez de depósitos minerais com alto teor, do grande investimento necessário à abertura de novas minas, e também da evolução de métodos computacionais, que permitiram o fácil manuseio de grande volume de dados de maneira confiável.

Segundo Guerra (1988), os métodos para avaliação de recursos e reservas minerais podem ser classificados em três grandes grupos: métodos convencionais, métodos estatísticos e métodos geoestatísticos. Os métodos computacionais utilizam as funções matemáticas de interpolação, as quais são aplicadas para o cálculo das variáveis de interesse nos blocos de cubagem. As diferenças dos métodos convencionais para os computacionais residem na geometria, na dimensão dos blocos de cubagem e na forma de cálculo dos teores (CURI et al., 2013).

Os métodos computacionais possibilitam a estimativa dos recursos geológicos com maior controle do erro associado, permitindo a definição dos limites da lavra através da modelagem tridimensional geométrica dos depósitos, que consiste em uma representação matemática altamente precisa de dados ou pontos dispostos em três dimensões (CURI,

2014). A utilização de ferramentas computacionais, como os softwares desenvolvidos para a área de planejamento de mina, permite a visualização do corpo mineralizado tridimensionalmente, o que facilita a futura alocação da infraestrutura, dimensionamento dos acessos e aberturas, projeto da cava final, definição dos volumes de minério e estéril no capeamento, a relação estéril/minério e o limite da extração. Tais parâmetros são empregados na determinação da viabilidade técnico-econômica de exploração da jazida (ROCHA et al., 2018).

O setor de agregados para construção civil, que inclui os produtos do calcário, apesar de ter grande expressão no desenvolvimento urbano por oferecer os insumos mais utilizados em diversos setores industriais, apresenta dificuldades com relação à fase inicial de avaliação de recursos e reservas disponíveis por questões como o alto custo para realização de levantamentos topográficos e realização de campanhas de sondagem, o que dificulta a etapa posterior de planejamento da programação da produção que poderiam tornar seus processos mais eficientes, devido ao alto custo de desenvolvimento (CARMO, 2013).

Neste âmbito, o presente estudo teve por objetivo estimar os volumes de minério e estéril, a relação estéril/minério, a cava final e a vida útil de um empreendimento através da modelagem geológica em ambiente computacional de uma ocorrência de calcário situada na Fazenda Barrinha, localizada no município de Formosa da Serra Negra, estado do Maranhão.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Localização e Contexto geológico

O depósito de calcário calcítico localiza-se na Fazenda Barrinha, no município de Formosa da Serra Negra - MA, conforme ilustra a figura 1, o qual encontra-se a 642 km ao sul da cidade de São Luís. O acesso à cidade de Formosa da Serra Negra, partindo de São Luís, se dá através da BR-135 até a cidade de Presidente Dutra, tomando-se em seguida a BR-226, passando pelo município de Barra do Corda, saindo para a rodovia estadual MA-006 percorrendo uma distância de 86,2 km até a cidade de Formosa da Serra Negra. A partir de então, toma-se a estrada vicinal rumo ao povoado da Varjota por cerca de 48,8 km e seguindo por cerca de 1,32 km se encontra a fazenda Barrinha.

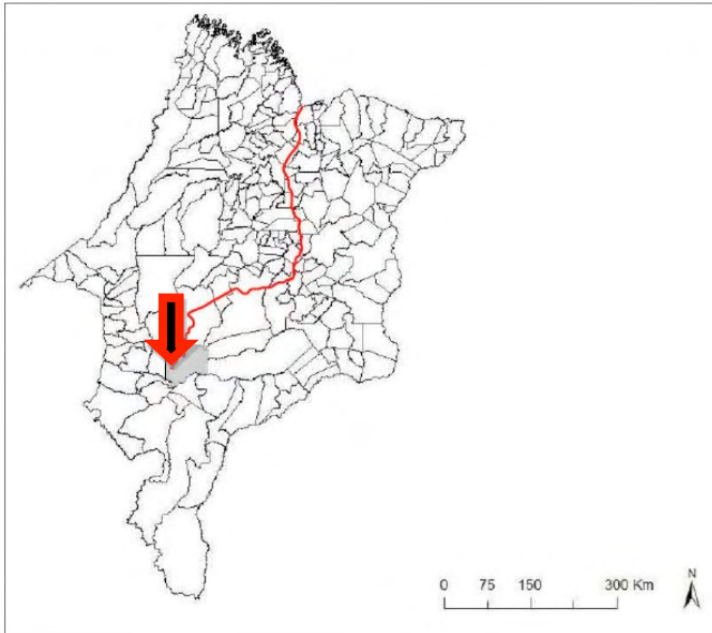


Figura 1 – Mapa de localização e acesso ao município de Formosa da Serra Negra

Fonte: IBGE (2011)

A história da construção e evolução geológica dessa região é demarcada por quatro conjuntos de episódios: episódios do Arqueano, episódios do Paleozoico, episódios do Mesozoico e episódios do Cenozoico (figura 2), sendo este último o mais importante para a compreensão da área estudada, visto que o mesmo é marcado por processos de sedimentação continental fluvial e transacional ocorridos em toda região costeira, em decorrência dos recuos e avanços do mar, originando bolsões e/ou camadas de calcário que bem documentam os eventos transgressivos ocorridos ao longo do Oligoceno – Piloceno.

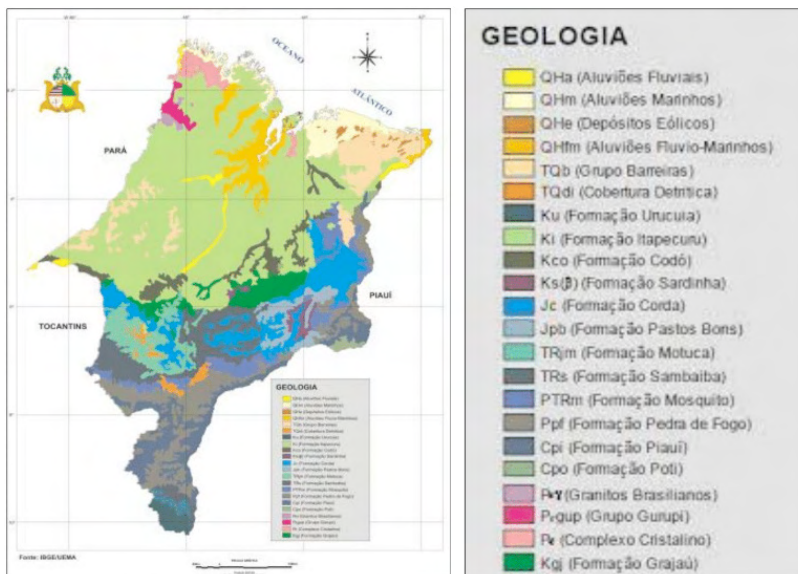


Figura 2 – Mapa geológico do estado do Maranhão

Fonte: CPRM (2011)

A região que circunda a área onde localiza-se o depósito de calcário presente na Fazenda Barrinha é composta por um perfil estratigráfico sequenciado, da base para o topo, pelas Formações Sambaíba, Mosquito, Corda, Grajaú, Codó e por Coberturas Quaternárias, como pode ser visto nas figuras 3 e 4.



Figura 3 – Contato do Basalto da Formação Mosquito com arenito da Formação Sambaíba, Lavra do CESTE (Consórcio Estreito de Energia) - Estreito / MA

Fonte: AMORIM (2018)



Figura 4 – Arenito da Formação Sambaíba (Poço Azul – Riachão/MA)

Fonte: AMORIM (2018)

2.2 Modelagem geológica e determinação de recursos minerais

O planejamento das sondagens foi realizado considerando-se o polígono delimitador da área requerido para licenciamento mineral junto à Agência Nacional de Mineração (ANM), bem como as áreas que possuem restrição ou exigem autorização prévia aos trabalhos de exploração mineral. As sondagens da área estudada foram executadas através do método de perfuração rotativa com equipamento Sonda MACH 920 com motor Agrale M-93 com tripé (figura 5), realizando-se a recuperação de testemunhos para posterior análise mineralógica e química. Além dos furos de sonda, foram escavados trincheiras e poços para análise geomorfológica da área, verificação do condicionamento topogeológico e para conhecimento do perfil estratigráfico em diferentes pontos do depósito mineral.



Figura 5 – Equipamento utilizado para execução das sondagens

Fonte: LOCASONDA (2014)

Foram realizados 17 furos de sonda com profundidade média de 17,5 m segundo uma malha retangular (225 m x 93 m) com furos nas interseções e furos extremos. As trincheiras e poços foram escavados em malha livre com profundidade variável (até 3 m) e seção retangular de 1 m e 1 m x 2 m, respectivamente, com o intuito de verificar as características e espessura da camada de cobertura do minério ao longo do depósito mineral.

A simulação computacional foi realizada através da compilação dos dados topográficos obtidos na base de dados do Google Earth e dos dados coletados durante as campanhas de sondagem, combinando-se os softwares Surfer versão 9.0, AutoCAD versão estudante 2016 e Studio 3D da Datamine.

Para a construção da topografia do terreno foi necessária a criação de curvas de nível que representassem a superfície, as quais foram obtidas utilizando as cotas fornecidas pelo Google Earth e processadas no software Surfer, sendo em seguida georreferenciadas no software AutoCad. O Modelo Digital de Terreno ou DTM (Digital Model Terrain) foi obtido no Datamine Studio 3D, a partir da interpolação por triângulos (wireframe) de forma semiautomática.

A partir das informações obtidas na campanha de sondagens, foi realizada a modelagem do depósito de calcário. Para construção do modelo tridimensional do depósito utilizou-se o Método das Seções Verticais, onde foram desenhadas seções a partir dos furos de sondagem, as quais foram posteriormente unidas em uma única *wireframe*, compondo assim um sólido que representasse o calcário contido no depósito.

Neste contexto, o volume de recurso geológico medido de calcário foi obtido

mediante a avaliação do modelo geológico tridimensional obtido com a simulação computacional, possibilitando desta forma a modelagem espacial do corpo de minério através da visualização das camadas estratigráficas litológicas que compõem o depósito.

2.3 Modelagem geométrica da cava

O modelo da cava final foi elaborado no software Studio 3 da Datamine a partir do modelo geológico e do terreno. A modelagem da cava iniciou-se pelo projeto da bancada de estéril, a qual tem início no limite superior do minério.

Baseadas na espessura média da camada, foram projetadas três bancadas com altura média de 10 m cada para a porção de minério lavrada com inclinação de 80° e bermas com 3 m de largura.

Os aspectos geométricos da cava como altura de bancada, inclinação da face dos taludes, área da praça operacional, acessos (largura e inclinação), largura de bermas etc., foram determinados de acordo com os equipamentos disponíveis na empresa GRC Britagem Ltda., a qual será responsável pela extração mineral.

O cálculo da relação estéril-minério (REM), um dos parâmetros utilizados para verificar a profundidade máxima da cava, e a vida útil da mina foram realizados utilizando-se as equações 1 e 2, respectivamente.

$$REM(t/m^3) = \frac{\text{Volume de estéril}}{\text{Tonelagem de minério}} \quad (1)$$

$$\text{Vida útil} = \frac{R_m \times F_t}{P_m} \quad (2)$$

onde, R_l representa a reserva lavrável, F_t a recuperação na lavra e P_m a produção média.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Modelagem geológica

A figura 6 apresenta o mapa de planejamento para execução dos furos de sondagens, no qual a distribuição dos furos de sondagem é representada pelos pontos em vermelho. A região estudada estava compreendida em uma área retangular de 900 x 555 m (499.500 m²). Devido à presença de Áreas de Preservação Permanente (APP), cursos d'água e regiões com alta densidade arbórea na região (limite superior da área delimitada), destacadas na figura 6 (em azul), até o presente momento a execução de sondagens para pesquisa nestas localidades foi inviável.



Figura 6 - Mapa do planejamento de furos de sonda

Fonte: AMORIM (2018)

A partir das sondagens (furos de sonda, trincheiras e poços) (figura 7), observou-se que o material de recobrimento (capeamento) é composto por um solo areno-argiloso e uma camada de calcário intemperizado. Verificou-se, ainda, que a espessura do capeamento correspondente ao solo não superou 1 m, estando as camadas inferiores do material escavado pelas trincheiras e poços compreendidos na zona de alteração do calcário. Mediante a modelagem subsequente às sondagens, verificou-se que a espessura média medida da camada de calcário foi de 20 m. A figura 8 ilustra as curvas de nível e o Modelo Digital do Terreno processado no software Surfer, a partir dos pontos obtidos no Google Earth.



Figura 7 - Furo de sonda realizados em afloramento do minério, trincheira e poço escavados para descrição do material de recobrimento, respectivamente

Fonte: AMORIM (2018)

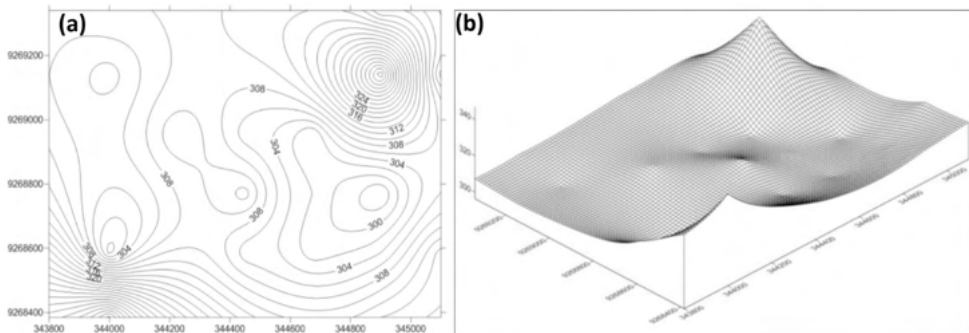


Figura 8 – (a) Curvas de nível e (b) modelo digital do terreno da área estudada

Fonte: AMORIM (2018)

A figura 9 ilustra o modelo tridimensional do material de recobrimento (vermelho) e do calcário (verde) após a interpolação das seções verticais por triângulos, as quais foram elaboradas a partir dos furos de sonda. A figura 10 apresenta o modelo tridimensional da reserva e o modelo digital do terreno com exagero vertical de 5 vezes, para melhor visualização das camadas.

A espessura média do capeamento corresponde à aproximadamente 0,5 m, enquanto a espessura média medida da camada de calcário corresponde à 25 m. Os recursos geológicos medidos do material de recobrimento e do calcário, calculadas pelos volumes contidos no interior das wireframes geradas pelo Studio 3D, foram 510.282,40 m³ e 3.762.767,20 m³ (ou 8.654.364,56 t), respectivamente. As massas específicas in situ do solo e calcário verificadas foram aproximadamente 1,8 g/cm³ e 2,3 g/cm³, respectivamente. Dessa forma, a REM global do depósito foi estimada em aproximadamente 0,06 m³/t.

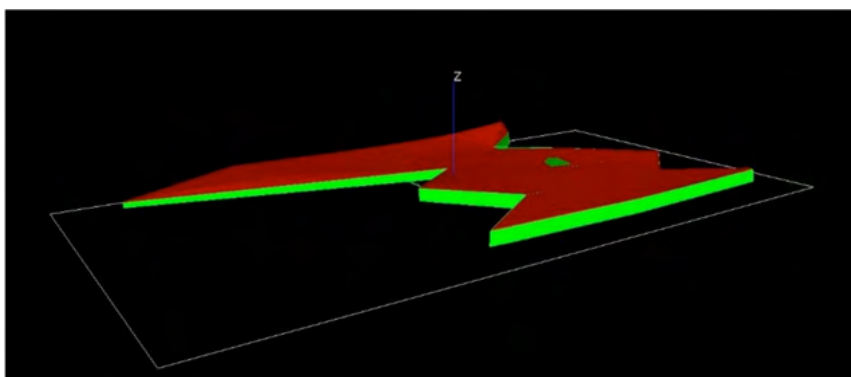


Figura 9 - Modelo tridimensional do capeamento (vermelho) e do calcário (verde)

Fonte: Adaptado de AMORIM (2018)

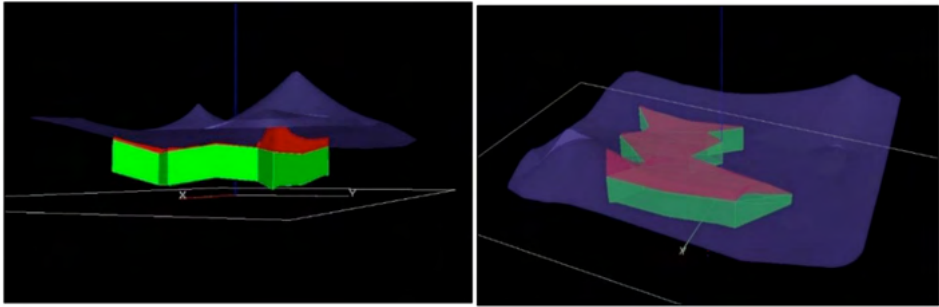


Figura 10 - Modelo geológico e modelo digital do terreno da área estudada com exagero vertical de 5 vezes (capeamento estéril em vermelho e minério em verde)

Fonte: Adaptado de AMORIM (2018)

3.2 Modelagem geométrica da cava

A figura 11 ilustra o modelo tridimensional da cava projetada a partir do modelo geológico, após a exclusão do material de recobrimento e calcário contidos em seu interior, com um exagero na vertical de 5 vezes. A reserva medida de material de recobrimento e reserva lavrável, calculadas pelos volumes contidos no interior da cava, foram 494.642,00 m³ e 2.670.667,50 m³ (ou 6.142.535,25 t), respectivamente.

A REM prevista para a exploração do calcário presente no depósito da fazenda Barrinha foi determinada pela reserva medida de calcário e corresponde a aproximadamente 0,08 m³/t.

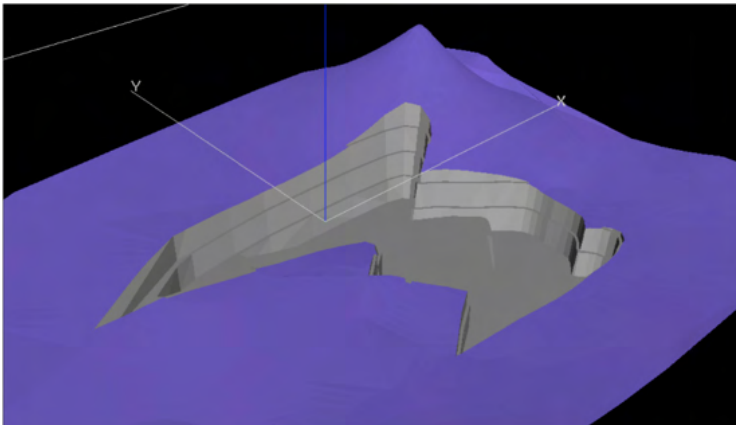


Figura 11 - Modelo tridimensional da cava projetada com exagero vertical de 5 vezes

Fonte: Adaptado de AMORIM (2018)

O cálculo para a definição da vida útil da mina foi baseado na produção de minério prevista e no valor da reserva de calcário obtida na modelagem geométrica da cava. Foi

considerada uma produção mensal de 19.565 m³ de minério, o que corresponde a de 234.780 m³/ano de minério. Do volume total cubado no recurso geológico da área estudada considerou-se apenas cerca de 90% do mesmo presente em áreas ideais para as atividades de lavra. Conforme a eq. (2), a vida útil do depósito em questão é dada por:

$$Vida\ útil = \frac{2.670.667,50 \times 0,90}{234.780} \approx 10\ anos$$

4 | CONCLUSÃO

O presente trabalho evidenciou a viabilidade técnica de uma reserva de calcário calcítico localizada no município de Formosa da Serra Negra, no estado do Maranhão, destinado à produção de calcário agrícola e material para agregados do setor de construção civil.

Através do levantamento topográfico e dados obtidos nas campanhas de sondagens foi possível determinar a reserva medida do depósito mineral e a sua vida útil. A reserva calculada para o depósito de calcário avaliado foi estimada em 2.670.667,50 m³, o que corresponde a 6.142.535,25 t. Como o volume estimado de material areno-argiloso da cobertura é de 494.642,00 m³, a REM da exploração é de 0,08 m³/t. Considerando uma produção desejada de 19.565 m³/mês, que correspondem a 234.780 m³/ano, foi estimada a vida útil da mina em aproximadamente 10 anos.

Neste estudo foram levados em consideração apenas os equipamentos disponíveis e parâmetros geométricos para a definição da cava final. Contudo, para uma otimização desta, seria necessário a consideração de outros critérios, dentre eles destacam-se critérios econômicos atualizados para uma remodelagem da cava e determinação da viabilidade econômica do empreendimento mineral.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA IBGE NOTÍCIAS. **Mapas do Maranhão revelam pressão da nova fronteira agrícola sobre o cerrado e o potencial hídrico subterrâneo do estado**. 2011. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2013-agenciade-noticias/releases/14155-asi-mapas-do-maranhao-revelam-pressao-da-novafrenteira-agricola-sobre-o-cerrado-e-o-potencial-hidrico-subterraneo-doestado.html>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

AMORIM, N. A. **Projeto de Viabilidade Econômica da Jazida de Calcário Calcítico da Mina Barrinha em Formosa da Serra Negra – MA**. Projeto de Graduação – Universidade Federal de Pernambuco – CTG. Engenharia de Minas, 2018.

CPRM. **Relatório diagnóstico do município de Formosa da Serra Negra**. 2011.

CURI, A., PEREIRA, M. A., SOUSA, W. T., SILVA, V.C. Final open pit design for Monte Raso phosphate mine. **International Journal of Modern Engineering Research**, vol. 3, pp 3780-3785, 2013

CURI, A. **Minas a Céu Aberto** – planejamento de lavra. São Paulo: Oficina de textos, 2014.

CURI, A. **Lavra de Minas**. São Paulo: Oficina de textos, 2017.

GUERRA, P. A. G. **Geoestatística operacional**. Brasília: DNPM, 1988.

LOCASONDA (Locação de Máquinas e Equipamentos de Sondagem). **Mach 920**. 2014. Disponível em: <<http://locasonda.com.br/plus/modulos/catalogo/verProduto.php?cdcatalogoproduto>>. Acesso em: 18 jul. 2018.

ROCHA, S. S., SOUZA, J. C, CARMO, O. M., RODRIGUES, H. C., Estudo comparativo de ferramentas computacionais para modelagem geométrica e cubagem de maciços rochosos. **Holos**, ano 34, v. 02, n. 1, pp. 1-18, 2018.

SHISHVAN, M. S.; SATTARVAND, J. Long term production planning of open pit mines by ant colony optimization. **European Journal of Operational Research**, v. 211, p. 184-197, 2015.

YAMAMOTO, J. K. **Avaliação e Classificação de Reservas Minerais**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Análise microestrutural 38

Avaliação de estabilidade 1

B

Biopolímeros 53

C

Carajás 1, 2, 7, 12, 13

Cipó titica 43, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52

E

Engenharia de Materiais 35, 42, 43, 53

Engenharia de Minas 14, 25, 55

Engenharia geotécnica 1

Engenharia Química 54

F

Fator de segurança 2, 3, 4, 5, 10, 11

Fibras Lignocelulósicas 43, 44, 51, 52

Fibras sintéticas 43

Fundição 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42

G

Geologia de engenharia 12

Geotecnia 55

H

Heteropsisriedeliana Schott 43, 46, 50

L

Lavra 2, 10, 14, 15, 18, 21, 25, 26, 55

Lignina 43, 47, 50, 51, 52

M

Magnetic susceptibility 27, 33

Materiais 4, 16, 35, 36, 38, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 53

Meio ambiente 12, 43, 44
Metalurgia extrativa 55
Mineração 1, 3, 11, 12, 15, 19, 55

N

NBR 13029 12
NBR 30284 35, 36

P

Pilha de disposição de estéril 1, 2, 3, 6, 7
Polímeros Verdes 53
Poropressão 5, 9, 10, 11
Prevenção da corrosão 42
Propriedades mecânicas 35, 37, 42, 45, 51
Pyrite-Pyrrhotite 27, 29, 31

R

Reaproveitamento de resíduos 45
Recursos naturais alternativos 45

S

Selective flotation 27, 33

T

Teoria do equilíbrio limite 4
Tratamento térmico de precipitação 36, 38

W

Waste dumps 12

COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE MINAS E MATERIAIS

- 
-  www.atenaeditora.com.br
 -  contato@atenaeditora.com.br
 -  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 -  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE MINAS E MATERIAIS

- 
-  www.atenaeditora.com.br
 -  contato@atenaeditora.com.br
 -  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 -  www.facebook.com/atenaeditora.com.br