

Atena  
Editora

Ano 2021



*Carlos Augusto Zilli  
(Organizador)*

*A visão sistêmica e integrada  
das **engenharias**  
e sua **integração com a sociedade***

---

**Atena**  
Editora

Ano 2021

*Carlos Augusto Zilli*  
*(Organizador)*

***A visão sistêmica e integrada  
das engenharias  
e sua integração com a sociedade***

---

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes editoriais**

Natalia Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os autores

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 Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso  
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federac do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

### **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

#### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

A visão sistêmica e integrada das engenharias e sua integração com a  
sociedade

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Flávia Roberta Barão  
**Indexação:** Gabriel Motomu Teshima  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Carlos Augusto Zilli.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

V822 A visão sistêmica e integrada das engenharias e sua  
integração com a sociedade / Organizador Carlos  
Augusto Zilli. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-404-4

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.044212508>

1. Engenharia. I. Zilli, Carlos Augusto (Organizador). II.  
Título.

CDD 620

**Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166**

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

[contato@atenaeditora.com.br](mailto: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

Esta obra, intitulada “A Visão Sistêmica e Integrada das Engenharias e sua Integração com a Sociedade”, em seu primeiro volume, apresenta 22 capítulos que abordam pesquisas relevantes que fazem emergir esta visão completa e abrangente típica das engenharias, revelando de que forma ela pode se integrar à sociedade para solucionar os desafios que surgem mundo afora, trazendo pesquisas relacionados à COVID, controle de segurança, saneamento básico, sismologia, interações socioespaciais, purificação de biogás, análise de vigas compósitas, pressão em estruturas, entre outros.

Desta forma, esta obra se mostra potencialmente disponível para contribuir com discussões e análises aprofundadas acerca de assuntos atuais e relevantes, servindo como base referencial para futuras investigações relacionadas às engenharias em suas mais diversas instâncias.

Deixo, aos autores dos capítulos, um agradecimento especial, e aos futuros leitores, anseio que esta obra sirva como fonte inspiradora e reflexiva.

Esta obra é indicada para os mais diversos leitores, tendo em vista que foi produzida por meio de linguagem fluída e abordagem prática, o que favorece a compreensão dos conceitos apresentados pelos mais diversos públicos, sendo indicada, em especial, aos amantes da área de engenharia.

Carlos Augusto Zilli

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

COVID-19 (SARS-COV-2): ESTUDO PROSPECTIVO SOBRE TESTES DE DETECÇÃO DO CORONAVÍRUS EM HUMANOS

Paulo Cesar dos Santos Teixeira

Fábio dos Santos Teixeira

Carlos Alberto Machado da Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125081>

### **CAPÍTULO 2..... 11**

DIFERENTES SUBSTRATOS E ADUBAÇÕES NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Eucalyptus urophylla* S.T. BLAKE

Carolina Rafaela Barroco Soares


Alaide de Oliveira Carvalho

Deborah Regina Alexandre

Jairo Rafael Machado Dias

Laysa Teles Vollbrecht

Micheli Leite Zanchetta

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125082>

### **CAPÍTULO 3..... 18**

ESTUDO DA PRESSÃO EFETIVA EM COBERTURAS COM PLATIBANDA CONFORME A NBR 6123 – FORÇAS DEVIDAS AO VENTO EM EDIFICAÇÕES

Gean Henrique Sabino Freitas

Luiz Henrique Moreira de Carvalho

Nélison Ferreira Corrêa

Wilson Espindola Passos


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125083>

### **CAPÍTULO 4..... 31**

METODOLOGIA PARA ENSINO DA CONCORRÊNCIA ENTRE PROCESSOS COM EMPREGO DE SEMÁFOROS EM SISTEMAS OPERACIONAIS PREEMPTIVOS

Marco Aurélio de Souza Birchal


Viviane Santos Birchal

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125084>

### **CAPÍTULO 5..... 41**

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO: INSTRUMENTO DE PLANEJAMENTO PARTICIPATIVO, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL

Luiz Roberto Santos Moraes


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125085>

### **CAPÍTULO 6..... 58**

APLICAÇÃO COMPUTACIONAL PARA O PLANEJAMENTO DE FLUXO DE POTÊNCIA

## REATIVA


Poliiana Schneider Durigon  
Carlos Roberto Mendonça da Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125086>

## **CAPÍTULO 7..... 69**

### ANÁLISE DA ACELERAÇÃO LATERAL DE UM VEÍCULO EM UM SIMULADOR COM 9 GDL


Elyton Elias Prado Naves  
Jánes Landre Júnior  
José Tomich Bosco Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125087>

## **CAPÍTULO 8..... 79**

### ADEQUAÇÃO DE TRELIÇA EM AÇO FRENTE A UMA NOVA FINALIDADE


Gustavo de Oliveira Dumas  
José Geraldo de Araújo Silva  
Lucas Teixeira Araújo  
Antônio Maria Claret de Gouveia  
Hisashi Inoue  
André Luiz Candian

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125088>

## **CAPÍTULO 9..... 86**

### PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS NA REGIÃO DO MACIÇO DE BATURITÉ, CEARÁ, BRASIL


Juan Carlos Alvarado Alcócer  
Olienaide Ribeiro de Oliveira Pinto  
Ciro de Miranda Pinto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125089>

## **CAPÍTULO 10..... 100**

### ANÁLISE DE VIGAS COMPÓSITAS LAMINADAS DE TIMOSHENKO ATRAVÉS DO MÉTODO DE GREEN


Leonardo Fellipe Prado Leite  
Fabio Carlos da Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250810>

## **CAPÍTULO 11 ..... 114**

### ESTRATÉGIAS INOVADORAS PARA PESQUISAS DE EVAPORAÇÃO DE ÁGUA EM RESERVATÓRIOS SUPERFICIAIS NO NORDESTE BRASILEIRO

Bárbara Hillary de Almeida Pinto  
Cecília Roberta Barbosa da Silva  
Maria Eduarda Medeiros Monteiro  
Heloysa Helena Nunes de Oliveira  
Efrain Pantaleón Matamoros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250811>

**CAPÍTULO 12..... 124**

**AMBIÊNCIA E ENTORNO: INTERAÇÕES SOCIOESPACIAIS ENTRE IDOSOS MORADORES DE UM CONDOMÍNIO E A VIZINHANÇA**


Luzia Cristina Antoniossi Monteiro

Vania Aparecida Gurian Varoto

Lucas Bueno de Campos

Ingrid Bernardinelli

Gabriely Grezele

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250812>


**CAPÍTULO 13..... 136**

**METODOLOGIA DE COMPOSIÇÃO DE CUSTO PARA ENCARGOS COMPLEMENTARES: EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL**

Guilherme Martins Pereira

Regina Maria Germânio

Tiago Silveira Gontijo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250813>


**CAPÍTULO 14..... 155**

**AVALIAÇÃO DE RISCOS E CONTROLE DE SEGURANÇA EM PEDREIRA**

Michael José Batista dos Santos

Suzi Cardoso de Carvalho

Irineu Antônio Schadach de Brum

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250814>

**CAPÍTULO 15..... 174**

**POTENCIAL INOVADOR DAS PESQUISAS DE SISMOLOGIA: ESTUDO DA APLICAÇÃO DA INTERFEROMETRIA SÍSMICA PARA IMAGEAMENTO 4D**


Julia Alanne Silvino dos Santos

Marcelo dos Santos Vieira

Lenise Souza Cardoso de Andrade

Heloysa Helena Nunes de Oliveira

Zulmara Virgínia de Carvalho


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250815>

**CAPÍTULO 16..... 184**

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DO FOSFATO DE CÁLCIO MONETITA PELA ROTA ÚMIDA DE NEUTRALIZAÇÃO RATHJE – HAYEK E NEWSELY**

Nataly Cristiane de Campos Amador Garcias

Carlos Pérez Bergmann

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250816>

**CAPÍTULO 17..... 196**

**ESTUDOS DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO MONOFÁSICAS**

Emiliane Advincula Malheiros

Roberto Paulo Barbosa Ramos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250817>

**CAPÍTULO 18.....203**

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE CALCINAÇÃO NA FASE DA HIDROXIAPATITA  
OBTIDA PELO MÉTODO SOL-GEL**


Marilza Aguiar

José Brant de Campos

Bruno Cavalcante Di Lello

Nataly Cristiane de Campos Amador Garcias

Vitor Ramos


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250818>

**CAPÍTULO 19.....209**

**REDISTRIBUIÇÃO DA VAZÃO AR EM MINA SUBTERRÂNEA PARA AUMENTO DE  
HORAS DISPONÍVEIS EM OPERAÇÃO DE LAVRA**

Alisson Brasil

Renan Collantes Candia


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250819>

**CAPÍTULO 20.....225**

**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS LIMITES DA CAVA FINAL ÓTIMA COM BASE NA  
VARIAÇÃO DO PREÇO DE MERCADO DA ROCHA FOSFÁTICA**

João Antônio da Silva Neto

Marcélio Prado Fontes


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250820>

**CAPÍTULO 21.....238**

**USO DA TECNOLOGIA DE MANUFATURA ADITIVA NA INDÚSTRIA AEROESPACIAL:  
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA**

Allisson Régis dos Santos Maia

Maria Elizete Kunkel

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250821>

**CAPÍTULO 22.....253**

**A IMPORTÂNCIA DOS INDICADORES NA MANUTENÇÃO**

Alexandre Fernandes Santos

Heraldo José Lopes de Souza

Marcia Cristina de Oliveira

Sariah Torno


Darlo Torno

Sandro Adriano Zandoná

Tiago Rodrigues Carvalho

Natalia Tinti Ramos

Eliandro Barbosa de Aguiar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250822>

<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>260</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>261</b>

## ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS LIMITES DA CAVA FINAL ÓTIMA COM BASE NA VARIAÇÃO DO PREÇO DE MERCADO DA ROCHA FOSFÁTICA

Data de aceite: 02/08/2021

Data de submissão: 04/06/2021

**João Antônio da Silva Neto**

Centro Federal de Educação Tecnológica de  
Minas Gerais – CEFET-MG  
Araxá - Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/8651981357878198>

**Marcélio Prado Fontes**

Centro Federal de Educação Tecnológica de  
Minas Gerais – CEFET-MG  
Araxá - Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/7780607681746333>

**RESUMO:** A determinação dos limites da cava final ótima é um dos grandes desafios do planejamento de lavra. Diversos fatores podem influenciar significativamente estes limites, sendo o preço do bem mineral o mais importante deles. Este estudo teve por objetivo realizar uma análise de sensibilidade dos limites da cava final ótima com base na variação do preço da rocha fosfática. Um *range* de variação de 50% foi escolhido e dois cenários foram avaliados: um considerando restrições físicas de área e fundo de cava e outro sem quaisquer limitações. Os resultados mostraram que aumentos no preço provocaram aumentos na quantidade de minério e no valor presente líquido (VPL) da cava. Análises como esta permitem a criação de planos de lavra mais flexíveis e capazes de se adaptar a cenários futuros de flutuações no preço.

**PALAVRAS-CHAVE:** Planejamento de lavra.

Cava final. Análise de sensibilidade. Preço da rocha fosfática.

### SENSITIVITY ANALYSIS OF THE OPTIMAL FINAL PIT LIMITS BASED ON THE VARIATION OF PHOSPHATE ROCK PRICE

**ABSTRACT:** Finding the optimal final pit limits is one of the great challenges of the open pit mine planning process. A myriad of factors may significantly influence these limits, with commodity price being the most relevant of them. This paper aimed to perform a sensitivity analysis of the optimal final pit limits based on phosphate rock price variation. A range of 50% was chosen and two distinct scenarios were evaluated: one with physical constraints regarding area and the bottom of the pit, and another without any restrictions whatsoever. The results showed that increases in price resulted in a higher volume of ore moved and yielded a higher net present value (NPV). Analysis such as the one performed in this paper allow for the creation of more flexible mining plans, able to adapt to future scenarios of price fluctuations.

**KEYWORDS:** Open pit mine planning. Final pit. Sensitivity analysis. Phosphate rock price.

## 1 | INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade fundamental para o progresso da sociedade moderna, fornecendo matérias-primas para diversos setores da indústria e contribuindo com a geração de riquezas e desenvolvimento socioeconômico



de diversas regiões, no Brasil e no mundo. Empreendimentos de mineração, todavia, são complexos e demandam constante avaliação de risco. Isto se dá uma vez que o valor do projeto é diretamente influenciado por inúmeras incertezas econômicas, geológicas e físicas, tais como o preço da *commodity*, custos, taxa de produção, teor, dureza e restrições ambientais (SAMIS, 2001; DESSUREAULT; KAZAKIDIS; MAYER, 2007; DEHGhani; ATAEE-POUR, 2013).

Sendo assim, o sucesso de um empreendimento de mineração está diretamente atrelado à execução de um planejamento adequado, que maximiza o retorno financeiro através da extração do minério, reduzindo-se os custos e garantindo a lucratividade do empreendimento durante sua vida útil. Um dos desafios do planejamento de uma mina a céu aberto, conforme comentam Caccetta e Hill (2003), é a definição dos limites da cava final ótima. Estes contornos definem a geometria correspondente ao volume de minério e estéril que, ao serem extraídos, maximizam o lucro do empreendimento mineral.

Para que se possa obter os contornos da cava final ótima, no entanto, é preciso que o depósito mineral esteja discretizado em um modelo de blocos tridimensionais. De acordo com Candido (2012), este modelo é a base para a utilização de ferramentas computacionais para cálculos de estimativa de reservas, planejamento e sequenciamento de lavra. Cada bloco do modelo detém parâmetros técnicos do depósito como teor, densidade e litologia, obtidos a partir de dados de sondagem, e estendidos aos demais blocos do modelo por métodos de estimativa, tais como a krigagem ordinária.

A partir destas informações geológicas e litológicas, torna-se possível calcular o valor econômico de cada bloco. Este valor representa o benefício, ou o lucro, que se espera obter com a extração e beneficiamento do conteúdo mineral presente nos blocos. Com os valores de cada bloco conhecidos, obtém-se o modelo econômico do depósito. A partir deste modelo, diversos algoritmos de otimização podem ser utilizados para a obtenção dos limites da cava final ótima, sendo a metodologia desenvolvida por Lerchs e Grossmann (LERCHS; GROSSMANN, 1965) uma das mais comumente empregadas atualmente.

Desta forma, de posse do modelo econômico, pode-se aplicar um algoritmo de otimização repetidas vezes, variando-se o preço da *commodity*, obtendo-se, assim, um agrupamento de cavas ótimas “aninhadas” (*nested pits*). Os limites da cava final são aqueles obtidos com o valor de preço mais provável, calculado com base em valores históricos ou a partir de modelos estocásticos. Para valores de preço menor, são geradas cavas menores, tendendo a migrar para as porções de maior teor e menor relação estéril/minério (REM) do depósito (HISTRULID; KUCHTA; MARTIN, 2013). Esta metodologia permite que análises de sensibilidade sejam empregadas com o intuito de se avaliar os limites da lavra, enquanto se maximiza o VPL do projeto.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Estudo de caso

Os limites da cava final ótima estão condicionados às informações econômicas de benefício de cada bloco contido no modelo econômico gerado. Este por sua vez está diretamente ligado às características geológicas do depósito, tais como teor, litologia, densidade e dureza. Além destas, os limites da cava final são função de considerações geotécnicas acerca da qualidade do maciço, bem como restrições geométricas, físicas, ambientais e hidrogeológicas.

Para a realização do presente estudo, foi utilizado o modelo geológico de blocos de um depósito mineral de rocha fosfática, localizado no estado de Minas Gerais, Brasil. Além das informações contidas no modelo de blocos, dados referentes à topografia e limites físicos de área do jazimento também foram utilizados. A Figura 1 mostra a superfície topográfica na orientação N-S (norte-sul) juntamente com o modelo de blocos do depósito, indicando apenas os blocos das litologias correspondentes ao minério. Na Figura 1 também é possível se observar a forma com a qual os teores de  $P_2O_5$  (%) se distribuem no depósito.

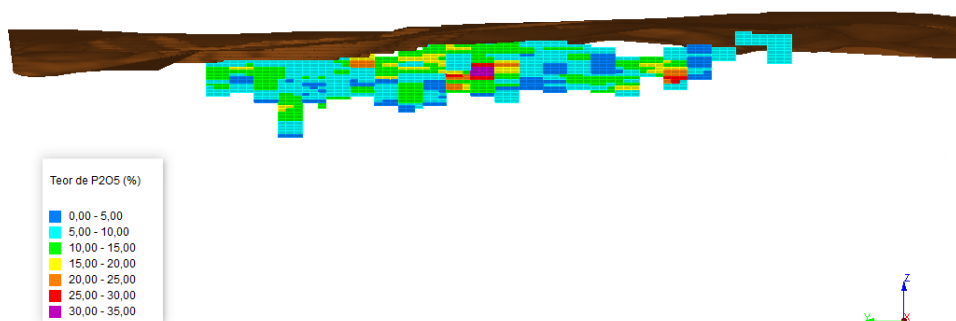


Figura 1 – Superfície topográfica e modelo de blocos ilustrando a distribuição de teores do depósito de rocha fosfática estudado.

Fonte: Autoria própria.

### 2.2 Histórico de Preços

O preço de mercado de um certo bem mineral é uma variável complexa, de difícil previsão, e que possui impacto significativo na lucratividade e longevidade de um empreendimento mineral. Segundo Whittle (2011), o preço de uma *commodity* pode variar consideravelmente conforme mudanças na economia, condições de mercado, desequilíbrios na oferta e procura, ciclos de investimento e influência de especuladores no mercado financeiro. Isto faz com que estudos acerca dos efeitos e implicações que variações futuras no preço possam causar ao projeto sejam de grande valia para engenheiros e gestores.

Para este estudo foi escolhido um horizonte de tempo de cinco anos para se avaliar flutuações no preço de mercado da rocha fosfática. Esta escolha se deu pelo fato de que este período representa um intervalo de tempo capaz de permitir decisões de caráter estratégico por parte do planejamento de lavra, possibilitando que ajustes sejam realizados, resultando em planos mais flexíveis e capazes de se adaptar a mudanças futuras no preço de mercado. Isto é importante uma vez que, mesmo que o preço venha sofrer variações significativas a curto prazo, mudanças nos limites da cava final, por exemplo, não podem ser realizadas em tão pouco tempo. Conforme afirma Bazante (2004), este limite deve ser definido criteriosamente, considerando que expansões ou retrações são possíveis, mas sem que isso implique gastos suplementares que inviabilizem tais alterações.

A Tabela 1 representa a variação do preço de mercado da rocha fosfática no horizonte de tempo de 2012 a 2017 (dados disponíveis até a data de realização deste estudo).

<b>Histórico de Preço da Rocha Fosfática (US\$/t) (2012-2017)</b>						
	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>Janeiro</b>	195,00	182,50	97,50	119,50	122,60	96,88
<b>Fevereiro</b>	190,00	182,50	97,50	121,25	114,50	95,00
<b>Março</b>	160,00	160,00	106,60	123,00	114,50	97,50
<b>Abril</b>	185,00	111,50	111,50	114,13	114,13	95,63
<b>Mai</b>	195,00	157,50	112,63	110,50	110,50	92,50
<b>Junho</b>	193,13	125,63	111,40	118,90	110,50	
<b>Julho</b>	188,50	115,00	111,00	121,00	110,50	
<b>Agosto</b>	182,50	115,00	111,00	121,00	109,75	
<b>Setembro</b>	182,50	97,50	111,38	124,00	109,00	
<b>Outubro</b>	182,50	84,38	116,00	123,50	109,00	
<b>Novembro</b>	182,50	87,50	119,50	123,50	103,00	
<b>Dezembro</b>	182,50	96,88	119,50	123,50	97,50	

Tabela 1 – Variação do preço de mercado da rocha fosfática entre 2012 e 2017.

Fonte: Adaptado de Global Economic Monitoring (GEM) Commodities, World Bank Group.

Como pode-se observar, o preço de mercado da rocha fosfática variou significativamente, passando de US\$ 195,00/t em janeiro de 2012, para apenas US\$ 97,50/t em dezembro de 2016. Isto demonstra uma queda de exatos 50% no valor de venda do bem mineral, valor este que pode ser considerado significativo para a lucratividade do empreendimento de mineração.

### **2.3 Análise de Sensibilidade**

Análises de sensibilidade são uma ferramenta simples, porém eficaz quando se deseja estudar o efeito de uma variável em um certo parâmetro de interesse. Neste estudo,

foi realizada uma análise de sensibilidade dos limites da cava final frente às variações no preço de mercado da rocha fosfática.

De acordo com os valores históricos de variação do preço no período de 2012 a 2016, foi observada uma variação no valor do preço de mercado da rocha fosfática de 50%. Sendo assim, por esta razão, optou-se neste estudo por se realizar uma análise de sensibilidade com *range* de variação de 50%. Conforme dados da Tabela 1, o valor médio do preço para o período correspondente (2012-2016) seria de US\$ 136,50/t, o qual seria o mais indicado para se realizar esta análise. Contudo, para fins de simplificação, optou-se por utilizar o valor de US\$ 100,00/t como valor base para a análise.

A análise de sensibilidade foi conduzida variando-se o valor do preço por meio de incrementos percentuais de 10%, partindo-se do valor base de US\$ 100,00/t, considerado como 100%. O preço foi então modificado até um máximo de 50%, para mais e para menos, contemplando cenários de ganhos e perdas, obtendo-se valores de 50% até 150%, correspondentes à cada cenário estudado. Os dados referentes a todos os cenários de preço avaliados estão dispostos na Tabela 2.

Análise de Sensibilidade - Preço de mercado da Rocha Fosfática		
Cavas	Preço da Rocha Fosfática (US\$/t)	$\Delta$ (%)
1	50,00	-50
2	60,00	-40
3	70,00	-30
4	80,00	-20
5	90,00	-10
6	100,00	0
7	110,00	+10
8	120,00	+20
9	130,00	+30
10	140,00	+40
11	150,00	+50

Tabela 2 – Diferentes cenários de preço avaliados por meio da análise de sensibilidade.

Fonte: Autoria própria.

## 2.4 Valor Econômico dos Blocos

Para a construção do modelo econômico do depósito e a consequente obtenção dos valores econômicos de cada bloco, foram considerados os seguintes custos:

- Custo de lavra do minério;
- Custo de lavra do estéril;

- Custo de beneficiamento.

Ainda com relação à obtenção do valor econômico dos blocos, foram considerados, para as duas tipologias de minério presentes no modelo, as seguintes recuperações:

- Recuperação na lavra;
- Recuperação no beneficiamento.

Os valores dos custos e recuperações utilizados na formulação da função benefício são dados confidenciais e, portanto, não podem ser divulgados neste estudo.

## 2.5 Parâmetros Geotécnicos

Para a definição dos limites da cava final ótima foi utilizado uma região global com ângulo de talude de 45°. A adoção deste valor trata-se de uma simplificação em relação aos parâmetros utilizados na lavra, porém não tão distantes dos que são utilizados na prática para o depósito em questão.

## 2.6 Otimização da Cava

As etapas de preparação dos dados e obtenção dos limites da cava final para cada cenário descrito na metodologia foram realizadas com o auxílio dos *softwares* NPV Scheduler e Studio OP, ambos da empresa Datamine.

Inicialmente, o modelo tridimensional de blocos contendo parâmetros geológicos como litologia, teor e densidade foi inserido no *software* Studio OP para aplicação de uma função benefício previamente definida. Foi nesta etapa que as modificações no valor do preço de venda foram realizadas, dando origem aos cenários propostos. É importante ressaltar que para o estudo em questão, apenas o preço de mercado da *commodity* foi alterado na função benefício, sendo que todos os demais parâmetros permaneceram constantes. Em seguida o modelo econômico gerado no Studio OP foi inserido no NPV Scheduler para obtenção dos limites da cava final. Uma taxa de desconto anual de 12% foi utilizada para obtenção do VPL de cada cava gerada. A fim de estimar a vida útil de cada cenário gerado, foi definida uma produção anual média de 3,2 milhões de toneladas (MT) de minério para todas as simulações realizadas, valor este que se aproxima dos valores de produção praticados pelo empreendimento.

## 2.7 Restrições Físicas

O presente estudo foi realizado em duas situações distintas: Na primeira delas a metodologia descrita anteriormente foi empregada realizando-se uma análise de sensibilidade considerando limites de área, bem como um limite de cota para o fundo da cava. Este cenário contempla uma situação comum à realidade de muitos empreendimentos de mineração, os quais normalmente estão limitados à uma certa área concedida para a lavra. Devido à rigidez locacional inerente aos depósitos minerais, nem sempre é possível alterar estes limites com o intuito de ampliar o volume das reservas lavráveis. Em outros

casos o empreendimento se encontra próximo de áreas urbanas, áreas de interesse da comunidade ou áreas de preservação ambiental. Nestas situações a expansão dos limites de propriedade dificilmente é possível.

A segunda situação refere-se a um cenário sem quaisquer limitações físicas de área e de cota para o fundo da cava, para a obtenção dos contornos da cava final que levem à maximização do valor do empreendimento. Este cenário representa uma realidade possível, porém mais difícil de ser observada em empreendimentos de mineração. Exceções a este caso podem ser encontradas, por exemplo, em situações em que duas empresas de mineração possuem áreas adjacentes, permitindo que os limites de propriedade sejam alterados mediante acordo entre ambas as partes.

Assim, foram geradas 11 cavas para cada cenário, totalizando 22 cavas finais ótimas. A Figura 2 ilustra um fluxograma da metodologia adotada neste estudo.

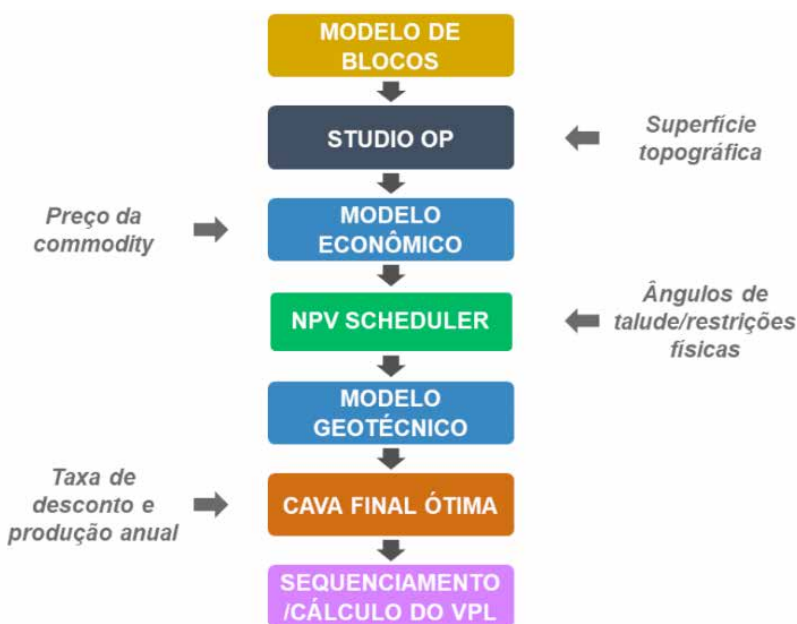


Figura 2 – Fluxograma representativo das etapas da metodologia empregada neste estudo.

Fonte: Autoria própria.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Análise de Sensibilidade com Limite Físico

A partir dos cenários de preço apresentados na Tabela 2 e seguindo a metodologia apresentada na Figura 2, foram geradas as 11 cavas referentes à análise de sensibilidade considerando-se os limites físicos de área e de fundo de cava. A Figura 3 apresenta os resultados obtidos para cada cenário de preço, indicando os valores das massas de minério

e estéril para cada cava, bem como o seu respectivo VPL. Os valores da massa de minério e estéril foram obtidos multiplicando-se o volume encontrado por um valor de densidade igual a 2 t/m<sup>3</sup>, adotado como padrão para ambos os materiais.

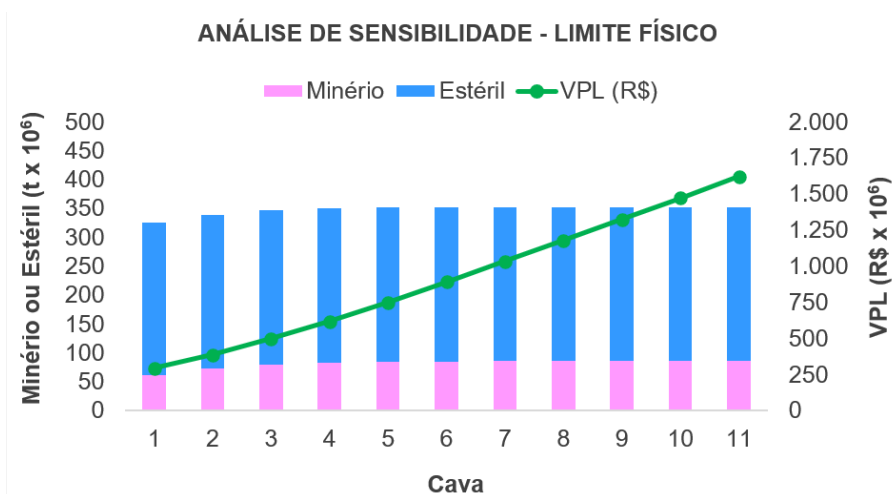


Figura 3 – Análise de sensibilidade realizada para o cenário com limites físicos para a cava.

Fonte: Autoria própria.

Analisando-se a Figura 3 pode-se observar que a cava 1, a qual corresponde ao valor de preço mais baixo, é a que apresenta menor quantidade de minério. Este comportamento era esperado uma vez que, para valores de preço menores, alguns blocos com teores mais baixos podem adquirir benefício negativo, mesmo estando acima do teor de corte. Isto faz com que estes blocos, que deveriam ser considerados como minério, passem a ser tidos como estéril, uma vez que não são mais economicamente viáveis. Isto resulta em uma diminuição das reservas lavráveis reduzindo, conseqüentemente, os limites da cava final e a quantidade de minério presente na mesma.

Ao contrário do que se esperava, ao se aumentar o preço para além do valor base, não foram observados aumentos significativos na quantidade de minério e estéril, indicando que os limites da cava final praticamente não se expandiram. Para efeito de comparação, a cava 11, gerada com o valor de preço mais alto, apresentou um aumento de apenas 0,6% na massa de minério em relação à cava 6, gerada a partir do valor base do preço de mercado. Em contrapartida, ao se realizar esta mesma comparação, agora em relação à cava 1 (menor preço), houve uma redução de aproximadamente 27,8% na massa de minério.

A justificativa mais provável que explica este comportamento se deve ao fato de que, para a cava gerada a partir do valor base (cava 6), os limites da cava final já estavam muito próximos dos limites impostos pelas restrições físicas de área e cota do fundo de cava.

Sendo assim, mesmo aumentando o preço, os contornos finais da cava pouco mudaram. Pode-se perceber também que, a partir da cava 8 não são observados aumentos, mesmo que pequenos, nas massas de minério e estéril, indicando que deste ponto em diante a cava final não pôde mais sofrer expansões, estando restrita aos limites físicos impostos nas condições de contorno da análise realizada.

Os valores da massa de estéril também pouco se alteraram ao longo dos diferentes cenários avaliados. A possível explicação para este comportamento é semelhante àquela aplicada para a massa de minério, com a diferença de que mesmo para a menor cava (cava 1), a massa de estéril permaneceu relativamente constante. Isto indica que, apesar dos limites da cava terem se retraído, a quantidade de estéril aumentou praticamente na mesma proporção, devido à redução no preço de mercado, resultando em uma variação de aproximadamente 1% entre a cava 1 e a cava 6, correspondente ao valor de preço base.

No que diz respeito ao critério econômico, representado pelo VPL das cavas geradas, o comportamento observado na Figura 3 se mostrou dentro daquilo que era esperado. Para valores mais altos de preço, obteve-se um VPL maior sendo que, o maior valor de VPL encontrado coincidiu com o cenário de maior preço da rocha fosfática. Isto demonstra que, independentemente dos contornos da cava, o preço possui grande influência na lucratividade do empreendimento. Comparando-se a cava 6 com a cava 1, foi observada uma diminuição no VPL da ordem de 66,9%. Em contrapartida, ao se comparar o VPL encontrado para o cenário da cava 11 com o valor base, observou-se um aumento de aproximadamente 82,1%.

A Tabela 3 apresenta os valores de teor médio de  $P_2O_5$  da cava, REM e vida útil do empreendimento para os diferentes cenários de preço estudados.

Análise de Sensibilidade - Limite Físico				
Cava	Preço (US\$/t)	$P_2O_5$ (%)	REM (t/t)	Vida Útil (anos)
1	50,00	13,09	4,30	19,20
2	60,00	12,43	3,66	22,71
3	70,00	12,03	3,38	24,72
4	80,00	11,80	3,24	25,87
5	90,00	11,70	3,17	26,34
6	100,00	11,64	3,14	26,58
7	110,00	11,61	3,12	26,71
8	120,00	11,60	3,12	26,75
9	130,00	11,60	3,12	26,75
10	140,00	11,60	3,12	26,75
11	150,00	11,60	3,12	26,75

Tabela 3 – Teor médio de  $P_2O_5$ , REM e vida útil para as cavas geradas com limite físico.

Fonte: Autoria própria.



Conforme mostra a Tabela 3, os valores de teor médio de  $P_2O_5$  da cava são maiores para cenários onde o preço é menor. A possível explicação para que isto tenha ocorrido está no fato de que, para preços mais baixos, a lavra tende a migrar para regiões mais ricas do depósito. Neste caso, apenas blocos com teores mais elevados são economicamente viáveis, elevando-se assim o teor médio dos blocos de minério da cava final. Esta tendência também faz com que a quantidade de blocos de minério seja reduzida em comparação com os blocos de estéril, uma vez que apenas blocos com teores mais altos tem benefício positivo e, portanto, são considerados como minério. Como resultado, a REM torna-se maior.

Com relação à vida útil do empreendimento, sabe-se que para valores de preço mais baixos, a cava é conseqüentemente menor. No entanto, para preços mais altos os limites da cava se expandem, aumentando as reservas lavráveis. Assumindo uma taxa de produção constante ao longo dos anos, assim como foi feito neste trabalho, a vida útil do empreendimento tende a aumentar à medida que o preço aumenta, assim como mostra a Tabela 3.

### 3.2 Análise de Sensibilidade sem Limite Físico

Assim como foi feito para o cenário no qual restrições físicas se faziam presentes, foram geradas novamente 11 cavas, agora sem quaisquer restrições de área e cota para o fundo de cava. A Figura 4 ilustra os resultados obtidos para os diferentes cenários de preço, indicando os valores das massas de minério e estéril para cada cava, além do seu respectivo VPL.

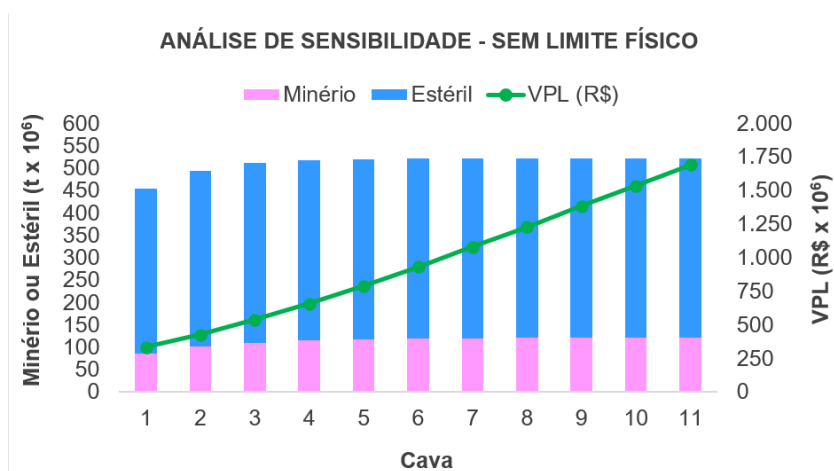


Figura 4 – Análise de sensibilidade realizada para o cenário sem limites físicos para a cava.

Fonte: Autoria própria.

Analisando-se a Figura 4, pode-se observar que esta é bastante semelhante à Figura 3, correspondente ao cenário com restrições físicas. Contudo, é possível notar algumas diferenças entre ambas. A principal delas diz respeito aos valores de massa de estéril e minério, que são maiores se comparados ao cenário onde restrições físicas haviam sido impostas. Com a ausência destas restrições, as cavas geradas são maiores e mais profundas, portanto, possuem quantidades maiores de material estéril e minério.

A tendência observada para os valores de massa de minério e estéril, no entanto, permaneceu a mesma. A única diferença neste caso é que os valores permaneceram constantes após a cava 8 provavelmente devido à exaustão das reservas lavráveis, e não devido às restrições físicas impostas. Comparando-se a cava 6 com a cava 1, foi observada uma redução de 28,1% na massa de minério. Por outro lado, ao se realizar a mesma comparação, agora para a cava 11, obteve-se um aumento de aproximadamente 0,7% apenas. Isto indica que as cavas geradas com valores de preço maiores que o valor base praticamente não sofreram alterações na quantidade de minério contido nas mesmas. O mesmo raciocínio também vale para os valores de massa de estéril, onde a variação entre o valor base e o maior valor de preço foi negligente, sendo da ordem de apenas 0,1%.

Do ponto de vista econômico, o VPL seguiu a mesma tendência observada no cenário com restrições físicas. O cenário sem restrições, no entanto, apresentou valores de VPL em média 6,3% maiores. Como não existiam impedimentos atribuídos nas condições de contorno, o algoritmo de otimização foi capaz de buscar os contornos que levariam a maior lucratividade do empreendimento, explicando o motivo dos valores de VPL para este cenário terem sido maiores.

Por último, a Tabela 4 apresenta os valores de teor médio de  $P_2O_5$  da cava, REM e vida útil do empreendimento para os cenários de preço estudados sem restrições físicas. Analisando-se a mesma pode-se perceber que os valores apresentados e o seu comportamento são semelhantes aos observados na Tabela 3, referente ao cenário onde existiam restrições físicas. Os valores de vida útil do empreendimento, no entanto, se mostraram maiores. Devido à ausência de restrições físicas, as cavas obtidas neste cenário foram maiores e mais profundas, contendo uma quantidade maior de minério. Assim, assumindo-se novamente uma taxa de produção anual constante, a vida útil do empreendimento também tende a ser maior.

Análise de Sensibilidade - Sem Limite Físico				
Cava	Preço (US\$)	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	REM (t/t)	Vida Útil (anos)
1	50,00	13,38	4,29	26,84
2	60,00	12,65	3,89	31,57
3	70,00	12,22	3,65	34,39
4	80,00	11,96	3,48	36,12
5	90,00	11,84	3,40	36,88
6	100,00	11,77	3,37	37,32
7	110,00	11,74	3,35	37,52
8	120,00	11,73	3,34	37,57
9	130,00	11,73	3,34	37,57
10	140,00	11,73	3,34	37,57
11	150,00	11,73	3,34	37,57

Tabela 4 – Teor médio de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, REM e vida útil para as cavas geradas sem limite físico.

Fonte: Autoria própria.

## 4 | CONCLUSÕES

A definição dos limites da cava final é um dos grandes desafios do planejamento de uma mina a céu aberto. Vários fatores podem influenciar significativamente estes limites, sendo o preço de mercado do bem mineral talvez o mais relevante deles. Diante disto, análises de sensibilidade são uma ferramenta importante na tentativa de se antecipar os efeitos que variações no preço podem causar nos contornos da cava final ótima.

Para as cavas geradas considerando-se restrições físicas, foi observado um aumento do ganho econômico expresso pelo VPL, contudo, aumentos no preço para além do valor base não resultaram em maiores expansões dos limites da cava. Tal fato ocorreu pois o contorno da cava final para o valor base se encontrava próximo das restrições físicas impostas.

Com relação ao cenário sem limitações físicas, observou-se que tanto o VPL quanto as quantidades de minério e estéril aumentaram, até atingir um valor máximo estabelecido pelas próprias condições do modelo geológico de blocos, caracterizado pela exaustão das reservas lavráveis. Desta forma, aumentos no preço para além deste ponto não resultaram em mudanças no volume de minério e estéril.

A realização da análise de sensibilidade sem restrições físicas também serviu para se conhecer os verdadeiros limites da cava final, uma vez que nenhuma limitação de área ou cota foi imposta na busca dos contornos ótimos.

## REFERÊNCIAS

BAZANTE, A. J. **A Interação Entre o Planejamento e Controle de Qualidade na Maximização da Função Benefício de um Empreendimento Mineral**. 2004. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

CACETTA, L.; HILL, S. P. **An Application of Branch and Cut to Open Pit Mine Scheduling**. Journal of Global Optimization, v. 27, n. 2, p. 349-365, nov. 2003.

CANDIDO, M. T. **Impacto de Diferentes Algoritmos e Geometria de Depósitos Minerais no Planejamento de Longo Prazo**. 2012. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

DEGHANI, H.; ATAEE-POUR, M. **Determination of the effect of economic uncertainties on mining project evaluation using real option valuation**. International Journal of Mining and Mineral Engineering, v. 4, n. 4, p. 265-277, 2013.

DESSUREAULT, S.; KAZAKIDIS, V. N.; MAYER, Z. **Flexibility Valuation in Operating Mine Decisions Using Real Options Pricing**. International Journal of Risk Assessment and Management, v. 7, n. 5, p. 656-674, 2007.

**Global Economic Monitoring (GEM) Commodities**, World Bank Group. Disponível em: <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=globaleconomicmonitorcommodities>. Acesso em: 05 jun. 2017.

HUSTRULID, W.; KUCHTA, M.; MARTIN, R. K. **Open Pit Mine Planning & Design**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2013. 1308 p.

LERCHS, H.; GROSSMANN, I. F. **Optimum Design of Open-Pit Mines**. In: Canadian Mining and Metallurgical Bulletin, 68., 1965, Montreal. **Anais [...]**. Montreal, 1965. p. 17-24.

SAMIS, M. 2001. **Valuing a Multi-Zone Mine as a Real Asset Portfolio – A Modern Asset Pricing (Real Options) Approach**. In: Annual International Conference on Real Options – Theory Meets Practice, 5., 2001, Los Angeles. **Anais [...]**. Los Angeles, 2001.

WHITTLE, D. Open-Pit Planning and Design. In: DARLING, P. **SME Mining Engineering Handbook**. 3. ed. Littleton: Society of Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., 2011. p. 877-902.

## ÍNDICE REMISSIVO

9GDL 70

### A

Algoritmos 31, 35, 36, 58, 226, 237

Ambiência 124, 126, 127, 129, 132, 133, 134, 135

Análise de sensibilidade 153, 225, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 236

### B

Biocombustível 86

Biodigestor 86, 88, 90, 93, 94, 95, 96, 97, 98

Biomaterial 184, 185, 194

Bowtie 155, 162, 166, 168, 169, 172

### C

Casca de ovos de galinha 184

Cava final 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 236

Confiabilidade 147, 240, 247, 249, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259

Coronavírus 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10

Covid-19 1, 2, 4, 9, 10, 256

### D

Data centers 253

Descarga atmosférica e ATPDraw 196

Dinâmica 20, 22, 24, 25, 26, 35, 69, 70, 71, 72, 74, 120, 133

Disponibilidade 39, 88, 115, 116, 120, 212, 222, 223, 239, 246, 249, 253, 255, 256, 258

### E

Encargos complementares 136, 137, 151

Engenharia de custo 136, 140

Equipamentos de proteção individual-(EPI) 136, 141, 146, 151, 152

Escalonamento 31, 32, 33, 39

Essências florestais 11, 12

Evaporação 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123

### F

FCA 69, 70, 71, 72

Filtração 86

Física do solo 11

## **G**

Gestão de processos 209

## **I**

Idoso 132, 134

Índice de qualidade de Dickson 11, 13, 14

Indústria aeroespacial 238, 239, 240, 241, 242, 243, 245, 246, 247, 248, 249

Integrado e sustentável 41, 47, 55

## **L**

Laminados 100, 102

Linhas de transmissão 196, 197, 199, 201

## **M**

Manufatura aditiva 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 251

Melhoria continua 209

Metano 86, 89, 90, 91, 95

Método das funções de Green 100

Monetita 184, 185, 189, 190, 191, 192

Moradia adequada 124, 126, 127, 133, 135

Motion cueing 70, 72, 73, 75, 77

## **N**

Nordeste 23, 114, 115, 116, 121, 123, 172, 214, 215, 217, 218

## **O**

Orçamento de obra 136

Otimização 58, 59, 183, 209, 226, 230, 235

## **P**

Pandemia 1, 4, 9, 10, 256, 259

Pedreira 155, 156, 157, 159, 161, 162, 168, 169, 172

Planejamento de lavra 225, 228

Planejamento participativo 41, 46, 47, 55

Plano municipal de saneamento básico 41, 47, 49, 50, 52, 54, 55, 56

Platibandas 18, 20, 25, 26

Políticas públicas 41, 42, 43, 45, 46, 54, 57, 132

Potência reativa 58, 59, 63, 64, 67

Preço da rocha fosfática 225, 228, 229, 233

Pressão efetiva 18, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27

Processos 8, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 79, 87, 89, 92, 93, 121, 128, 141, 151, 163, 164, 175, 193, 204, 209, 211, 223, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 245, 246, 247, 248, 249

Projeto de cobertura 18

Prospecção 1, 3, 8, 116, 117, 174, 177, 178, 179, 182

## **Q**

Qualidade de mudas 11, 12, 15, 16

## **R**

Regiões críticas 31

Relações socioespaciais 124, 132, 133

Reservatórios superficiais 114, 116, 117, 119, 121, 122

Revisão sistemática da literatura 238, 240

Rota úmida 184, 187, 188

## **S**

Segurança de mina 155, 172

Semáforos 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39

Simulador 31, 36, 37, 38, 39, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 77

Síntese 134, 140, 184, 185, 186, 187, 194, 203, 204, 205, 206, 208

Sísmica 174, 175, 176, 177, 180, 181, 182, 183

Sistemas de potência 58

Substrato 11, 13, 14, 15, 88, 89

## **T**

Timoshenko 100, 101, 102, 103, 106, 107, 112, 113

## **V**

Ventilação de mina 209, 210, 213, 215, 222

Vigas 100, 101, 102, 103, 104, 106, 112

## **W**

WRAC 155, 156, 162, 164, 165, 166, 167, 168, 170, 172

**Atena**  
Editora

Ano 2021



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

***A visão sistêmica e integrada  
das engenharias  
e sua integração com a sociedade***

---



Atena  
Editora

Ano 2021



- 🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
- ✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
- 📷 @atenaeditora
- 📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

*A visão sistêmica e integrada  
das **engenharias**  
e sua **integração com a sociedade***

---