

Amanda Fernandes Pereira da Silva
(Organizadora)

ENGENHARIA- RIAS: Pesquisa, desenvolvimento e inovação 3



Amanda Fernandes Pereira da Silva
(Organizadora)

ENGENHARIA- RIAS: Pesquisa, desenvolvimento e inovação 3



Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 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-Não-Derivativos 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 Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

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
Prof^o Dr^a Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^o Dr^a Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^o Dr^a Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^a Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^a Dr^a 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
Prof^a Dr^a Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof^a Dr^a Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof^o Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^a Dr^a Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Engenharias: pesquisa, desenvolvimento e inovação 2

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Amanda Fernandes Pereira da Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
E57	Engenharias: pesquisa, desenvolvimento e inovação 2 / Organizadora Amanda Fernandes Pereira da Silva. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-0935-9 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.359231801 1. Engenharia. I. Silva, Amanda Fernandes Pereira da (Organizadora). 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
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.

Sabendo que a Atena Editora faz parte do grupo de instituições que incentivam a difusão de inovação científica, a mais nova coleção “Engenharias: Pesquisa, desenvolvimento e inovação 3” engloba pesquisa científica, aplicada, desenvolvimento experimental e inovação tecnológica. Um dos grandes desafios enfrentados atualmente nos mais diversos ramos do conhecimento, é o do saber multidisciplinar, aliando conceitos de diversas áreas.

Atualmente, é necessário que os profissionais saibam discernir e transitar conceitos e práticas levando em consideração o viés humano e técnico. Diante desse contexto, este livro traz capítulos ligados a teoria e prática em um caráter multidisciplinar, apresentando de maneira clara e lógica conceitos pertinentes aos profissionais das mais diversas áreas do saber. Os mais diversos temas estão relacionados às áreas de engenharia, como civil, materiais, mecânica, química, dentre outras, dando um viés onde se faz necessária a melhoria contínua em processos, projetos e na gestão geral no setor fabril.

Esta obra se mostra como fundamental, de abordagem objetiva, para todos os âmbitos acadêmicos e pesquisadores que busquem alavancar em conhecimento. Aos autores, agradeço pela confiança e espírito de parceria.


Boa leitura.

Amanda Fernandes Pereira da Silva

CAPÍTULO 1 1**A IMPORTÂNCIA DO SISTEMA DE GESTÃO DE QUALIDADE DENTRO DOS PROCESSOS EMPRESARIAIS**


Milena dos Santos Silva

Luis Jorge Souza dos Anjos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318011>**CAPÍTULO 2 5****ANÁLISE COMPARATIVA DAS NORMAS NBR 6118/2014, NBR 7188/2013 E AASHTO LRFD 2012, BASEADA NA TEORIA DA CONFIABILIDADE – ESTUDO DE CASO DE UMA VIGA I DA PONTE SOBRE CÓRREGO SÃO DOMINGOS NA RODOVIA ESTADUAL ES-010, TRECHO ITAÚNAS - ES-421**

Rodrigo José Costa Nóbrega

Emmanoel Guasti Ferreira


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318012>**CAPÍTULO 330****ANÁLISE DA DEFLEXÃO DE VIGAS E EIXOS POR EDO E SIMULAÇÃO EXPERIMENTAL DE BAIXO CUSTO**

Cristian Comin

Adabiel Oleone da Silva

Jocelaine Cargnelutti

Vanderlei Galina


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318013>**CAPÍTULO 439****APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP PARA AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO DO MELHOR TRATAMENTO PARA A BORRA OLEOSA GERADA NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA**

Wanderbeg Correia de Araujo

Haron Calegari Fanticelli

Jose Oduque Nascimento de Jesus

Artur Saturnino Rodrigues

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318014>**CAPÍTULO 557****ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLIED IN DIFFERENT AREAS OF ROBOTICS**

Márcio Mendonça

Rodrigo Henrique Cunha Palácios

João P. S. Bertocini

Ivan R. Chrun

Wagner Fontes Godoy


José Augusto Fabri

Francisco de Assis Scannavino Junior

Lucas Botoni de Souza

Emanuel Ignacio Garcia

Marta Rúbia Pereira dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318015>

CAPÍTULO 677

AVALIAÇÃO DA PROBABILIDADE DE FALHA DE PÓRTICO PLANO DE AÇO SUJEITO A CARREGAMENTO GRAVITACIONAL E COM FLEXÃO EM TORNO DO EIXO DE MENOR INÉRCIA


Danilo Luiz Santana Mapa
Marcilio Sousa da Rocha Freitas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318016>

CAPÍTULO 786

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO ESPAÇO FÍSICO EM ACADEMIAS DE GINÁSTICA E MUSCULAÇÃO NA CIDADE DO RECIFE/PE


Emanoel Silva de Amorim
Kássia Benevides Martins Gomes
Girilândia de Moraes Sampaio
Paula dos Santos Cunha Boumann
Diogo Cavalcanti Oliveira
José Allef Ferreira Dantas
Ana Maria Batista Farias
Hugo Leonardo França Silva
Thiago Araújo de Menezes
Arthur Henrique Neves Baptista

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318017>

CAPÍTULO 897

COMPARAÇÃO DO FATOR DE SEGURANÇA UTILIZANDO ENVOLTÓRIAS DE RUPTURA LINEAR E CURVA. CASO DE ESTUDO MEDELLÍN – COLÔMBIA

Eduardo Montoya Botero
George Fernandes Azevedo
Hernán Eduardo Martinez Carvajal
Edwin Fabian Garcia Aristizabal
Newton Moreira de Souza


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318018>

CAPÍTULO 9 107

EFEITO DA ADIÇÃO DE DIFERENTES PROPORÇÕES DE FIBRAS DE COCO A GESSO DE FUNDIÇÃO

Karina Paula Barbosa de Andrade Lima
Deborah Grasielly Cipriano da Silva
Ana Luíza Xavier Cunha
Kyriale Vasconcelos Morant Cavalcanti
Felipe Bezerra de Lima
Jackson José dos Santos
Eyshila Paloma Costa de Brito
Lucas Ítalo Santos Gomes
Francisco das Chagas da Costa Filho

Fernanda Wanderley Corrêa de Araújo
 José Dantas Neto
 Romildo Morant de Holanda
 Yêda Vieira Póvoas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318019>

CAPÍTULO 10.....121

EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E NA ESTRUTURA DO AÇO TENAX 300IM


Carlos Triveño Rios
 Giselle Primo Samogin
 Debora Christina Ramos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180110>

CAPÍTULO 11 132

EFEITO DO ULTRASSOM NA EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS EM CHÁS: UMA REVISÃO


Camila Araújo Costa Lira
 Kamila de Lima Barbosa
 Tereza Raquel Pereira Tavares
 Anayza Teles Ferreira
 Antonia Ingrid da Silva Monteiro
 Maria Rayane Matos de Sousa Procópio
 Marcelo Henrique Raulino Soares Nunes
 Amanda Caúla Fontenele
 Izabel Cristina de Almeida Silva
 Francisca Andressa Rabelo da Silva França
 Andreson Charles de Freitas Silva
 José Diogo da Rocha Viana

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180111>

CAPÍTULO 12.....141

OS DESAFIOS DO GESTOR DE PRODUÇÃO: UM ESTUDO EM UMA INDÚSTRIA DE PEQUENO PORTE

Alessandro Dias
 Maykon Aurélio Alves
 Natanael Oliveira
 Mayara dos Santos Amarante

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180112>

CAPÍTULO 13.....161

POTENCIAL DE APLICAÇÃO DO RESÍDUO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ


Marcela Trojahn Nunes
 Fabiele Schaefer Rodrigues
 Jocenir Boita

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180113>

CAPÍTULO 14..... 169

REPLACEMENT OF CONVENTIONAL VEHICLES WITH ELECTRIC ONES ON THE MACROMETRÓPOLE PAULISTA: ENERGETIC AND ENVIRONMENTAL IMPACTS FOR THE HORIZON OF 2030


Guilherme Pedroso
João Marcos Pavanelli
Raiana Schimer Soares
Célio Bermann

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180114>

CAPÍTULO 15.....203

UMA REFLEXÃO SOBRE A IMPORTÂNCIA DA GEOMECÂNICA PARA A ENGENHARIA DE PETRÓLEO


Elias Enes de Oliveira
Melissa Alves Fernandes
Geraldo de Souza Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180115>

CAPÍTULO 16..... 215

FISSURAÇÃO NO CONCRETO ARMADO: POSSÍVEIS CAUSAS E TÉCNICAS DE RESOLUÇÃO

Amanda Fernandes Pereira da Silva
Diego Silva Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180116>

SOBRE A ORGANIZADORA225**ÍNDICE REMISSIVO.....226**

UMA REFLEXÃO SOBRE A IMPORTÂNCIA DA GEOMECÂNICA PARA A ENGENHARIA DE PETRÓLEO

Data de aceite: 02/01/2023

Elias Enes de Oliveira

Universidade Federal Fluminense
Niterói - Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/9745481052880427>

Melissa Alves Fernandes

Universidade Federal Fluminense
Niterói - Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/0293721585092539>

Geraldo de Souza Ferreira

Universidade Federal Fluminense
Niterói - Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/7737006660315245>

RESUMO: A Geomecânica é o estudo do comportamento mecânico dos meios contínuos. Na indústria de petróleo, a Geomecânica se faz necessária desde a prospecção até a produção de hidrocarbonetos. O presente trabalho visa delinear a importância da Geomecânica na formação do profissional de engenharia de petróleo, destacando as principais áreas envolvidas pela mecânica das rochas e realizando um mapeamento das universidades brasileiras que disponibilizam o curso de Geomecânica ou mecânica das rochas para os alunos de engenharia de petróleo, seja como matéria obrigatória

ou optativa em sua matriz curricular. Além disso, destaca-se a utilização dessa área no ambiente profissional, com uma amostra de engenheiros de petróleo formados e inseridos no mercado de trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Geomecânica, mecânica das rochas, engenharia de petróleo, matriz curricular.

A REFLECTION ON THE IMPORTANCE OF GEOMECHANICS FOR PETROLEUM ENGINEERING

ABSTRACT: Geomechanics is the study of the mechanical behavior of continuous media. In the oil industry, geomechanics is necessary from prospecting to the production of hydrocarbons. The present work aims to outline the importance of geomechanics in the training of petroleum engineering professionals, highlighting the main areas involved in rock mechanics and mapping the Brazilian universities that offer the geomechanics or rock mechanics course for engineering students. petroleum, either as a mandatory or optional subject in its curriculum. In addition, the use of this area in the professional environment is highlighted, with a sample of petroleum engineers trained and inserted in the job

market.

KEYWORDS: Geomechanics, rock mechanics, Petroleum Engineering, curriculum.

1 | INTRODUÇÃO

Na indústria de petróleo, o estudo integrado da geologia, geofísica, petrofísica e mecânica das rochas é denominado Geomecânica (SOROUSH, 2013). Essa disciplina surge com objetivo de quantificar as respostas da formação rochosa a quaisquer alterações em componentes como estado de tensão, pressão de poros e resistência das rochas correspondentes. Por sua vez, a definição de tensões e deformações em três dimensões para aplicação em um dado campo ou ambiente geológico constitui o que usualmente denomina-se modelo geomecânico. Uma vez elaborados, modelos geomecânicos são usados em diversas etapas na indústria mineral (BRITO et al, 2011) e na indústria petrolífera desde a prospecção até a produção de hidrocarbonetos.

Em atividades do cotidiano, o engenheiro irá lidar com situações que exigem um conhecimento, pelo menos, básico acerca do que o geólogo ou geofísico fazem. No entanto, muitos não estão preparados para se comunicar com tais profissionais pela limitação de conhecimento em determinado assunto.

No Brasil, a demanda por profissionais que trabalham na exploração e produção de petróleo tem sido crescente. Desde 2006, quando os reservatórios do Pré-Sal foram descobertos, a oferta do curso de Engenharia de Petróleo no país por instituições públicas e privadas aumentou consideravelmente, como constatado por Cabral et al (2012).

As propriedades reológicas do sal e das rochas-reservatório carbonáticas presentes no Pré-Sal trazem desafios diferenciados para os engenheiros de petróleo, com destaque para as atividades que envolvam conhecimento do comportamento dos maciços rochosos às diversas solicitações, em especial durante as fases de perfuração e produção de petróleo. Neste contexto, as empresas buscam cada vez mais profissionais capazes de entender e de aplicar em seu cotidiano os saberes e práticas do campo de conhecimento da Geomecânica. No entanto, esse estudo da integração da geofísica, geologia estrutural, mecânica das rochas e modelagem e simulação matemática, podem não estar consolidado em sua área de formação profissional.

O presente trabalho busca enfatizar a pertinência e a relevância dos estudos sobre a Geomecânica, destacando a vasta gama de aplicações deste campo do saber na indústria do petróleo; também tem como objetivo efetuar o levantamento quantitativo dos cursos de graduação em Engenharia de Petróleo que fornecem cursos relacionados à Geomecânica e, por fim, realizar uma investigação exploratória sobre a compreensão que profissionais da indústria possuem sobre a importância dos conhecimentos relacionados à Geomecânica.

2 | METODOLOGIA

Para se atingirem os objetivos deste trabalho, com um melhor entendimento da importância da Geomecânica para a Engenharia de Petróleo, são devidamente apresentadas as aplicações desta disciplina para esta área de estudo.

Adicionalmente, foram realizadas duas pesquisas: a primeira com o objetivo de se verificar o ensino de Geomecânica nas unidades acadêmicas nacionais em que se oferece a formação em Engenharia de Petróleo e; a segunda para se compreender como os profissionais da indústria já formados pensam em relação à Geomecânica.

2.1 Aplicações da Geomecânica na Indústria de Petróleo

A utilização de modelos baseados em conhecimentos da Geomecânica ocorre em todas as etapas de um processo de exploração e produção de hidrocarbonetos. Neste tópico são apresentadas as aplicações da Geomecânica na Engenharia de Petróleo.

2.1.1 *Análise de Bacias*

A análise de bacias compreende o estudo da origem, evolução e inversão de bacias (ALLEN & ALLEN, 2013). Entender a história geológica da deposição de uma bacia é ferramenta fundamental para o desenvolvimento da exploração de óleo e/ou gás de uma determinada região. O desenvolvimento e evolução de bacias têm sido modelados numericamente baseados em dados geológicos e estruturais.

Entretanto, existem poucos modelos de análise de bacias que levam em consideração as alterações no regime de tensões. Essas alterações, tanto durante a formação das bacias, como no período de exploração, influenciam a geração, migração, e acumulação de hidrocarbonetos, por alterarem a permeabilidade e, conseqüentemente, a transmissividade hidráulica do reservatório. A modificação do regime de tensões pode, por exemplo, ocasionar a perda de capacidade selante de falhas e fraturas, o que compromete a integridade do sistema rocha-reservatório.

A geração de falhas e sua influência na migração e acumulação de fluidos em uma bacia são condicionadas pela distribuição e magnitude de tensões “in situ”. Por isso, a estimativa de geopressões é fundamental na etapa exploratória.

2.1.2 *Reativação de falhas em reservatórios*

As falhas em um reservatório de petróleo podem representar uma ambigüidade. Se, por um lado, tais falhas atuam como selantes que impedem o escape indesejável de fluidos dos reservatórios para outras locações, por outro, elas podem atuar como o caminho de migração desses fluidos, se reativadas.

Um dos grandes desafios na exploração de um reservatório de petróleo é a identificação e a caracterização das falhas naturais presentes no mesmo. A geologia

estrutural tem sido uma ferramenta imprescindível aos profissionais da área que atuam na caracterização mecânica desses reservatórios.

O estudo das falhas permite identificá-las como permeáveis ou não-permeáveis e com isso verificar a capacidade de acumulação de fluidos de petróleo na rocha reservatório. Para tais tipos de reservatórios, uma grande preocupação é a possibilidade de reativação de falhas. Assim sendo, o engenheiro de petróleo precisa estimar o risco de reativação dessas falhas e, por isso, os critérios de falha de Mohr-Coulomb são frequentemente utilizados para tal objetivo.

Visto que a reativação de falhas pode acarretar sérios problemas, com consequências econômicas e ecológicas, as companhias do setor petrolífero têm investido em modelagens Geomecânicas 3D e 4D para garantir a integridade dos seus reservatórios, fazendo-se necessário, ao engenheiro de petróleo que almeje trabalhar em tais companhias, o bom entendimento de mecânica das rochas.

2.1.3 Estabilidade de poços

Nauroy (2011) enfatiza as aplicações da Geomecânica em diversas operações na indústria de petróleo e destaca como a Geomecânica pode otimizar a perfuração de poços. De acordo com este autor “alcançar máxima eficiência em condições normais e resolver problemas sob condições excepcionais que podem eventualmente danificar a broca, em particular” são as duas principais preocupações que drillers, profissionais responsáveis pela perfuração, têm em seus projetos.

Na perfuração, a trajetória dos poços está relacionada com a estabilidade mecânica da formação. No projeto de perfuração, a trajetória do poço é determinada pelo regime de deformação a que um determinado reservatório está submetido. Por exemplo, quando um campo está submetido a um regime de deformação extensional, que propicia o desenvolvimento de falhas normais, a direção mais estável para a perfuração é na direção da tensão horizontal mínima, pois, nesta direção, as tensões atuantes na parede do poço terão uma menor tensão diferencial, o que resulta em menor possibilidade de colapso provocado por fraturas geradas por cisalhamento.

Cheatham Jr. (1984) estudou a importância de se manter a estabilidade de poços durante a perfuração, destacando causas de instabilidades, tais como: presença de água nos folhelhos, a pressão no poço maior que a pressão de fratura ou menor que a pressão de colapso. Este aspecto é importante tendo em vista que, quando a rocha é removida durante a perfuração, tensões passam a atuar na parede do poço tendendo a restabelecer um novo equilíbrio, causando então desmoronamentos se não for utilizado fluido de perfuração com peso adequado para conter o colapso da rocha.

Um apropriado entendimento do estado de tensão em subsuperfície torna-se extremamente necessário e permite ao engenheiro de petróleo estimar ou calcular

parâmetros estáveis para um projeto de perfuração.

2.1.4 Análise de Permeabilidade

A permeabilidade é definida por Thomas (2004) como “a medida da capacidade de uma rocha permitir o fluxo de fluidos”. Para que a extração de hidrocarbonetos exista, é preciso que a rocha permita o fluxo de fluidos através delas. A permeabilidade foi equacionada por Henry Darcy no início dos anos 1800, que constatou que a permeabilidade é diretamente proporcional à vazão. Ou seja, quanto mais permeável a formação, maior será o fluxo de hidrocarbonetos e conseqüentemente, maior a produção.

Por essa razão, a permeabilidade é um dos fatores que mais influenciam na produção de hidrocarbonetos. Assim, um estudo desse parâmetro é essencial para a viabilização da exploração de determinado campo de petróleo. Existem inúmeras correlações para o estudo da permeabilidade, porém, poucos projetos consideram sua variação pela mudança dos estados de tensão e deformação da rocha matriz. Para uma análise completa da porosidade e da permeabilidade absoluta, alguns efeitos geomecânicos como a compactação e estresses horizontais devem ser levados em conta.

Modelos de reservatórios que utilizam de métodos numéricos como ferramenta de simulação atualizam a permeabilidade da formação de acordo com os estresses e deformações sofridos pela rocha, assim como a variação da pressão de poro.

2.1.5 Simulação de Reservatórios

O comportamento de um reservatório depende tanto das propriedades do fluido quanto do meio poroso ali presente (SARAIVA,2010). Deformações rochosas causadas por tensões e deformações realizadas pelas camadas superiores à zona de interesse podem afetar diversos parâmetros, como a porosidade, permeabilidade, pressão de poro, e a compressibilidade do reservatório, influenciando o escoamento de fluidos.

A simulação de reservatórios utiliza softwares que tentam prever características do comportamento do fluxo multifásico de fluidos através de meios porosos. Entretanto, a maioria desses programas negligencia ou simplifica os parâmetros geomecânicos fundamentais que podem afetar a produtividade do reservatório, tendo como único padrão a compressibilidade dos poros.

Contudo, somente esse padrão não é suficiente para determinar o comportamento do reservatório. Outros comportamentos como mudança nas tensões e pressão de poros devido a forças ativas por camadas superiores devem ser considerados nas simulações. A interação da Geomecânica com a simulação de reservatórios vem crescendo muito na última década, principalmente em casos de óleos pesados, fraturamento hidráulico e reservatórios compactados. Isso ocorre porque o estudo da relação entre a extração de fluido e a deformabilidade do reservatório traz uma visão mais abrangente dos fenômenos

físicos que ocorrem em reservatórios deformáveis.

Na simulação do reservatório, a Geomecânica se faz presente gerando uma estimativa acurada da magnitude e orientação do campo de tensões, essenciais durante a produção e abandono de um poço.

2.1.6 Estimulação de Poços

A estimulação de poços é caracterizada por uma série de técnicas que têm como principal objetivo maximizar a produção de um poço (ZHANG et al, 2009), aumentando a produtividade da formação pela criação de canais condutivos ou correção de danos causados durante a perfuração e completação.

Um dos métodos mais utilizados atualmente em reservatórios de baixa permeabilidade é o fraturamento hidráulico. Esse método consiste na injeção de um fluido fraturante com pressão acima da pressão de fratura, juntamente com um agente de sustentação, ou propante, que mantém a fratura aberta, sendo que o processo de abertura da fratura depende de parâmetros mecânicos da formação. O projeto, ou design, de um fraturamento hidráulico deve ser antecedido por um estudo geomecânico prévio, para evitar perda de controle do fraturamento, além de eventuais danos e efeitos negativos ao reservatório.

2.1.7 Métodos de Recuperação de Hidrocarbonetos e Enhanced Oil Recovery (EOR)

A injeção de fluidos em reservatórios para aumentar o fator de recuperação, quando se usam métodos de recuperação secundária e EOR, pode alterar o estado de tensão in situ e levar à reativação de falhas. Isso ocorre porque a injeção de fluidos altera a pressão de poros que está relacionada às tensões efetivas e alteração das tensões diferenciais. O uso de critérios de falha, como o de Mohr-Coulomb, mostra a iminência do risco de reativação de falhas.

Pereira et al (2010) constataram reativações de falhas provocadas pela injeção de fluidos para a recuperação de petróleo em reservatórios. De fato, para que se considere a adoção de métodos secundários de recuperação de petróleo, são necessárias diversas modelagens para se avaliar a viabilidade econômica de continuar a produção. Os métodos mais avançados de recuperação requerem uma análise mais detalhada do comportamento mecânico da região.

2.2 Universidades brasileiras que oferecem Geomecânica

Segundo Pizzol (2014), a Geomecânica ficou por décadas sendo negligenciada ou dada pouca importância.

Apesar da Mecânica das Rochas ser de extrema importância em muitas áreas da indústria de petróleo, tais como perfuração, produção e engenharia de reservatório, esta

área ainda é vista como um campo complexo e restrito a alguns profissionais. Por isso, o curso de Geomecânica ainda não está incluso em muitos cursos de Engenharia de Petróleo do Brasil.

Um mapeamento com trinta e seis universidades que oferecem o curso de Engenharia de Petróleo foi realizado, mas apenas vinte e sete disponibilizavam a matriz curricular em sua página institucional. Dentre as que apresentavam matriz curricular, foi realizado um mapeamento de disciplinas que envolviam Geomecânica, muitas vezes nomeada mecânica das rochas. A análise dos resultados é discutida na seção 3 desse trabalho.

Utilizando-se da ferramenta de pesquisa online, o SurveyMonkey, foi possível reunir respostas de profissionais que atuam como engenheiros de petróleo na indústria e também no meio acadêmico.

Seis perguntas foram elaboradas com o objetivo de verificar o que tais engenheiros entendem acerca da disciplina e se os mesmos já a estudaram, ou utilizaram ou utilizam Geomecânica aplicada em suas respectivas áreas de atuação. Vinte e cinco engenheiros de petróleo de sete universidades responderam o questionário dentre as quais Universidade Federal Fluminense e Universidade Federal do Rio de Janeiro tiveram maior participação com 19 formulários completos. Tais resultados serão discutidos na seção 3 desse trabalho.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise das Universidades Brasileiras que Oferecem Geomecânica

Dentre as trinta e seis universidades analisadas, apenas vinte e sete disponibilizavam a matriz curricular em seu site.

Os Gráficos 1 e 2 apresentam os resultados das grades curriculares estudadas. Do espaço amostral de vinte e sete instituições, apenas nove oferecem a disciplina específica de mecânica das rochas e/ou Geomecânica. Além disso, oito instituições não oferecem nenhuma disciplina diretamente relacionada à Geomecânica, como, por exemplo, geologia estrutural, métodos geofísicos ou métodos não sísmicos de exploração. Em outras palavras, mais da metade dos cursos de Engenharia de Petróleo não disponibilizam a disciplina e cerca de 30% das instituições sequer apresentam disciplinas que envolvem a área de maneira direta.

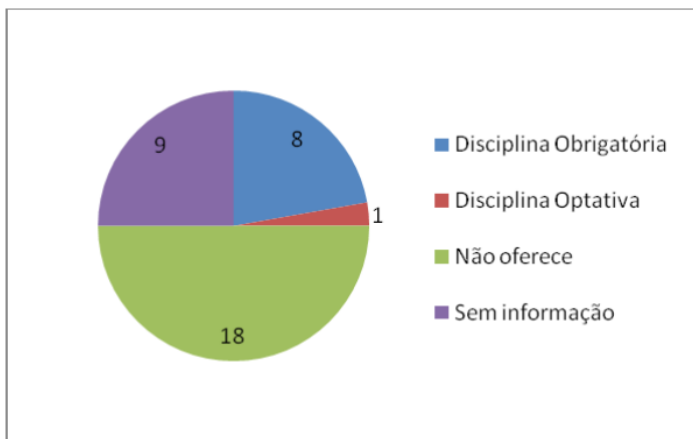


Gráfico 1 – Cursos de Engenharia de Petróleo que oferecem a disciplina de Geomecânica ou Mecânica das Rochas.

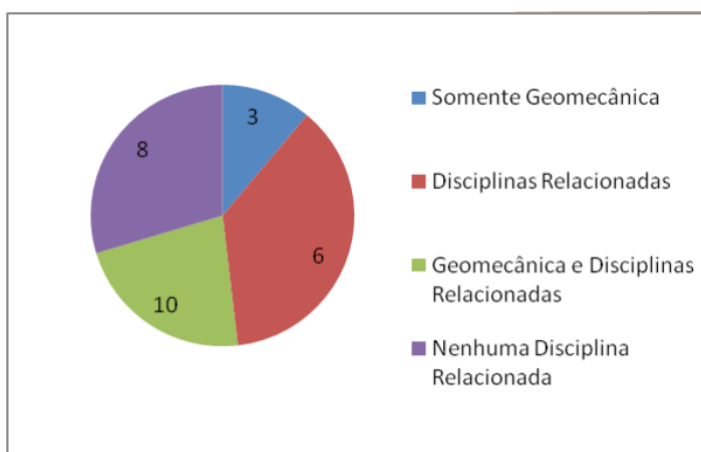


Gráfico 2 – Cursos de Engenharia de Petróleo que oferecem Disciplinas Relacionadas a Geomecânica.

3.2 Análise da opinião dos engenheiros em relação à relevância da Geomecânica

As perguntas elaboradas e disponibilizadas online no SurveyMonkey e respondidas completamente por 19 pessoas, foram: Você sabe o que é Geomecânica? Você já estudou Geomecânica, Geologia Estrutural ou Mecânica das Rochas na faculdade? Qual sua área de atuação na indústria de Petróleo? Você já utilizou ou utiliza Geomecânica em sua área de atuação/trabalho? Você acredita que o estudo de Geomecânica aplicado a Engenharia de Petróleo seja importante?

Nessa pesquisa, 92% das pessoas afirmaram saber o que é Geomecânica. Possivelmente, os dois engenheiros que não sabem do que se tratava essa disciplina tenham estudado em universidades em que a matriz curricular inicial não tenha favorecido

o ensino de Geociências, e podem também hoje atuar em áreas que não exigem tal conhecimento aprofundado.

Segundo o Gráfico 3, apenas 40% dos engenheiros de petróleo não estudaram Geomecânica, geologia estrutural ou mecânica das rochas na faculdade, mas, ao se relacionar a segunda pergunta à primeira, a maioria sabe do que se trata devido a conhecimento posterior, seja no mundo do trabalho, seja em estudos específicos pós-universitários.

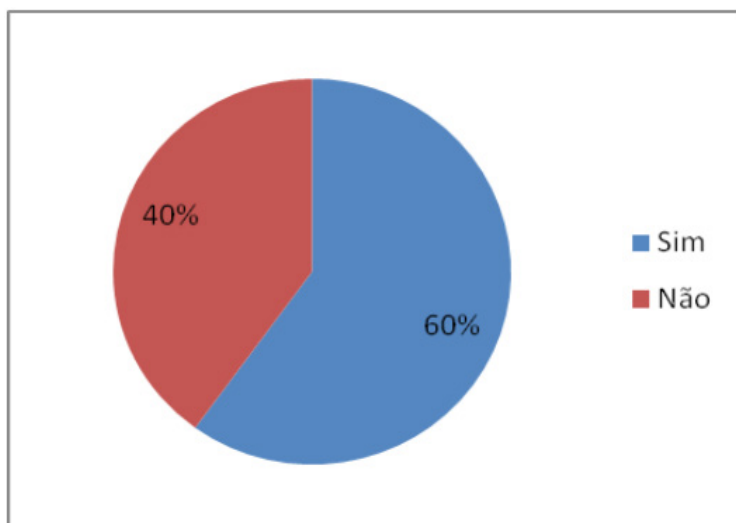


Gráfico 3 – Engenheiros que estudaram Geomecânica, mecânica das rochas ou geologia estrutural na faculdade.

As 3 principais áreas de atuação dos engenheiros que responderam a essa pesquisa Survey são i. Ensino e Pesquisa (28.57%); ii. Operações/Produção de Petróleo (23.81%), e iii. Dinâmica e Descrição de Reservatórios (19.05%). As outras duas áreas para as quais havia opção de resposta, “Perfuração e Completação” e “Planejamentos e Projetos”, tiveram poucos respondentes, o que pode estar relacionado, por exemplo, à situação de constrangimento e restrições de investimentos pela qual, atualmente, passa a indústria de petróleo, reflexo da recessão econômica do país.

Ademais, com baixos preços do petróleo no cenário internacional, tornam-se inviáveis investimentos em novos projetos de pesquisa e exploração. Sendo assim, muitos profissionais tiveram que voltar às universidades e academias devido à queda na taxa de empregabilidade, o que explica o alto número de profissionais atuando em Ensino e Pesquisa, em especial em projetos associados a cursos de mestrado e doutorado.

Quando foi perguntado se tais profissionais já utilizaram de Geomecânica em suas respectivas áreas de atuação, 6 em cada 10 engenheiros de petróleo responderam que

sim, isto é, utilizam definições e aplicações dessa disciplina em seu cotidiano de trabalho, o que mostra que a quantidade de aplicações da Geomecânica é, portanto, vasta para a indústria petrolífera.

Por fim, a última pergunta da pesquisa survey indagou se o estudo de Geomecânica é importante ou não para engenharia de Petróleo (Gráfico 4).

De acordo com o Gráfico 4, 92% dos engenheiros responderam positivamente a esta questão. Dois engenheiros responderam não à pergunta. Esta situação mostra a coerência entre perguntas e respostas, pois, na primeira questão, dois engenheiros responderam não à pergunta “Você sabe o que é Geomecânica?”, o mesmo número de respostas negativas à pergunta “Você acredita que o estudo de Geomecânica aplicado a Engenharia de Petróleo seja importante?”

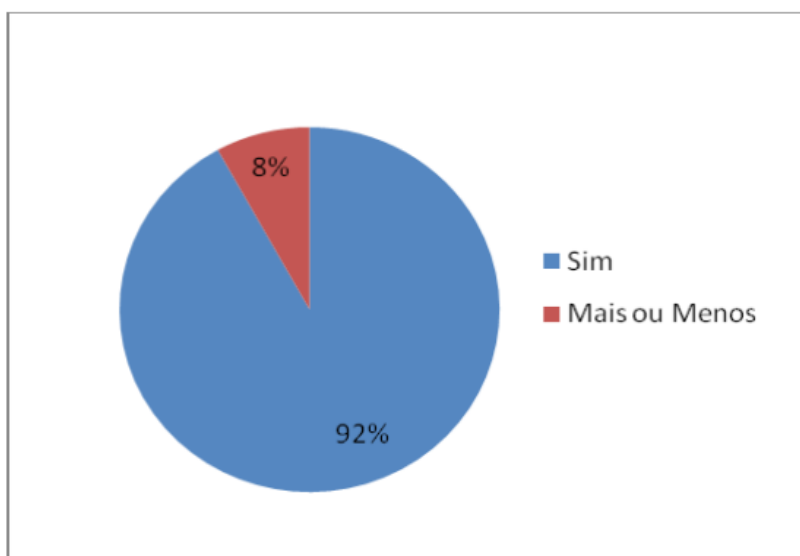


Gráfico 4 – Engenheiros que acham importante o estudo de Geomecânica

4 | CONCLUSÕES

A exploração de hidrocarbonetos envolve um estudo integrado de diversas disciplinas e não se pode negar a necessidade de boa comunicação entre os profissionais que trabalham em um mesmo projeto. A Geomecânica tem potencial para propiciar esta integração, permitindo aglutinar os conhecimentos da engenharia aos conhecimentos teóricos e práticos de geólogos e geofísicos, a fim de facilitar os estudos nas etapas de exploração e produção de petróleo. Verificou-se neste artigo que as principais áreas de atuação do engenheiro de petróleo estão atreladas ao estudo de Geomecânica, tornando o ensino dessa disciplina crucial à formação acadêmica deste engenheiro. Essa ideia

também se destacou na opinião dos profissionais atuantes no mercado de óleo e gás acerca do tema.

Diversas universidades com o curso de Engenharia de Petróleo têm entendido que há uma necessidade de se aprimorar o ensino nessa área, incluindo tal matéria em suas grades curriculares, mas na maioria das vezes é dada apenas como uma opção ao aluno.

A Geomecânica deveria ser uma disciplina base para a formação do Engenheiro de Petróleo, assim como cálculo, física, geologia e outras disciplinas.

A inclusão desse campo de conhecimento como uma disciplina específica não só aumenta a perspectiva de atuação do aluno em relação a diversas áreas citadas neste trabalho, como também facilita o entendimento de diversos fenômenos desde a simulação de reservatório até a produção de hidrocarbonetos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à equipe do Grupo PetroPET – Grupo Institucional de Educação Tutorial em Engenharia de Petróleo pela convivência, apoio e aprendizado coletivo, que muito contribuem em nosso desenvolvimento acadêmico, profissional e científico.

E à Universidade Federal Fluminense, pelo apoio financeiro à realização das atividades do Grupo PetroPET.

REFERÊNCIAS

ALLEN, P. A. & ALLEN, J. R. **Basin Analysis: Principles and Application to Petroleum Play Assessment**. Wiley-Blackwell, 2013.

BRITO, S. N. A.; CELLA, P. R. C.; FIGUEIREDO, R. P. **Importância da Geologia de Engenharia e Geomecânica na Mineração**. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 1 (Edição Especial), p. 123-140, 2011.

CABRAL, C. P.; JUNIOR, E. T. L.; CAVALCANTE, E. P. A.; OLIVEIRA, F. C.; PIMENTEL, V. A. K.; LYRA, R. T. **Um Panorama dos Cursos de Engenharia de Petróleo no Brasil**. Disponível em <http://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/7/artigos/104386.pdf>. Acesso em 09 novembro de 2022.

CHEATHAM, J. B. (1984, June 1). **Wellbore Stability**. Society of Petroleum Engineers, 1984. doi:10.2118/13340-PA.

ESPINDOLA, F. E. M. **Análise Geomecânica na Perfuração e Cimentação de Poços de Petróleo em Zonas de Sal**. 2011. Dissertação de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Rio de Janeiro - RJ.

NAUROY, J. F. **Geomechanics Applied to the Petroleum Industry**. Editions Technip, 2011.

OSORIO, J. G. HER-YUAN, C. TEUFEL, L. W. **Numerical Simulation of the Impact of Flow-Induced Geomechanical Response on the Productivity of Stress-Sensitive Reservoirs**. SPE Reservoir Simulation Symposium, 1999.

PENDLETON, L. E. **Horizontal Drilling Review**. Archie Conference on Reservoir Definition and Description, 1991.

PEREIRA, L. C., COSTA, A. M., SOUSA, L. C., AMARAL, C. S., SOUZA, A. L. S., FALCAO, F. O. L., OLIVEIRA, M. F. **Specialist Program For Injection Pressure Limits Considering Fault Reactivation Criteria**. American Rock Mechanics Association, 2010.

PIZZOL, D. A. **Uma metodologia unificada empregando o método dos volumes finitos para a solução acoplada do escoamento e da Geomecânica em meios porosos**. 2014. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Florianópolis - SC.

REIS, A. F. **Orientação e Magnitude de Tensões na Bacia Potiguar: Implicações para Evolução de Bacias em Margens Passivas**. 2012. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica . Natal - RN.

SARAIVA, T. C. **Efeitos Geomecânicos na Simulação de Reservatórios Carbonáticos**. 2010. Projeto de Graduação do Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica. Rio de Janeiro - RJ.

SOROUSH, H. **Discover a Career in Geomechanics**. Society of Petroleum Engineers, 2013. doi:10.2118/0313-015-TWA.

ZHANG, J., LANG, J., STANDIFIRD, W. **Stress, Porosity, and failure-dependent compressional and shear velocity ratio and its application to wellbore stability**. Journal of Petroleum Science and Engineering, p.193-202, 2009.

A

Acessibilidade arquitetônica 87

Aço ferramenta 121, 124, 128, 129

Análise avançada 77, 84, 85

Artificial intelligence 57, 58, 59, 60, 65, 66, 68, 73, 74, 76

Autonomous vehicle 58, 59

Avaliação pós ocupação 87

B

Borra oleosa 39, 40, 41, 42, 46, 47, 53

C

Chuvas 98

Cinza de casca de arroz 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168

CO₂ emissions 169, 172, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 183, 185, 188, 189, 190, 191, 194, 195, 196, 197

Competitividade 2, 141, 142, 150, 198

Cristobalita 161, 165, 167

D

Desafios 38, 141, 142, 143, 146, 147, 148, 151, 156, 158, 159, 204, 205

Desenvolvimento 2, 6, 7, 20, 30, 31, 37, 39, 43, 54, 87, 88, 95, 105, 120, 141, 142, 145, 147, 148, 159, 167, 198, 205, 206, 213

E

Eixo de menor inércia 77, 79, 81, 83, 84, 85

Electric vehicle 169, 171, 179, 200, 201

Empresa 1, 2, 39, 41, 46, 47, 48, 52, 53, 109, 123, 141, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 201

Energy consumption 169, 170, 174, 181, 182, 185, 188, 189, 190, 191, 192, 195

Engenharia 6, 8, 9, 12, 13, 20, 21, 22, 24, 29, 30, 31, 38, 54, 57, 85, 86, 87, 96, 106, 118, 119, 120, 121, 130, 132, 141, 142, 143, 144, 146, 157, 164, 168, 203, 204, 205, 208, 209, 210, 212, 213, 214, 215, 219, 224, 225

Engenharia de Petróleo 203, 204, 205, 209, 210, 212, 213, 214

Ensino em engenharia 30

Envoltória curva 97, 98, 104

Equações diferenciais ordinárias 30

Ergonomia 87, 88, 90, 91, 93, 95, 96

Escorregamentos 97, 98, 99, 100

Extração de fitoquímicos 133

F

Fator de segurança 12, 97, 98, 99, 102, 105

Fibra natural 108, 110

Fissuras 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224

G

Geomecânica 101, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214

Gesso de fundição 107, 108, 110, 113, 115, 117

Gestão 1, 2, 3, 4, 38, 86, 119, 120, 141, 144, 146, 147, 148, 151, 152, 155, 156, 157, 158, 159

I

Impacto 14, 15, 17, 49, 121, 122, 123, 127, 128, 129, 141, 142, 150

Índice de confiabilidade 5, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 26, 27, 79, 80, 84

Interdisciplinaridade 30, 37, 38

M

Macrometrópole Paulista 169, 172, 176, 197, 199

Matriz curricular 203, 209, 210

Mecânica das rochas 203, 204, 206, 208, 209, 210, 211

Método AHP 39, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 53, 54

Método Monte Carlo 5, 10

Modos de falha 5, 8, 18

P

Patologias 215, 216, 217, 218, 219, 223, 224

Polifenóis 133, 134, 136, 138, 139

Pórtico de aço 77

Precision agriculture 58, 65

Probabilidade de falha 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 77, 79, 80, 83, 84

Processos empresariais 1

Q

Qualidade 1, 2, 3, 4, 86, 87, 88, 89, 93, 95, 96, 122, 133, 134, 139, 144, 146, 148, 152, 154, 161, 162, 167, 218

R

Resíduos sólidos 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 53, 54, 55, 120

Resistência dos materiais 8, 9, 30, 31, 38

Resistência mecânica 108, 116, 117

S

SiO₂ 161, 165, 166, 167

Superfície de estado limite 5, 7

T

Tecnologias para o tratamento de borra oleosa 39

Tenacidade 121, 122, 128, 130

TENAX 300IM 121, 122, 123, 124, 125, 126, 128, 129

U

Unmanned aerial vehicle 58

Urban transport 169, 170, 198

ENGENHARIAS:

Pesquisa, desenvolvimento e inovação 3



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

ENGENHARIA- RIAS:

Pesquisa, desenvolvimento
e inovação 3



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