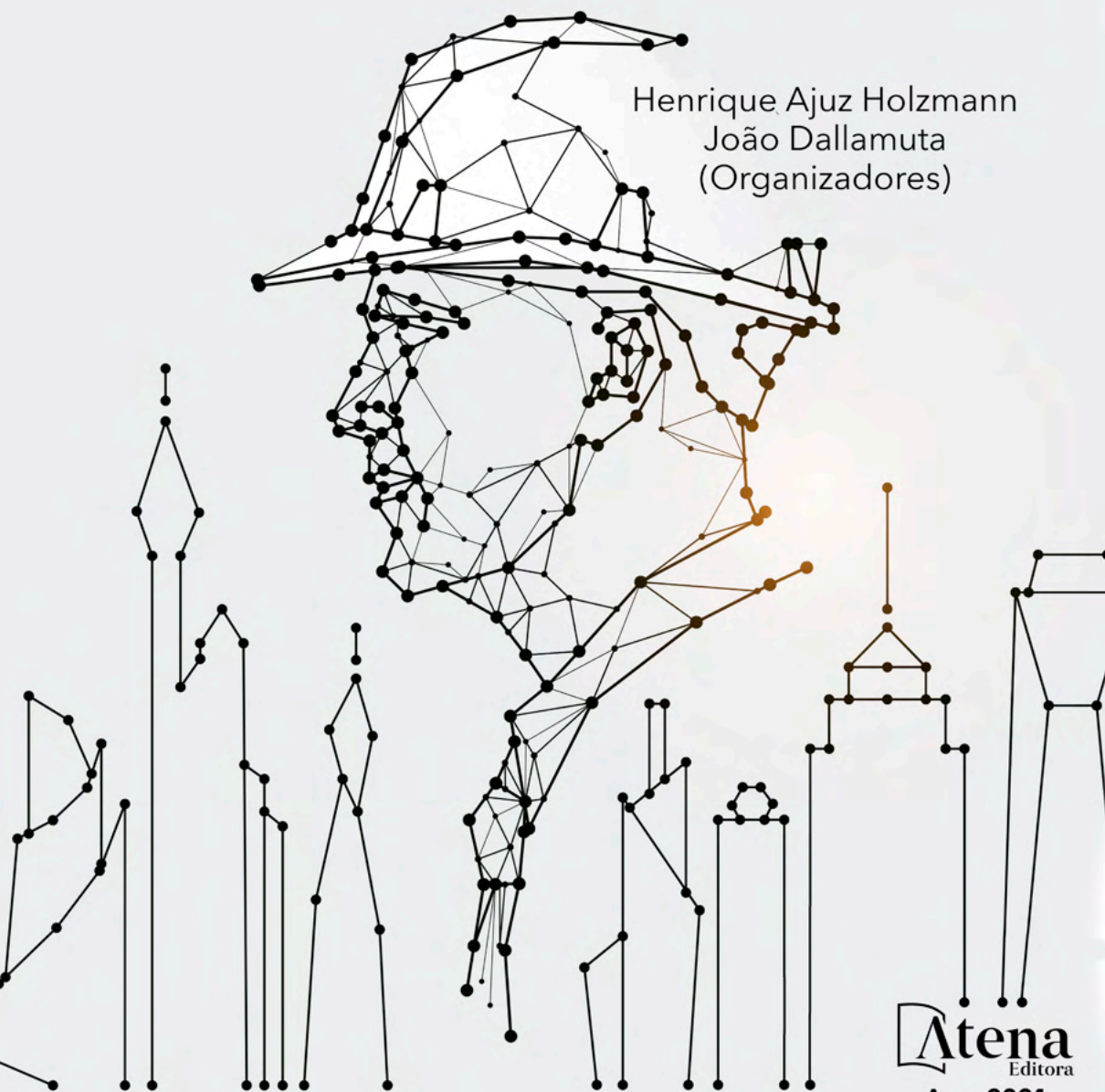


# Engenharias:

da genialidade à profissão e  
seu desenvolvimento

# 2

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)



**Atena**  
Editora

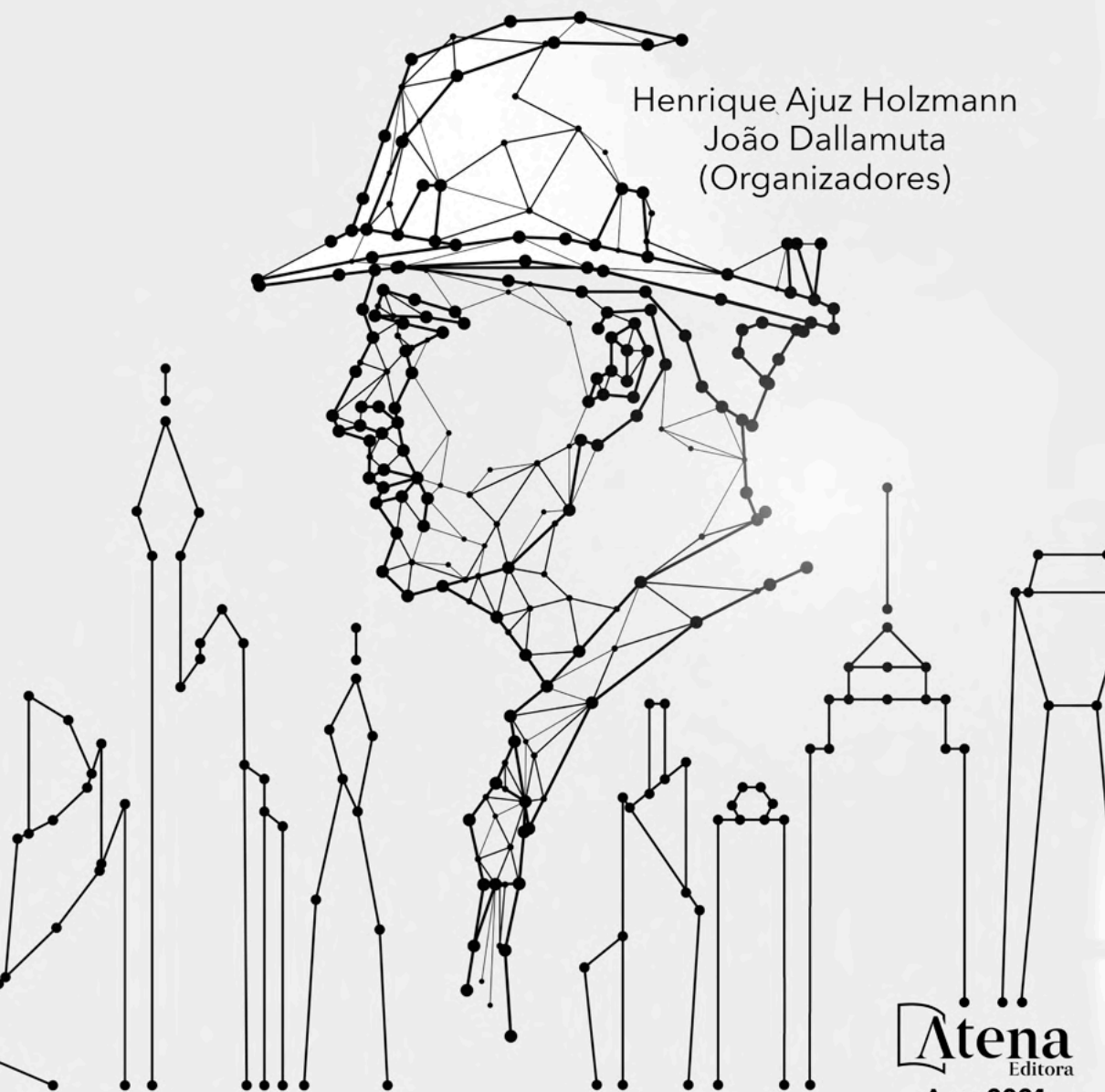
Ano 2021

# Engenharias:

da genialidade à profissão e  
seu desenvolvimento

# 2

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)



**Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

**Conselho Editorial**

**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

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

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

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

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

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

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

## Engenharias: da genialidade à profissão e seu desenvolvimento 2

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Bruno Oliveira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

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

E57 Engenharia: da genialidade à profissão e seu desenvolvimento 2 / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-5983-624-6  
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.246211811>

1. Engenharia. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. 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

## 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

O ramo das engenharias veem ganhando cada vez mais espaço no decorrer dos anos, sendo hoje um dos principais pilares para o setor empresarial. Analisar os campos de atuação, bem como pontos de inserção e melhoria dessa desta área é de grande importância, buscando desenvolver novos métodos e ferramentas para melhoria continua de processos.

Desta forma estudar temas relacionados a engenharia é de grande importância, pois desta maneira pode-se aprimorar os conceitos e aplicar os mesmos de maneira mais eficaz. O aumento no interesse se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral. Além disso a busca pela otimização no desenvolvimento de projetos, leva cada vez mais a simulação de processos, buscando uma redução de custos e de tempo.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de engenharia, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta



## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

ANÁLISE MODAL E REPRESENTAÇÃO MUSICAL APLICADAS AO DESIGN DE ESTÚDIOS DE PRODUÇÃO FONOGRÁFICA

José Augusto Mannis

Tiago Ferreira Mattos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118111>


### **CAPÍTULO 2..... 33**

A REVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 E OS PASSOS PARA SUA APLICAÇÃO NA MINERAÇÃO

Rafaela Baldi

Karina Livia Ribeiro Vieira


Mariana Ivo Machado Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118112>

### **CAPÍTULO 3..... 44**

CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DAS ROCHAS ENCAIXANTES DA CAMADA DE CARVÃO BARRO BRANCO DA BACIA CARBONÍFERA SUL-CATARINENSE

Clovis Gonzatti

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118113>

### **CAPÍTULO 4..... 73**

REAPROVEITAMENTO DE FINOS DE PEDREIRAS: A UTILIZAÇÃO DO PÓ DE ROCHA COMO REMINERALIZADOR DE SOLO

Ana Olivia Barufi Franco-Magalhães

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118114>

### **CAPÍTULO 5..... 80**

BIODIGESTÃO DE POME COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA E AMBIENTAL EM PLANTA DE PRODUÇÃO DE ÓLEO DE PALMA

Daniel Dominguez Carvajal


Ana Marcela Mosquera Mena

John Alejandro Ruiz

Francisco José Molina Pérez

Carlos Alberto Peláez Jaramillo

Mariana Peñuela Vásquez


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118115>

### **CAPÍTULO 6..... 88**

AULA PRÁTICA DE MONTAGEM DE UMA UNIDADE SANITÁRIA DE PLÁSTICO RECICLADO RELATO DE EXPERIÊNCIA

Maria Aridenise Macena Fontenelle


Thaís Russiely Guedes Martins

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118116>

**CAPÍTULO 7..... 98**

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA LAGOA DO COLOSSO, MUNICÍPIO DE FORTALEZA, CEARÁ: CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO INSTITUTO FEDERAL DO CEARÁ - IFCE

Georgia Kelly Terto Galvao

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118117>


**CAPÍTULO 8..... 104**

MEASUREMENTS OF GAMMA, NEUTRONS, RAINFALLS, AND POSSIBLE CORRELATIONS IN TROPICAL REGION OF BRAZIL

Inacio Malmonge Martin

Mauro Angelo Alves

Marcelo Pêgo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118118>


**CAPÍTULO 9..... 111**

APLICAÇÃO DO DESACOPLAMENTO ENTRE MALHAS DE CONTROLE EM REATOR CONTÍNUO DE TANQUE AGITADO (CSTR)

Mário Luiz Pereira Souza

Emilly Damiani Nunes Prates

Saulo Fernando dos Santos Vidal

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118119>

**CAPÍTULO 10..... 126**

GESTÃO DE FADIGA DE OPERADORES DE CAMINHÕES FORA DE ESTRADA: ESTUDO DE CASO EM UMA MINA A CÉU ABERTO

Pedro Henrique Evangelista Porto

Samuel Lourival Diamantino

Leandro Geraldo Canaan Silveira

Eduardo Augusto Malta

Juliano Alves dos Reis

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.24621181110>

**CAPÍTULO 11..... 136**


CHARACTERISTICS OF Pb<sup>2+</sup> DOPED CsI MATRIX UNDER GAMMA AND NEUTRON EXCITATIONS

Maria da Conceição Costa Pereira

Tufic Madi Filho

José Roberto Berretta

Lucas Faustino Tomaz



 <https://doi.org/10.22533/at.ed.24621181111>

**CAPÍTULO 12..... 148**

OTIMIZAÇÃO DO SABOR DE UMA BEBIDA UTILIZANDO O MÉTODO DE TAGUCHI

Matheus Sousa Garreto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.24621181112>

<b>CAPÍTULO 13.....</b>	<b>161</b>
INTERLIGANDO O CICLISMO	
Alexandre Passos Pagin	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.24621181113">https://doi.org/10.22533/at.ed.24621181113</a>	
<b>CAPÍTULO 14.....</b>	<b>165</b>
PERCEÇÃO DOS EGRESSOS SOBRE A QUALIDADE DOS CURSOS DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE – UPM	
Leila Figueiredo de Miranda	
Terezinha Jocelen Masson	
Antonio Hortêncio Munhoz Jr.	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.24621181114">https://doi.org/10.22533/at.ed.24621181114</a>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES .....</b>	<b>178</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>179</b>

## CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DAS ROCHAS ENCAIXANTES DA CAMADA DE CARVÃO BARRO BRANCO DA BACIA CARBONÍFERA SUL-CATARINENSE

*Data de aceite: 01/11/2021*

*Data de submissão: 06/09/2021*

**Clovis Gonzatti**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul -  
Departamento de Mineralogia e Petrologia  
Porto Alegre - RS  
<http://lattes.cnpq.br/4260816561352384>

**RESUMO:** Embora as maiores reservas de carvão do Brasil estejam situadas no Estado do Rio Grande do Sul, a Bacia Carbonífera Sul-Catarinense, localizada no Estado de Santa Catarina, concentra o maior número de minas de carvão em subsolo do País. O conhecimento das características mecânicas das rochas que compõem a camada de carvão e as camadas encaixantes é de fundamental importância para o dimensionamento das estruturas de sustentação das minas (pilares) e suporte do teto das escavações. Este trabalho reporta os estudos realizados pela CIENTEC - Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do RS sobre rochas sedimentares presentes nas camadas encaixantes da camada de carvão Barro Branco. Os trabalhos de campo consistiram na execução de sondagens rotativas com diâmetro NX utilizando amostrador duplo-móvel. Em laboratório foram realizadas análises petrográficas macrosocópicas, ensaios para a determinação dos índices físicos e ensaios mecânicos para a determinação da resistência e deformabilidade dos diferentes litotipos. Os

resultados permitiram a caracterização das rochas encaixantes da camada de carvão Barro Branco através da definição de padrões típicos de resistência. Esses padrões são usados para a análise da capacidade de carga das rochas encaixantes no processo de dimensionamento dos pilares de sustentação das escavações subterrâneas, quando utilizado o método de lavra por câmaras e pilares.

**PALAVRAS-CHAVE:** Formação Rio Bonito, carvão Barro Branco, ensaios de laboratório, caracterização geomecânica.

### GEOTECHNICAL FEATURES OF THE HOST ROCKS OF BARRO BRANCO COAL SEAM OF THE SOUTH CATARINENSE COALFIELD

**ABSTRACT:** Although the largest coal reserves in Brazil are located in the state of Rio Grande do Sul, the South-Catarinense Coalfield located in the state of Santa Catarina concentrates the largest number of coal underground mines in the country. This paper report studies conducted by CIENTEC - Fundação de Ciência e Tecnologia of the RS State on sedimentary rocks present in the enclosing layers of the Barro Branco coal seam. The samples were collected through vertical boring, using a double tube core barrel (NX diameter). The cylindrical samples were submitted to macroscopic petrographic analysis, physical and mechanical laboratory tests to determine the strength and deformability of different rock materials. The results allowed the characterization of the different sedimentary rock types enclosing the Barro Branco coal seam. These resistance patterns are used for the

analysis of the carrying capacity of the host rocks and design of the underground excavation pillars, when the room and pillar mining method is used.

**KEYWORDS:** Rio Bonito Formation, Barro Branco coal seam, laboratory tests, geomechanical characterization.

## 1 | INTRODUÇÃO

Poucos estudos geomecânicos são conhecidos sobre as rochas sedimentares do Sul do Brasil, especialmente sobre as rochas do pacote sedimentar encaixante das camadas de carvão. Normalmente os estudos existentes estão associados a materiais presentes em projetos de engenharia civil (DOBEREINER, 1987; DUARTE et al., 2010). No que tange às rochas encaixantes das camadas de carvão, destaque especial deve ser dado aos trabalhos realizados pelo IPT (1987), sobre amostras de arenitos laminados, siltitos e siltitos laminados do estado de Santa Catarina, e estudos detalhados realizados por ZORZI et al. (1989) com mais de uma centena de amostras de siltitos, arenitos, marga e pedra areia das Formações Palermo e Rio Bonito presentes na Bacia Carbonífera Santa Terezinha, no Estado do Rio Grande do Sul.

A partir do início da década de 1990, a CIENTEC - Fundação de Ciência e Tecnologia desenvolveu estudos detalhados em laboratório para a caracterização geomecânica dos materiais presentes nas camadas encaixantes das principais camadas de carvão no Sul do Brasil (ZORZI, 1990; 1996). Na Bacia Carbonífera Sul-Catarinense esse trabalho iniciou com as rochas encaixantes da camada Barro Branco, a principal camada de carvão minerada em subsolo, seguindo-se depois nas encaixantes das camadas de carvão Irapuá e Bonito, nessa mesma bacia. O objetivo dos ensaios em laboratório foi definir o comportamento mecânico das rochas encaixantes do teto e piso imediatos da camada de carvão.

Na mineração de carvão em subsolo no Brasil, a geometria das galerias consiste em aberturas com 5,5 a 6m de largura e altura correspondente a espessura minerada da camada de carvão, da ordem de 1,8 a 2,3m. Dentro desse contexto, os primeiros 5m acima e abaixo da camada de carvão constituem a parcela do maciço rochoso que sofre a maior redistribuição das tensões induzidas em função da escavação. O principal sistema de suporte das galerias é o de parafusos de teto (*roof bolting*). Nesse sistema, os mecanismos mais utilizados são o de efeito suspensão (*suspension effect*) e o de efeito viga (*friction or beam-building effect*) (PENG, 1986). Conhecer as características mecânicas e a distribuição espacial dos diferentes litotipos presentes na encaixante do teto é de fundamental importância para o projeto do sistema de suporte das galerias.

De outra parte, quando tratamos do dimensionamento dos pilares de carvão, não deve ser esquecido o papel desempenhado pelas rochas encaixantes, como fundação responsável pelo suporte das cargas transmitidas pelos pilares. O método de dimensionamento de pilares de carvão recomendado pelo DNPM - Departamento Nacional

da Produção Mineral atual ANM - Agência Nacional de Mineração, contempla, na sua concepção, a análise da capacidade de carga das rochas encaixantes (ZORZI et al. 1991). Portanto, conhecer esse atributo das rochas encaixantes, em especial, do piso é condição básica para o projeto dos pilares das minas de carvão brasileiras.

Neste capítulo, são apresentados os procedimentos adotados para a caracterização geomecânica das rochas encaixantes da camada de carvão Barro Branco, minerada na bacia Carbonífera Sul-Catarinense, no Sul do Brasil. Os procedimentos adotados *in situ* para a coleta de amostras, as técnicas de preparação das amostras e os procedimentos utilizados para a execução dos ensaios de caracterização física e mecânica, em laboratório, são detalhadas. Os resultados obtidos foram tratados estatisticamente e permitiram a tipificação das principais litologias presentes na Bacia Carbonífera. Essas informações servem de base para o projeto do sistema de suporte do teto e cálculo da capacidade de carga das rochas encaixantes do piso da camada de carvão Barro Branco.

## 2 | GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

Geograficamente, todos os locais investigados estão localizados dentro da Bacia Carbonífera Sul-Catarinense, a qual é parte da porção Leste da bacia do Paraná, conforme Figura 1, e se estende por vários Estados do Brasil. Os depósitos sedimentares mais antigos pertencem ao período Devoniano. A evolução da bacia possui características intracratônicas. Dentro da sequência estratigráfica, as litologias carbonosas estão associadas ao Grupo Itararé (basal) e Guatá, com idades do Carbonífero Superior e Permiano Superior. Porém, no Grupo Guatá estão localizadas as camadas de carvão mais espessas, de melhor qualidade e em exploração. Dentre as sete principais camadas, três possuem maior expressão econômica: Barro Branco, Irapuá e Bonito distribuídas na coluna estratigráfica como visto na Figura 2.

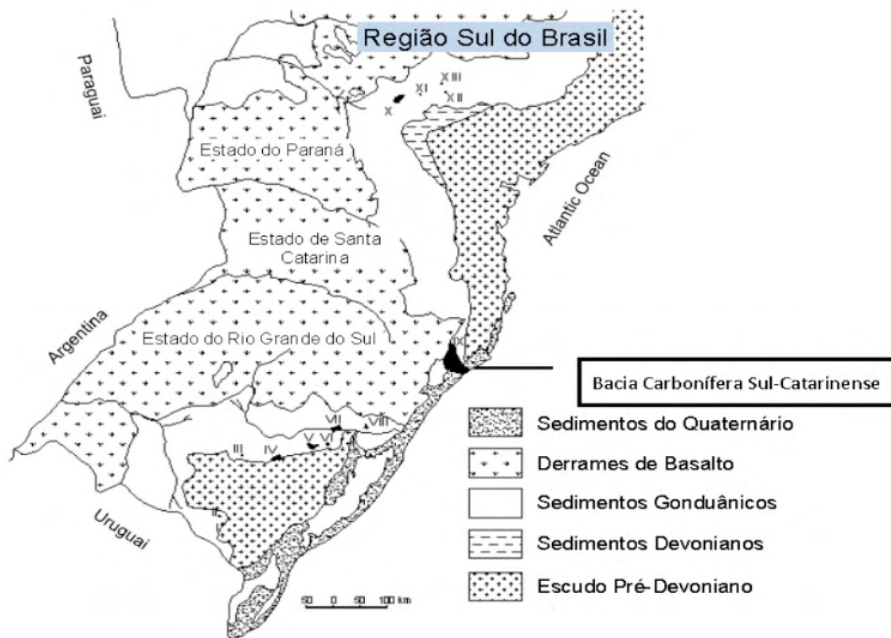


Figura 1 - Mapa geológico do Sul do Brasil. Números de I a XIII indicam bacias carboníferas conhecidas no Brasil. IX = Bacia Carbonífera Sul-Catarinense (Adaptado de ZORZI, 1990).

O condicionamento estrutural encontrado na bacia do Paraná é representado por falhas normais, com planos subverticais. Falhas de empurrão são raras e com pequenos rejeitos. A presença de *slikensides* causados pela compactação diferencial é frequente. Sistemas de fraturas podem acompanhar as falhas, formando sistemas conjugados, preenchidos ou não por diques de diabásio.

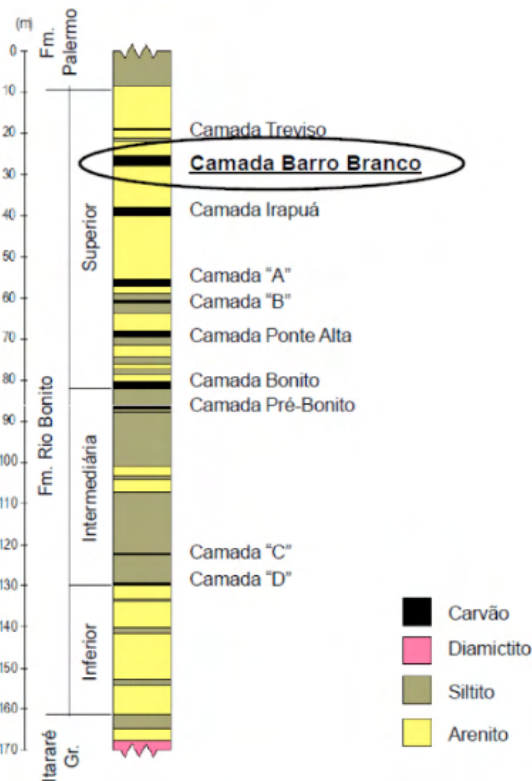


Figura 2 - Perfil estratigráfico típico da Formação Rio Bonito, com destaque para a camada Barro Branco (adaptado de COSTA, 2000).

O piso imediato da camada de carvão Barro Branco é formado, na maior parte, por arenitos de granulação fina à grossa e composição quartzosa. Estes arenitos apresentam, em alguns casos, uma laminação ondulada à lenticular, dada pela presença de finas lâminas de material siltico-argiloso. Por vezes podem aparecer camadas de material siltico somente, às vezes físsil, intercalado ao pacote de arenitos. Nas proximidades do piso da camada Barro Branco, localmente, pode ocorrer camada de siltito preto, compacto, fortemente alterável na presença de água.

Já no teto da camada Barro Branco podem aparecer somente arenitos, somente siltitos ou uma sucessão de camadas de arenitos e siltitos. O siltito, que compõe o teto imediato em alguns dos locais amostrados, apresenta variações desde siltito cinza escuro ou preto, maciço e consistente, até uma rocha físsil e mais micácea (folhelho siltico), ou então laminado, com lâminas formadas por arenito fino.

As demais camadas de siltito que compõem a porção mais superior do teto imediato são normalmente arenosas, com presença de micas e com lentes de arenito fino. A presença de pirita é constante, com proporções variáveis e ocorrendo sob a forma de plaquetas paralelas à físsilidade e laminação, ou preenchendo fissuras, com ou sem carbonato



associado. Os arenitos, por sua vez, são rochas de granulometria fina, às vezes grosseira, quartzosos, pouco micáceos e coerentes. Apresentam contatos nítidos ou gradacionais com os siltitos de base e topo. Nas camadas mais distantes do teto imediato os arenitos se mostram mais micáceos e com lâminas síltico-argilosas.

A seleção dos locais amostrados dentro da Bacia Carbonífera Sul-Catarinense levou em consideração estudos preliminares da geologia e a distribuição dos diferentes litotipos das encaixantes das camadas de carvão na jazida. Adicionalmente, a distribuição dos locais de amostragem contemplou as minas em atividade mais importantes e representativas da bacia carbonífera. As variações litológicas dentro das minas definiram o número de furos realizados em cada mina ou dentro de uma mesma mina. A amostragem do teto e do piso da camada de carvão Barro Branco abrangeu as principais minas em operação no final da década de 1980. Nesse contexto espacial, foram coletadas amostras de 4 minas importantes a época da execução dos trabalhos de amostragem (1988), quais sejam: Verdinho (*Site 1*), A-Sangão (*Site 2*), Santana (*Site 3*) e 3G (*Site 4*), conforme *sites* designados na Figura 3.

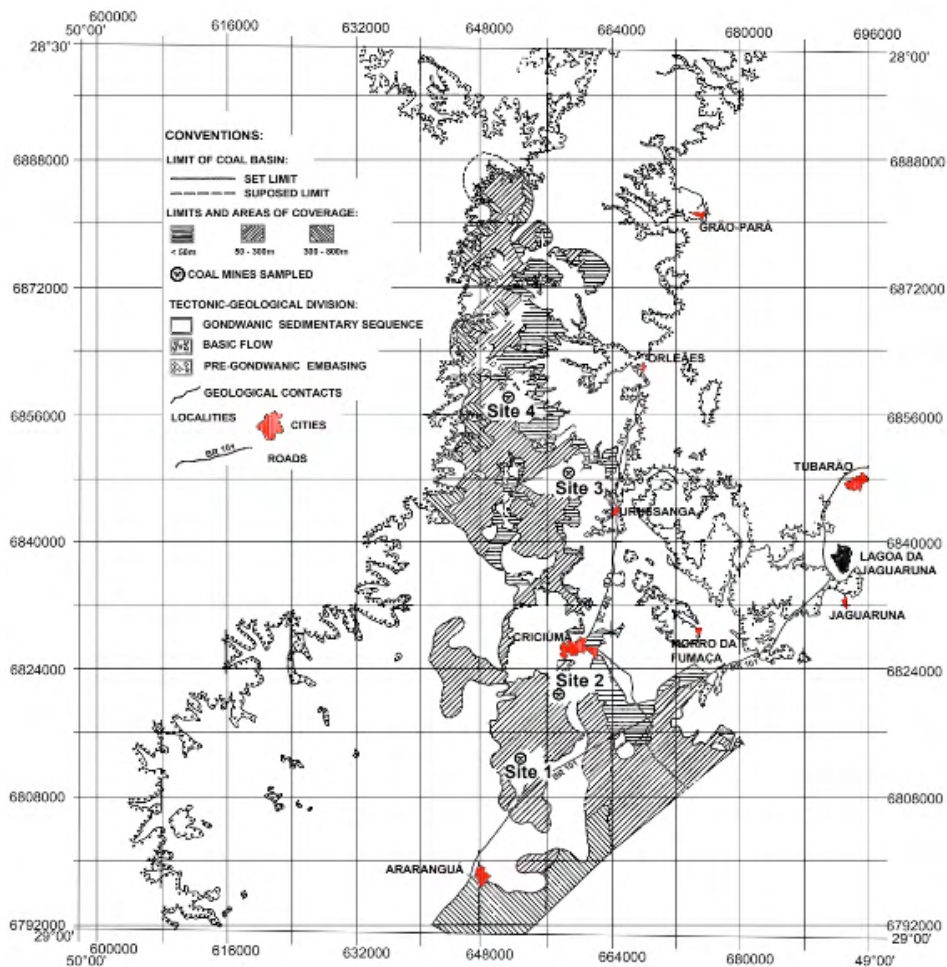


Figura 3 - Localização geográfica dos pontos de amostragem (Sites 1, 2, 3 e 4) das rochas encaixantes das camadas de carvão Barro Branco na Bacia Carbonífera Sul-Catarinense (adaptado de ZORZI, 1990).

### 31 AMOSTRAGEM

As sondagens foram realizadas em subsolo a partir do acesso direto em galerias nas frentes de lavra. Esse procedimento procurou buscar amostras numa condição mais preservada dos efeitos de desmonte e tensões induzidas *in situ*.

No total foram realizados 20 furos verticais, amostrando-se em cada local 5m no piso e 5m no teto, distribuídos em 4 minas localizadas nos 4 *sites* indicados na Figura 3, totalizando 100m de testemunhos coletados.

A coleta das amostras foi realizada com o emprego de sonda rotativa, utilizando amostrador duplo móvel com diâmetro NX (54mm). A qualidade da sondagem proporcionou recuperação acima de 95%. Imediatamente após a realização das sondagens as amostras

foram embaladas em papel alumínio e/ou filme plástico, como forma de preservar a qualidade do material frente aos agentes intempéricos, especialmente processos de oxidação devido à presença de pirita em algumas litologias.

Nas Fotos 1 e 2 podem ser vistos testemunhos típicos das litologias presentes no *site* 1, região em que são observadas as principais litologias presentes nas demais minas na Bacia Carbonífera Sul-Catarinense, enquanto na Figura 4 são apresentados os perfis litológicos de todos os furos de sondagem realizados nos diferentes locais de amostragem.

## 4 | ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Previamente à seleção das amostras para ensaio em laboratório as diferentes litologias foram descritas macroscopicamente e determinado o índice de qualidade da rocha, RQD - Rock Quality Designation. O Quadro 1 apresenta uma síntese das características petrográficas macroscópicas das diferentes classes geomecânicas identificadas nas amostras estudadas.

A preparação dos corpos de prova obedeceu aos procedimentos específicos sugeridos, para cada modalidade de ensaio, pela ISRM (1978a; 1978b; 1979a; 1979b; 1983). Previamente aos ensaios mecânicos, foram determinados a massa específica aparente e velocidade sônica (onda P), esta última determinada utilizando um equipamento “PUNDIT” (Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Tester) com transdutores de 54 KHz, 1 MHz and 2 MHz. Com o intuito de determinar a envoltória de ruptura das diferentes litologias, foram realizados ensaios de compressão diametral, compressão uniaxial e compressão triaxial.

No total, 702 corpos de prova foram ensaiados, conforme quantitativos vistos no Quadro 2. Os quantitativos de massa específica e de velocidade sônica podem ser considerados também a expressão aproximada da proporção de cada classe geomecânica na jazida.

Os ensaios de compressão diametral foram realizados em uma prensa Losenheim com capacidade de carga de 100kN. A tensão de tração indireta foi determinada na direção paralela aos planos de estratificação da rocha.

Os ensaios de compressão uniaxial e compressão triaxial foram realizados utilizando dois sistemas de carga: - um composto por um conjunto pórtico de reação-macaco hidráulico, com capacidade de carga de 2MN e; - outro consistindo de uma prensa EMIC, com capacidade de carga de 600kN. Em ambas as modalidades de ensaio a aplicação da tensão principal maior foi na direção perpendicular aos planos de estratificação da rocha.

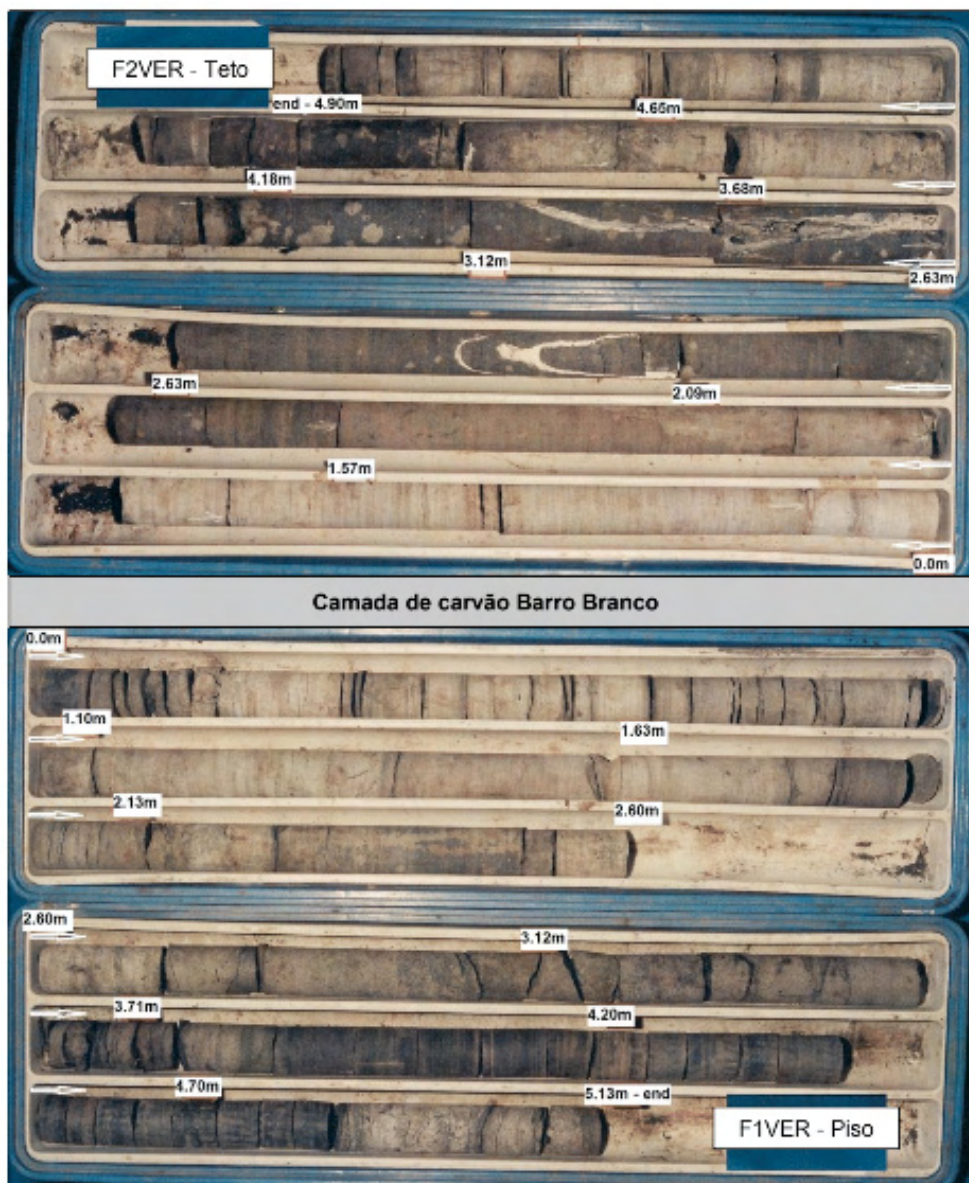


Foto 1 - Testemunhos de sondagem diâmetro NX (54 mm) obtidos nas sondagens das rochas encaixantes do teto e do piso da camada de carvão Barro Branco - Local 1 na Mina Verدينho - Site 1.



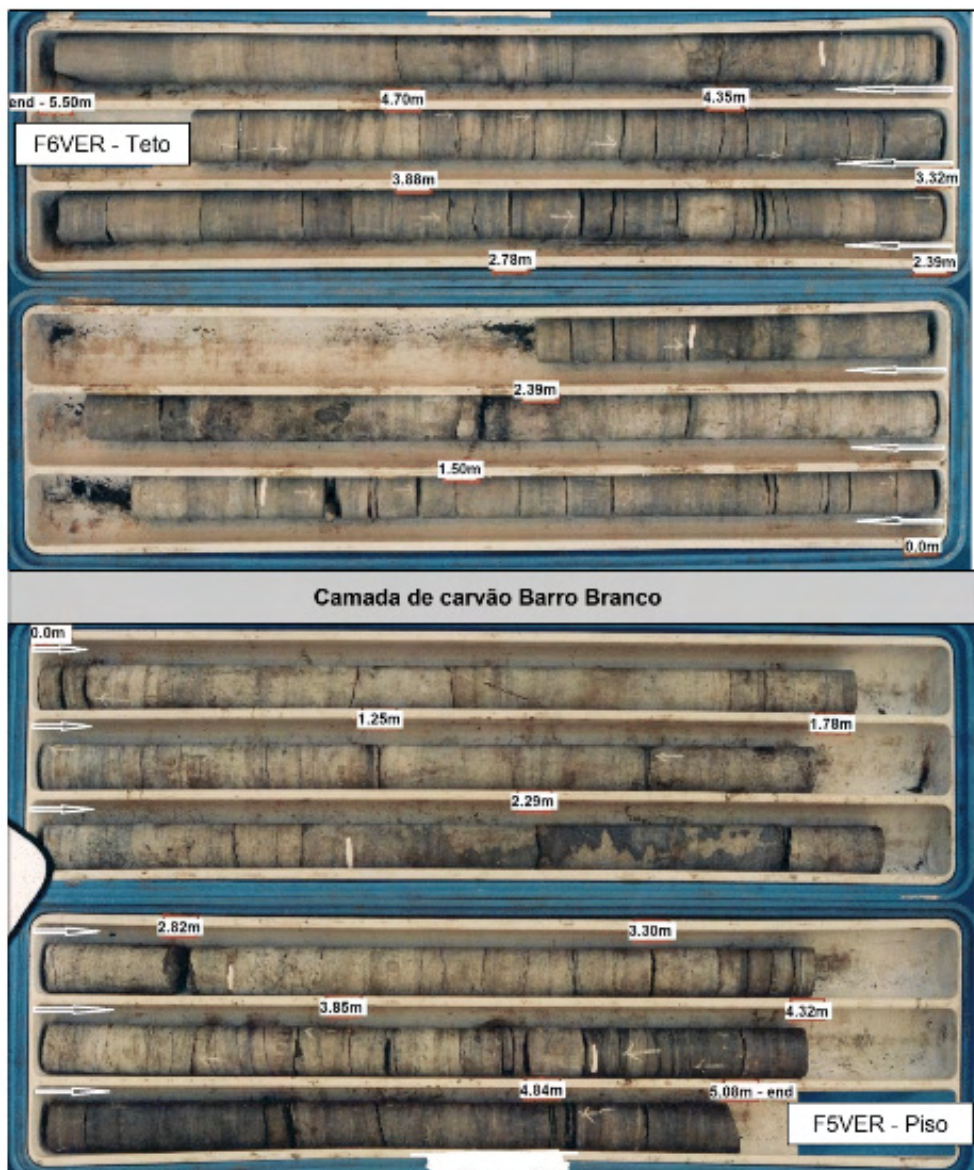


Foto 2 - Testemunhos de sondagem diâmetro NX (54 mm) obtidos nas sondagens das rochas encaixantes do teto e do piso da camada de carvão Barro Branco - Local 3 na Mina Verdinho - Site 1.

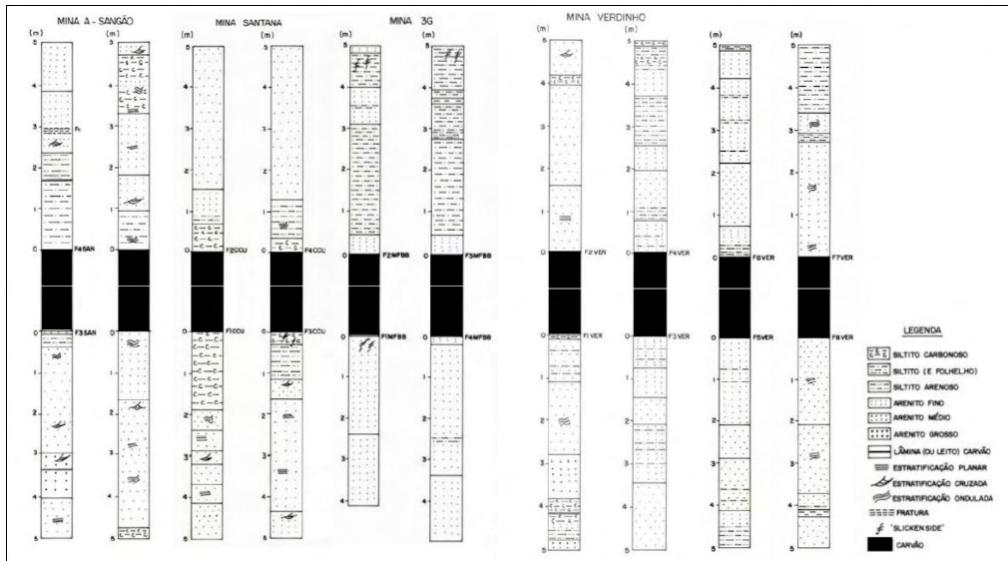







Figura 4 - Perfis geológicos típicos das rochas encaixantes da camada de carvão Barro Branco das diferentes minas amostradas na Bacia Carbonífera Sul-Catarinense (adaptado de ZORZI, 1990).

Classe Geomecânica	Descrição Macroscópica
<b>Arenito HS</b> (Alta Resistência)	Arenito orto-quartzítico, de granulação fina a média, cor cinza claro com cimento carbonático. Zonas com manchas claras são resultado de forte cimentação carbonática. Possui estratificação plano-paralela ou cruzada de baixo ângulo, apresenta-se compacto com frequentes intercalações de filmes de siltito, matéria orgânica, micas e concentrações de pirita. A rocha é muito coerente com RQD de bom a excelente (>75%) nas zonas maciças e pobre (<25%) nas zonas com intercalações. 
<b>Arenito MS</b> (Média Resistência)	Arenito de granulação fina a média, cor cinza claro, intercalado com finas lâminas ou leitos de siltito escuro, micáceo. Cimentação quartzítica. Fraturas frequentes de contato. RQD de excelente (>75%) a muito pobre (<25%). 
<b>Arenito LS</b> (Baixa Resistência)	Arenito de granulação grossa, cor cinza claro com manchas escuras. Intercalações de filmes de matéria orgânica dão origem a fraturas horizontais de acamamento frequentes. A cimentação é carbonática, embora a rocha possua aspecto friável. RQD pobre (25-50%). 

<p><b>Siltito HS</b> (Alta Resistência)</p>	<p>Siltito cinza escuro, com finas lâminas de arenito intercalado. Fraturas muito frequentes nos planos de acamamento. RQD pobre (&lt;50%).</p> 
<p><b>Siltito LS</b> (Baixa Resistência)</p>	<p>Siltito carbonoso intercalado com arenito fino formando pequenas lentes. Apresenta estratificação plano-paralela, extremamente fraturado nos planos de acamamento. RQD muito pobre (&lt;25%).</p> 

Quadro 1 - Características petrográficas macroscópicas típicas das diferentes classes geomecânicas das rochas encaixantes da camada de carvão Barro Branco na Bacia Carbonífera Sul-Catarinense.

Nos ensaios triaxiais a tensão confinante foi aplicada com o auxílio de uma câmara triaxial de Hoek. A ruptura seguiu os procedimentos de ensaio individual e/ou multiestágio. Todas as litologias foram ensaiadas na faixa de tensões confinantes entre 10 e 30MPa.

Classe Geomecânica	Modalidade de Ensaios					
	Massa Específica Aparente	Velocidade Sônica	Compressão			Módulo de Young/ Coeficiente de Poisson
			Diametral	Uniaxial	Triaxial	
<b>Arenito HS</b>	344	344	169	85	90	31
<b>Arenito MS</b>	91	91	48	22	21	5
<b>Arenito LS</b>	73	73	38	17	18	4
<b>Siltito HS</b>	134	134	75	30	29	7
<b>Siltito LS</b>	60	60	35	14	11	2
Total de Ensaios	702	702	365	168	169	49

Quadro 2 - Quantitativos de ensaios realizados com materiais das diferentes classes geomecânicas.

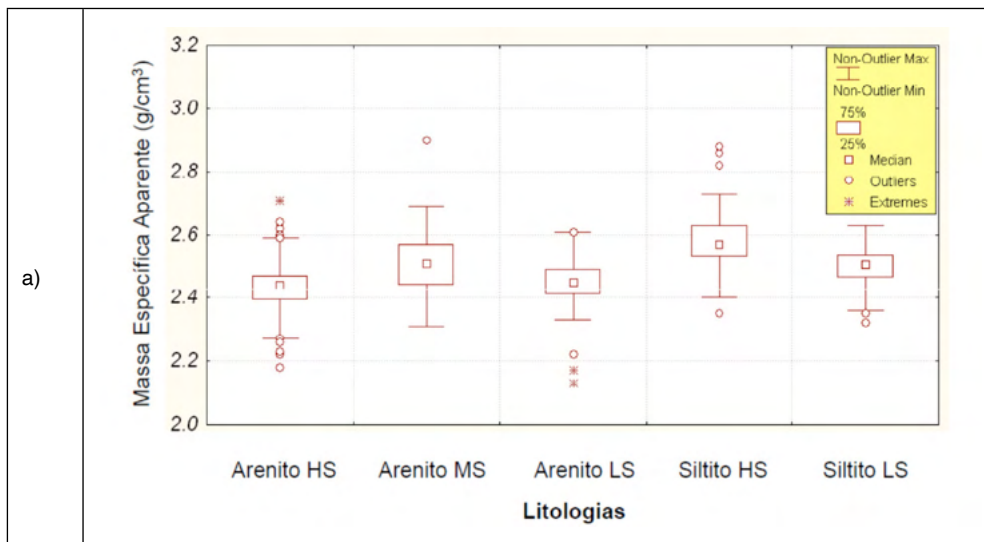
Nos ensaios de compressão uniaxial com determinação das constantes elásticas, as deformações foram medidas com extensômetros elétricos tipo *strain gages* e um sistema eletrônico Kyowa. O cálculo do módulo de Young foi feito pelo método médio, enquanto o coeficiente de Poisson baseou-se no método secante 50%.

Todos os ensaios mecânicos foram realizados baseados nos métodos sugeridos pela ISRM com as amostras na condição de umidade natural entre 0,5% e 3%.

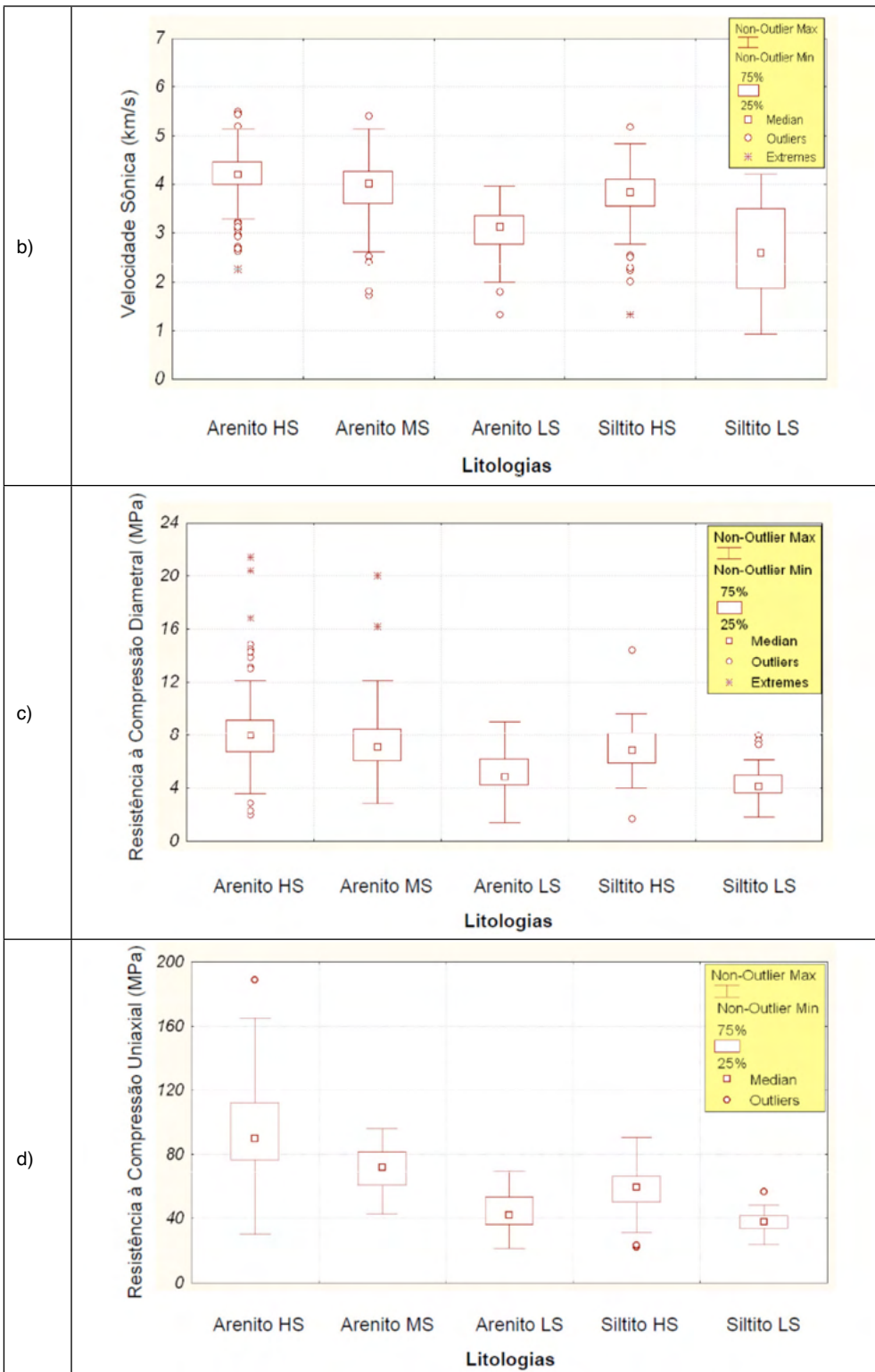
Para melhor visualização da dispersão dos resultados das diferentes modalidades de ensaios foram utilizados diagramas de caixas (*Box and Whisker*), conforme detalhado

no Anexo 1, com o auxílio do Software Statgraphics Plus, version 4.1. Os resultados das diferentes propriedades físicas e mecânicas são apresentados graficamente nas Figuras 5a a 5f. Após o tratamento estatístico dos dados foi possível a definição de cinco classes geomecânicas (três classes de arenitos e duas de siltitos). O processo de classificação geomecânica dos diferentes tipos litológicos estudados foi feito com base na análise petrográfica macroscópica, seguida da análise estatística dos resultados da velocidade sônica, resistência à tração e resistência à compressão uniaxial. Finalmente, utilizaram-se os resultados de todas as modalidades de ensaios mecânicos (compressão diametral, uniaxial e triaxial), individualizados por classe geomecânica, para o estabelecimento da envoltória de ruptura média de cada classe.

A envoltória de ruptura de cada uma das 5 classes foi definida com base no critério de ruptura de Hoek-Brown (HOEK et al., 2002). Os cálculos dos parâmetros representativos da envoltória da rocha intacta foram feitos com o auxílio do programa RocLab, version 1.033. A envoltória média de cada classe geomecânica levou em consideração todos os ensaios das diferentes modalidades de ensaio. Valores espúrios e/ou resultados de amostras pouco representativas da classe foram desconsiderados, adotando-se uma postura conservadora na definição da envoltória de ruptura.







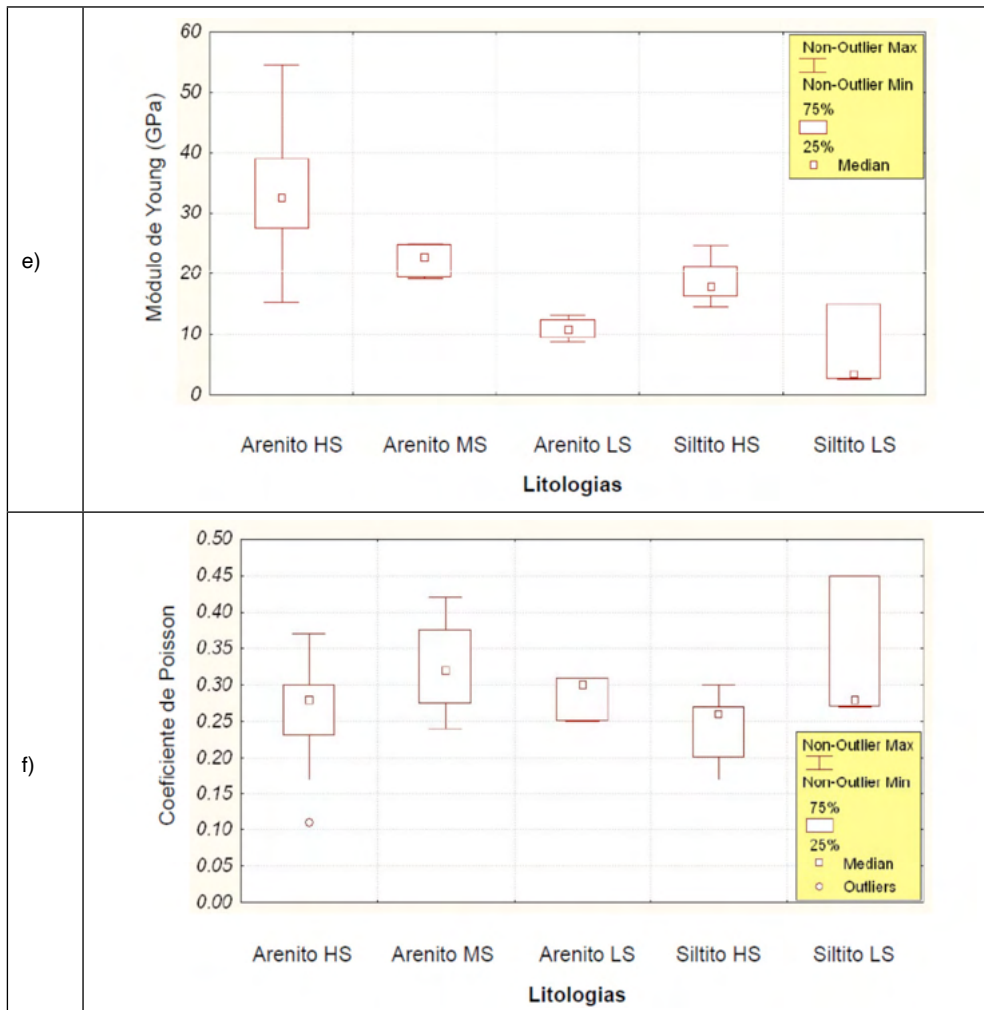


Figura 5 - Características físicas - (a) massa específica aparente, (b) velocidade sônica e - propriedades mecânicas - (c) resistência à tração, (d) resistência à compressão uniaxial, (e) módulo de Young médio e (f) coeficiente de Poisson secante 50% - das rochas encaixantes da camada de carvão Barro Branco.

As Figuras 6a a 10a apresentam os resultados dos ensaios das amostras ensaiadas em cada uma das 5 classes, juntamente com a respectiva envoltória de ruptura. Já nas Figuras 6b a 10b podem ser vistas as envoltórias das amostras juntamente com a envoltória média da respectiva classe geomecânica. Nesse conjunto de resultados estão representadas as 5 classes geomecânicas:

- 3 classes de **Arenitos HS, MS e LS**;
- 2 classes de **Siltitos HS e LS**.

As envoltórias médias das 5 classes geomecânicas são apresentadas no Quadro 3

e graficamente representadas na Figura 11.

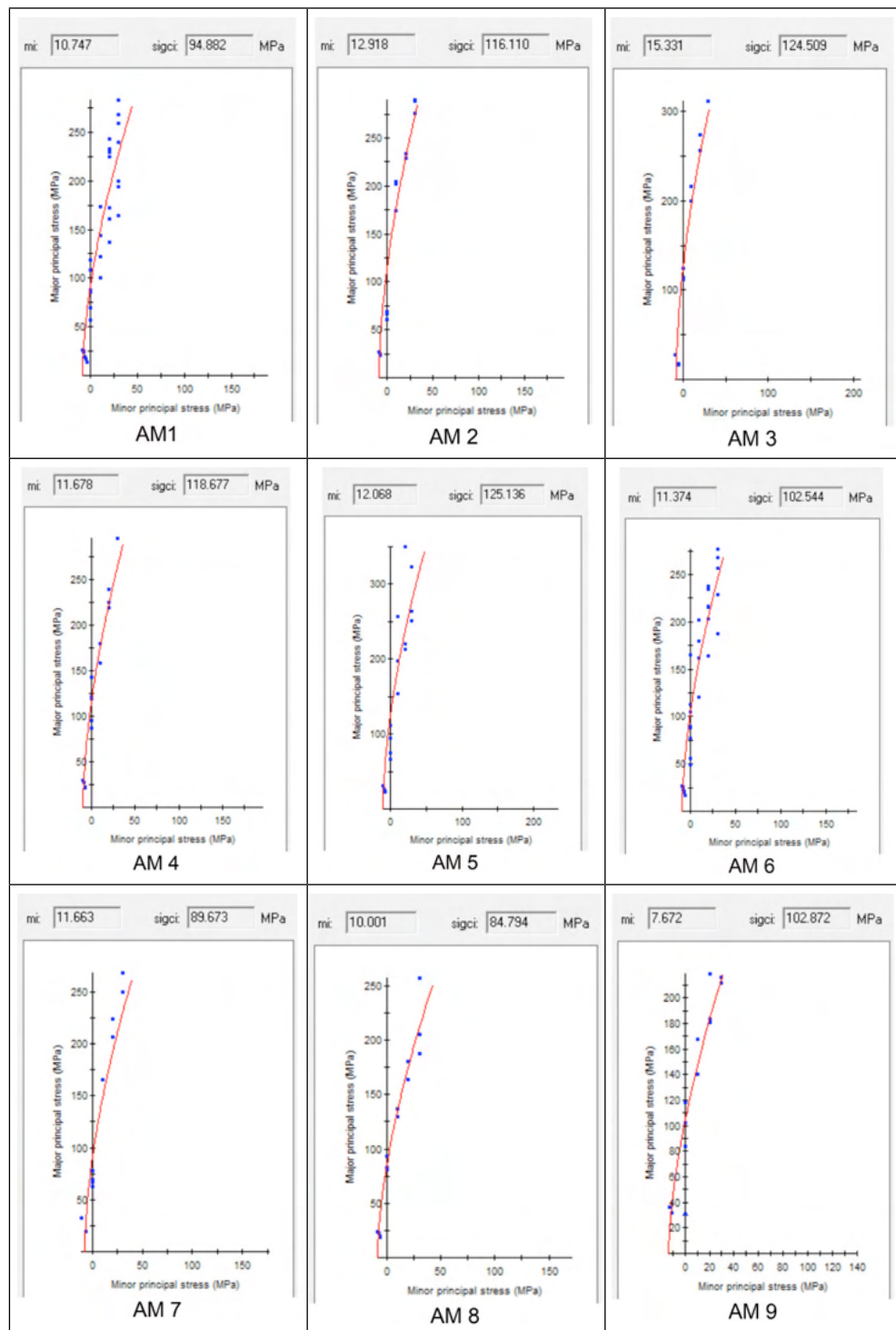
## 5 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os estudos realizados permitiram a caracterização geomecânica das principais litologias presentes nas encaixantes da camada de carvão Barro Branco, dentro da Bacia Carbonífera Sul-Catarinense. Litologicamente, são identificadas duas litologias bem distintas: arenitos e siltitos. Sob o ponto de vista das propriedades físicas, podem ser observadas 5 classes, especialmente quando observamos a velocidade sônica, conforme Figura 5b. É notável a diferença da velocidade (mediana) entre as 3 classes de arenitos, assim como entre as duas classes de siltitos. Da mesma maneira, mecanicamente, tanto a resistência à tração como a de compressão evidenciam a presença de 5 classes de resistência, embora as classes geomecânicas Arenito LS e Siltito LS guardem boa semelhança, como visto nas Figuras 5c e 5d. Esse mesmo comportamento é observado no que se refere ao módulo de Young (Figura 5e), embora o Siltito LS apresente uma variabilidade muito maior nos seus resultados.

Do ponto de vista geomecânico, os arenitos podem ser divididos em 3 classes: - Arenito HS, de grão fino, o mais resistente; - Arenito MS, de grão médio a fino, praticamente impossível de ser separado apenas pela descrição macroscópica; - Arenito LS, de grão médio a grosso, o menos resistente. Os siltitos, por seu lado, são divididos em duas classes: - Siltito HS e o Siltito LS. Macroscopicamente esses siltitos se distinguem apenas pelo grau de fissilidade, uma vez que pela textura e cor são muito semelhantes. Do ponto de vista prático, tendo como base as características petrográficas, físicas e as propriedades mecânicas das rochas estudadas, foram definidas 5 classes geomecânicas, conforme visto no Quadro 3.

Os materiais pertencentes às classes geomecânicas Arenito HS and Siltito HS representam, aproximadamente, 50% e 20%, respectivamente, das litologias amostradas. Cada uma das 3 outras classes representa cerca de 10%.

Do ponto de vista da resistência ao cisalhamento, por sua vez, a envoltória de ruptura das diferentes classes geomecânicas sugere a existência de apenas 4 classes com características distintas, sendo duas de arenitos e duas de siltitos.



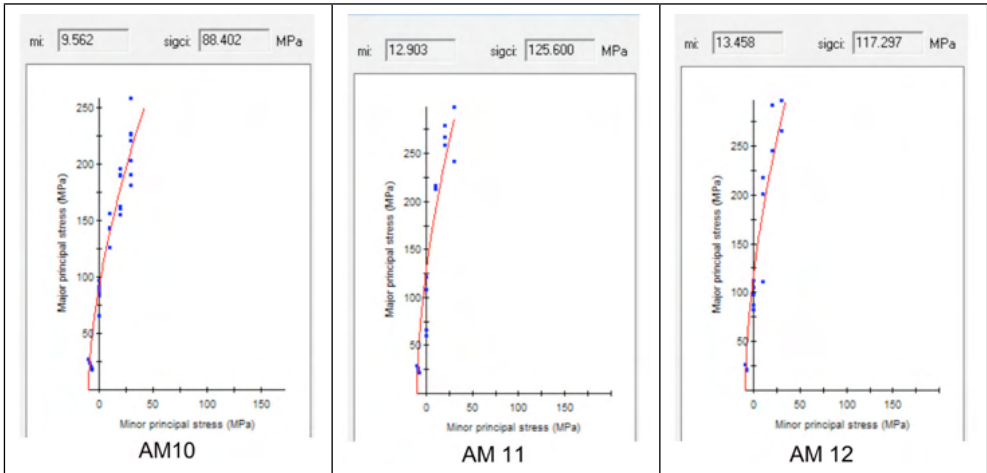


Figura 6a - Amostras das encaixantes da camada de carvão Barro Branco classificadas geomecanicamente como Arenito HS. Resultados de ensaios De cada amostra e envoltória de ruptura da rocha intacta, de acordo com o critério de Hoek-Brown.

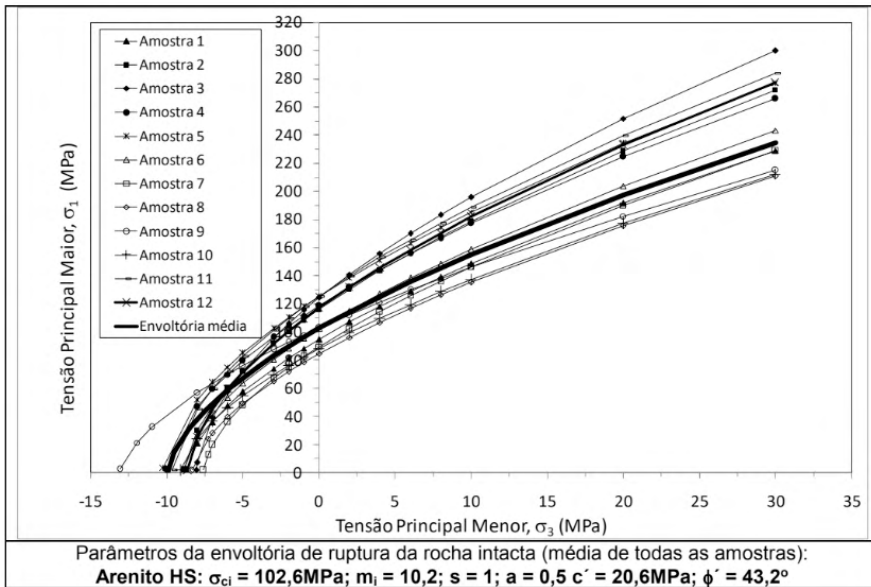


Figura 6b - Envoltórias de ruptura, de acordo com o critério de Hoek-Brown, das amostras de rocha intacta classificadas geomecanicamente como Arenito HS.

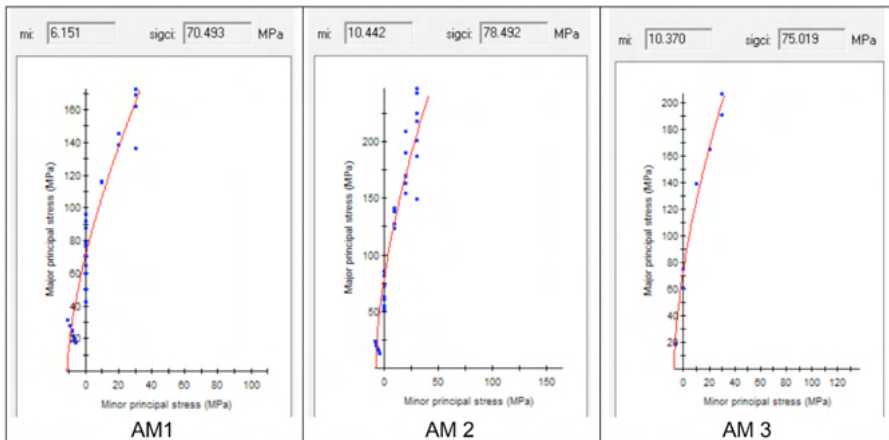


Figura 7a - Amostras das encaixantes da camada de carvão Barro Branco classificadas geomecanicamente como Arenito MS. Resultados de ensaios de cada amostra e envoltória de ruptura da rocha intacta, de acordo com o critério de Hoek-Brown.

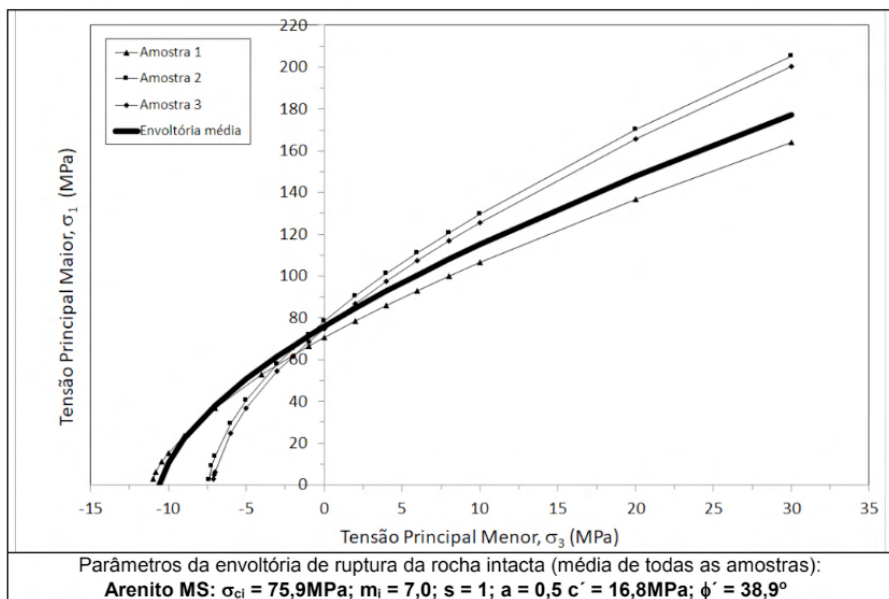


Figura 7b - Envoltórias de ruptura, de acordo com o critério de Hoek-Brown, das amostras de rocha intacta classificadas geomecanicamente como Arenito MS.

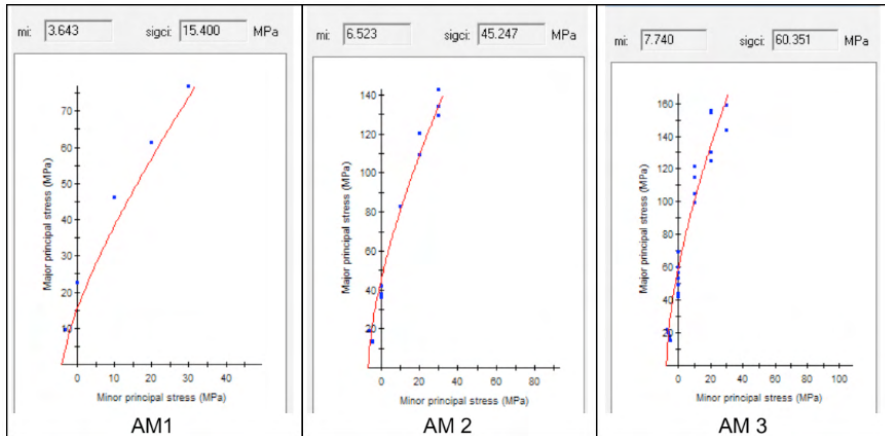


Figura 8a - Amostras das encaixantes da camada de carvão Barro Branco classificadas geomecanicamente como Arenito LS. Resultados de ensaios de cada amostra e envoltória de ruptura da rocha intacta, de acordo com o critério de Hoek-Brown.

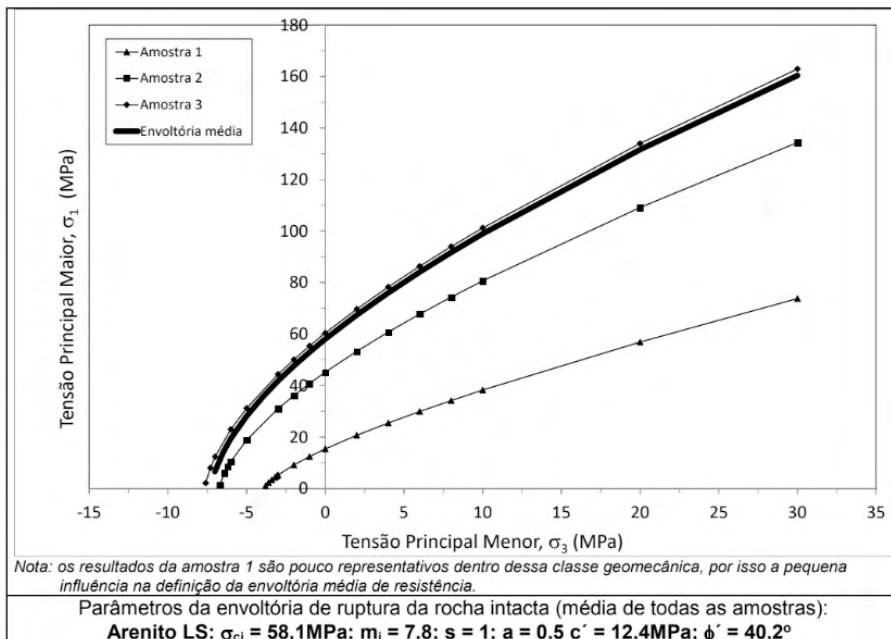


Figura 8b - Envoltórias de ruptura, de acordo com o critério de Hoek-Brown, das amostras de rocha intacta classificadas geomecanicamente como Arenito LS

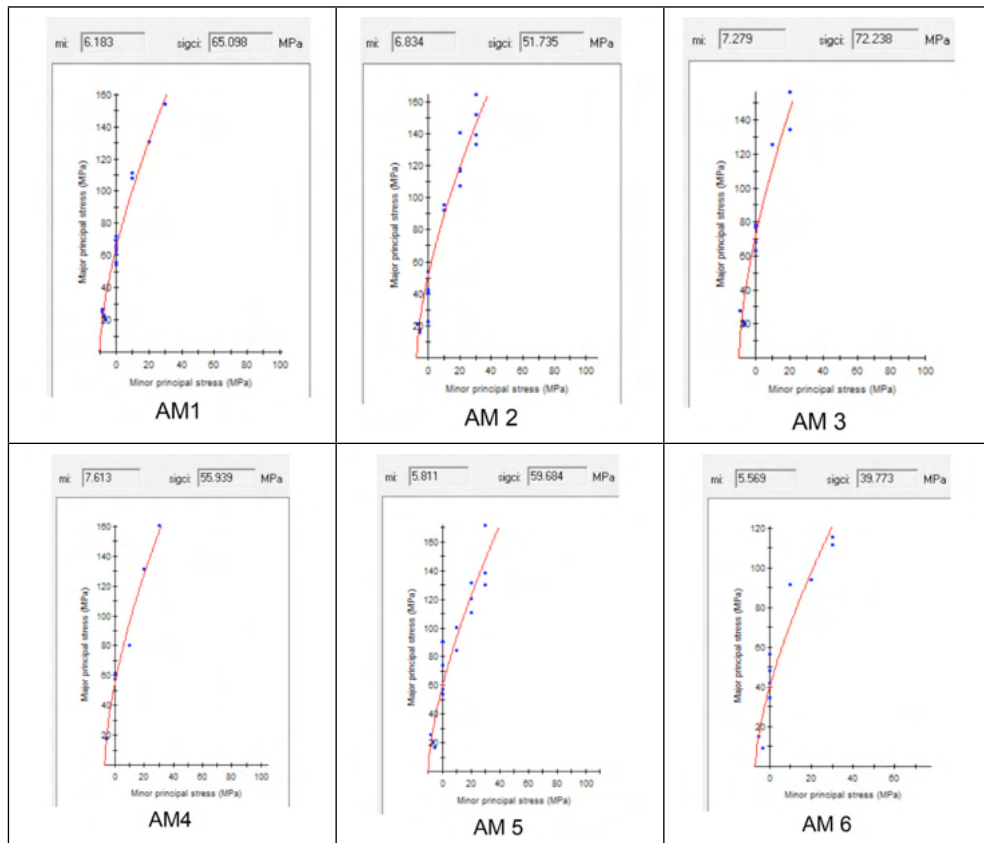


Figura 9a - Amostras das encaixantes da camada de carvão Barro Branco classificadas geomecanicamente como Siltito HS. Resultados de ensaios de cada amostra e envoltória de ruptura da rocha intacta, de acordo com o critério de Hoek-Brown.

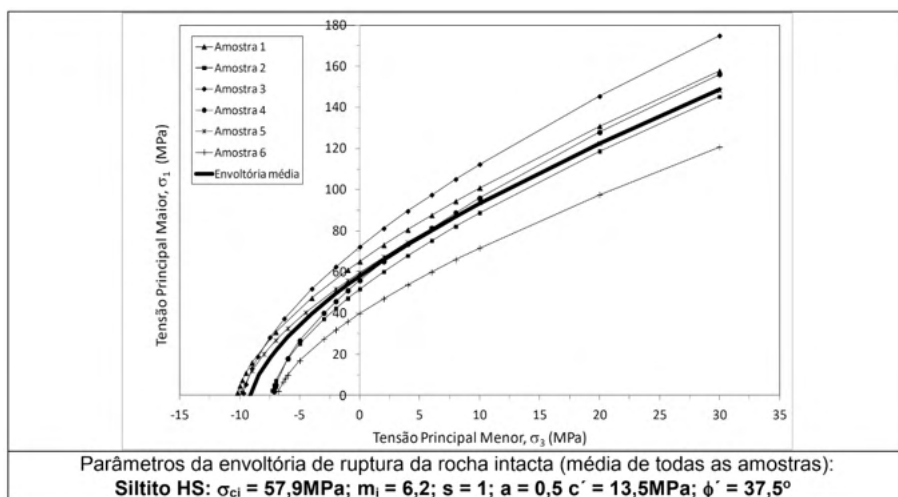


Figura 9b - Envoltórias de ruptura, de acordo com o critério de Hoek-Brown, das amostras de rocha intacta classificadas geomecanicamente como Siltito HS.



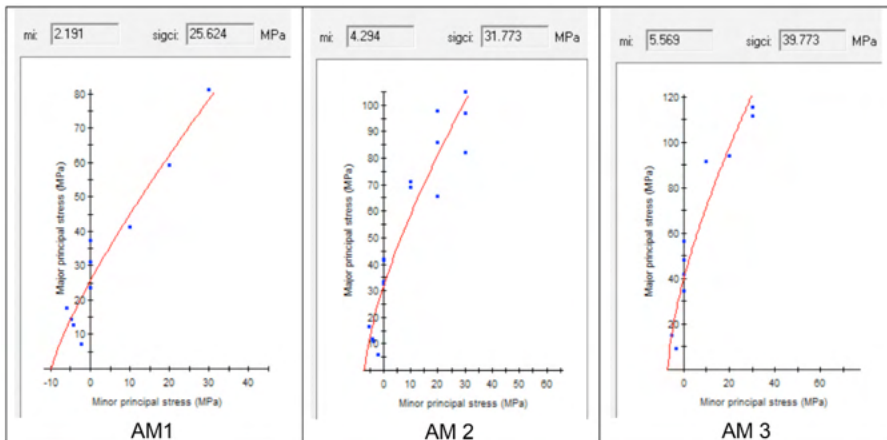


Figura 10a - Amostras das encaixantes da camada de carvão Barro Branco classificadas geomecanicamente como Siltito LS. Resultados de ensaios de cada amostra e envoltória de ruptura da rocha intacta, de acordo com o critério de Hoek-Brown.

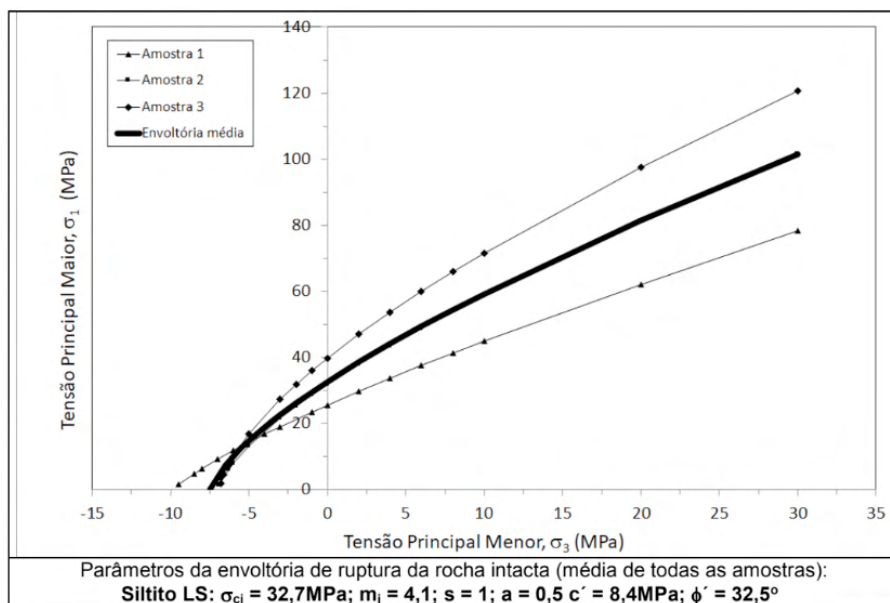


Figura 10b - Envoltórias de ruptura, de acordo com o critério de Hoek-Brown, das amostras de rocha intacta classificadas geomecanicamente como Siltito LS.

Classe Geomecânica	Propriedades Típicas da Rocha Intacta a Partir de Ensaios de Laboratório									
	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Vp (km/s)	$\sigma_t$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	E <sub>m</sub> (GPa)	$\nu_{sec\ 50\%}$	Parâmetros do Critério de Ruptura da Rocha Intacta			
							Hoek-Brown (s = 1; a = 0,5)		Mohr-Coulomb	
							$\sigma_{ci}$ (MPa)	m <sub>i</sub>	c' (MPa)	$\phi'$ (o)
<b>Arenito HS</b>	2,43 (0,07) <sup>#</sup>	4,2 (0,45)	8,2 (2,67)	93,0 (26,47)	34,0 (9,61)	0,31 (0,12)	102,6	10,2	20,6	43,2
<b>Arenito MS</b>	2,51 (0,09)	3,9 (0,65)	7,6 (2,97)	71,0 (14,56)	22,1 (2,84)	0,37 (0,12)	75,9	7,0	16,8	38,9
<b>Arenito LS</b>	2,44 (0,08)	3,1 (0,51)	5,1 (1,74)	42,3 (13,71)	10,8 (1,90)	0,34 (0,11)	58,1	7,8	12,4	40,2
<b>Siltito HS</b>	2,58 (0,08)	3,8 (0,56)	6,8 (1,79)	57,3 (16,64)	18,7 (3,37)	0,24 (0,05)	57,9	6,2	13,5	37,5
<b>Siltito LS</b>	2,50 (0,06)	2,6 (0,95)	4,3 (1,46)	38,3 (7,90)	2,9 (0,57)	0,33 (0,10)	32,7	4,1	8,4	32,5

# Valores entre parênteses = desvio padrão.

$\rho$ =massa específica aparente natural; Vp=velocidade da onda P;  $\sigma_t$ =resistência à tração indireta;  $\sigma_c$ =resistência à compressão uniaxial; E<sub>m</sub>=módulo de Young médio;  $\nu_{sec\ 50\%}$ =coeficiente de Poisson método secante 50%;  $\sigma_{ci}$ =resistência à compressão uniaxial, m<sub>i</sub>, s, a=parâmetros do critério de ruptura de Hoek-Brown; c'=coesão,  $\phi'$ =ângulo de atrito do critério de ruptura de Mohr-Coulomb.

Quadro 3 - Parâmetros médios das classes geomecânicas definidas para as rochas encaixantes da camada de carvão Barro Branco na Bacia Carbonífera Sul-Catarinense.

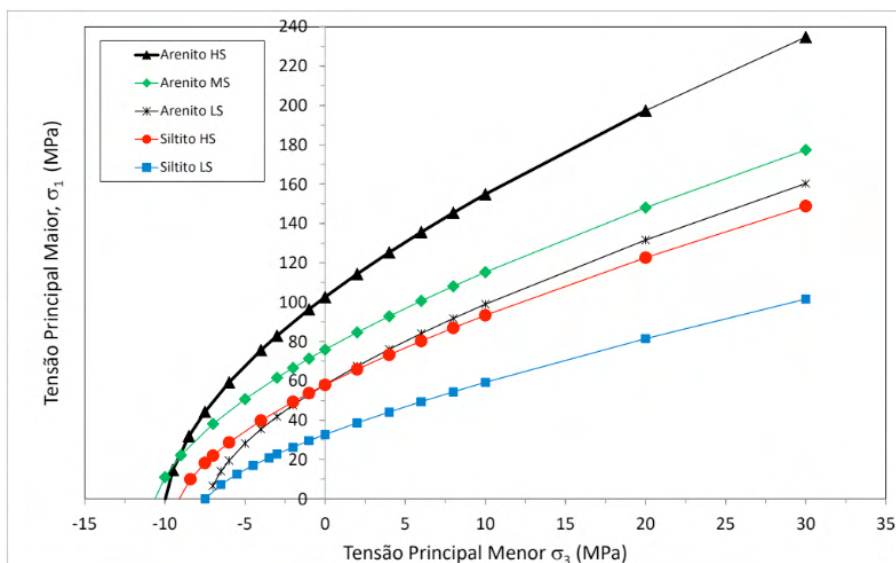


Figure 11 - Envoltórias de ruptura média, de acordo com o critério de ruptura de Hoek-Brown, da rocha intacta representativas das 5 diferentes classes geomecânicas das encaixantes da camada de carvão Barro Branco na Bacia Carbonífera Sul-Catarinense.

Embora na região de tração as classes geomecânicas Arenito LS e Siltito LS sejam semelhantes mecanicamente, na condição confinada a classe geomecânica Arenito LS

se assemelha ao Siltito HS, conforme observado na Figura 11. A explicação para esse comportamento na região de compressão da envoltória de ruptura pode estar associada à textura do Arenito LS (grãos maiores, mais angulosos e rugosos), quando comparado com as classes de siltitos. Esses aspectos texturais do Arenito LS tendem a produzir um aumento na dilatância durante a ruptura, com o consequente aumento da resistência ao cisalhamento.

De acordo com a proposição de ZORZI et al (1991), conforme Figura 12, as classes geomecânicas Arenitos HS e MS e Siltito HS podem ser enquadrados no modelo geológico de rochas competentes. Já as classes geomecânicas Arenito LS e Siltito LS são enquadradas no modelo de rochas fracas. Essas duas classes representam cerca de 20% das rochas encaixantes presentes na bacia carbonífera e requerem análise da capacidade de carga no processo de dimensionamento dos pilares quando diretamente em contato com a camada de carvão. Também são as classes que exigem o sistema de suporte do teto mais robusto.


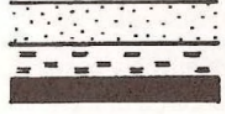


a)	 <p>ROCHA COMPETENTE CARVÃO</p>	<p><b>Modelo a):</b> não requer análise da capacidade carga.</p> <p><math>\sigma_c = 50 \text{ MPa}</math>  <math>\sigma_t = 5 \text{ MPa}</math>  <math>E_m = 20 \text{ GPa}</math></p>
b)	 <p>ROCHA COMPETENTE ROCHA FRACA CARVÃO</p>	<p><b>Modelos b) e c):</b> necessidade de análise da capacidade de carga depende da posição da encaixante no teto, espessura de cada litologia e interferência do sistema de suporte adotado.</p> <p><b>Modelo d):</b> requer análise da capacidade carga</p> <p><math>\sigma_c = 25 \text{ MPa}</math>  <math>\sigma_t = 2,5 \text{ MPa}</math>  <math>E_m = 6 \text{ GPa}</math></p>
c)	 <p>ROCHA FRACA ROCHA COMPETENTE CARVÃO</p>	
d)	 <p>ROCHA FRACA CARVÃO</p>	
a)	b)	

Figura 12 - a) Modelos básicos propostos para a análise da capacidade de carga das rochas encaixantes no dimensionamento de pilares das minas de carvão do Sul do Brasil. A figura representa modelos para o teto imediato (cerca de 5m). O mesmo modelo é válido para as condições do piso. b) Características geomecânicas médias de cada camada (ZORZI et al., 1991).

## 6 | COMPORTAMENTO DAS ROCHAS DO TETO NAS MINAS DE CARVÃO

As litologias classificadas geomecanicamente como arenitos HS and MS e siltito HS constituem os maciços rochosos de melhor qualidade quanto à estabilidade do teto das galerias. Quando no teto imediato, essas rochas são quase autosustentáveis (arenito) ou exigem sistema de suporte leve (siltitos). Quando acima do teto imediato, constituem os pontos de ancoragem do sistema de tirantes para a suspensão das camadas inferiores.

Os maiores problemas de estabilidade do teto nas minas de carvão na Bacia Sul-Catarinense estão associados à presença do arenito LS ou do siltito LS. Esses materiais, de qualidade mecânica inferior, normalmente exigem intervenções com sistemas de suporte de elevada capacidade de carga, ou seja, parafusos mais longos e malhas mais apertadas (maior densidade de parafusos por área). Nesse tipo de maciço, os sistemas de tirantes não são eficientes quando o mecanismo de suporte é baseado exclusivamente no efeito viga. Nessas condições de teto, necessariamente é preciso recorrer a sistemas de tirantes mais compridos e que atuem por efeito suspensão. Esses tirantes são ancorados nas camadas mais resistentes acima do teto imediato, normalmente de arenitos com características mecânicas das classes arenitos HS e MS ou siltito HS.

Os sistemas de suporte e configurações são diversos nas diferentes minas em operação. Cada mina adota o sistema que melhor se adapta a distribuição das diferentes litologias no teto, espessuras das camadas de rocha das diferentes classes geomecânicas, dimensões da escavação, capaz de proporcionar a estabilidade requerida para as diferentes áreas da mina, seja nos eixos principais, seja nos painéis de lavra.

## 7 | COMPORTAMENTO DAS ROCHAS DO PISO NAS MINAS DE CARVÃO

Praticamente todas as litologias estudadas podem estar presentes no piso da camada de carvão Barro Branco, embora predominem as das classes geomecânicas Arenito HS, Arenito MS e Siltito HS. Analogamente ao que ocorre no teto, o Arenito LS e, especialmente, o Siltito LS são as litologias sobre as quais se concentram a maior quantidade de problemas de alteração e colapso do piso.

Um dos problemas está associado à baixa capacidade de carga para suportar as cargas imposta pelos pilares. Em casos extremos pode ocorrer a cravação do pilar (*pillar punching*) e colapso do piso da galeria. Outro aspecto importante está associado à alteração do siltito, na presença de água, e desagregação, devido ao intenso tráfego de máquinas pesadas. Esse tipo de problema ocorre predominantemente em áreas onde a camada de carvão apresenta-se inclinada. Nessas condições, os esforços de tração transferidos pelos pneus das máquinas são mais elevados, levando a ruptura da rocha do piso (*peeling*).

## 8 | CONCLUSÕES

Os estudos realizados permitiram a caracterização geomecânica das principais litologias presentes nas encaixantes da camada de carvão Barro Branco, da Bacia Carbonífera Sul-Catarinense. Pelo menos 5 classes geomecânicas foram definidas em função das diferentes propriedades físicas e mecânicas determinadas em laboratório.

As classes geomecânicas Arenito HS, Arenito MS e Siltito HS representam aproximadamente 80% das rochas presentes nas encaixantes do teto e piso da camada de carvão Barro Branco. Essas classes também se constituem nas rochas de melhor qualidade mecânica. De outra parte, as classes Arenito LS e Siltito LS representam cerca de 20% das rochas encaixantes. De acordo com procedimentos sugeridos por ZORZI et al. (1991) para o dimensionamento dos pilares, quando em contato com a camada de carvão, as rochas encaixantes devem ser analisadas quanto à capacidade de carga.

## REFERÊNCIAS

- COSTA, J. F. C. L. (2000). **Avaliação de reservas de carvão - Projeto Fontanella - Carbonífera Metropolitana S.A.**. Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS, Brasil, vol. 1.
- DOBEREINER, L. (1987). **Geotecnia dos arenitos**. Resumo de Tese 08. ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, Sao Paulo-SP, Brasil.
- DUARTE, J. M. G.; MORAES, R. B.; OLIVEIRA, C. A.; CARDOSO, R. M. (2010). **Alguns aspectos geotécnicos específicos do projeto UHE Mauá**. In.: Simpósio Prática de Engenharia e Geotencia da Região Sul, VII. GEOSUL 2010. Foz do Iguaçu-PR, Brasil, 9p..
- GALARNYK, M. (2018). Understanding Boxplot. Disponível na internet em 10/10/2019 no site: <https://towardsdatascience.com/understanding-boxplots-5e2df7bcabd51>.
- HOEK, E.; CARRANZA-TORRES, C.; CORKUM, B. (2002). **Hoek-Brown failure criterion - 2002 edition**. In.: North American Rock Mechanics Symposium, 5<sup>th</sup>. Proceedings. Toronto, Canadá, v. 1, p. 267-273.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1987). **Ensaios de laboratório adicionais para estudos geotécnicos de otimização do sistema de atirantamento do projeto Mina Esperança**. Relatório N° 25264. Sao Paulo-SP, Brasil, 41p..
- ISRM - International Society for Rock Mechanics (1978a). **Suggested methods for determining sound velocity**. Int. Journal of Rock Mech. and Min. Science & Geomech. Abstr.. Vol. 15, nº 2, p. 53-58.
- ISRM (1978b). **Suggested methods for determining tensile strength of rock material**. Int. Journal of Rock Mech. and Min. Science & Geomech. Abstr.. Vol. 15, nº 3, p. 99-103.
- ISRM (1979a). **Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake-durability index properties**. Int. Journal of Rock Mech. and Min. Science & Geomech. Abstr.. Vol. 16, nº 2, p. 141-156.

ISRM (1979b). **Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials**. Int. Journal of Rock Mech. and Min. Science & Geomech. Abstr.. Vol. 16, nº 2, p. 135-140.

ISRM (1983). **Suggested methods for determining the strength of rock materials in triaxial compression: revised version**. Int. Journal of Rock Mech. and Min. Science & Geomech. Abstr.. Vol. 20, nº 6, p. 283-290.

PENG, S. S. (1986). **Coal mine ground control**. John Wiley & Sons: New York, USA.

**Software Statgraphics Plus** - Version 4.1 - Professional System. S/N 4565002707.

**Software RocLab** - Version 1.033. Rocscience Inc. Toronto, Canadá. Disponível no site: 2D and 3D Geotechnical Software | Rocscience Inc.

ZORZI, L. (coord.) (1990). **Projeto: Dimensionamento de Pilares em Minas de Carvão**. CIENTEC - Fundação de Ciência e Tecnologia. Porto Alegre-RS, Brasil, 2v.

ZORZI, L. (coord.) (1996). **Projeto MULTICAMADAS - Lavra Subterrânea de Camadas Múltiplas de Carvão - Estudo Geomecânico**. CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia. Porto Alegre-RS, Brasil, 2v..

ZORZI, L.; AGOSTINI, I. M.; BENEDETT, J. V. (1989). Características geomecânicas das formações sedimentares da Bacia Carbonífera Santa Terezinha. **In.: Congresso Brasileiro de Mineração, 2º**. Porto Alegre-RS, Brasil, v. 1, p. 13-43.

ZORZI, L.; AGOSTINI, I. M.; GONZATTI, C. (1991). **Metodologia para dimensionamento de pilares em minas de carvão do Sul do Brasil**. CIENTEC - Fundação de Ciência e Tecnologia, Porto Alegre-RS, Brasil, 23p. (Boletim Técnico nº 23).

## **ANEXO - SIGNIFICADO DA REPRESENTAÇÃO ESTATÍSTICA DE DADOS NA FORMA DE DIAGRAMAS DE CAIXA (*BOX AND WHISKER*)**

Essa técnica de representação de dados é extremamente útil para a observação da variabilidade ou a dispersão dos resultados. Esse tipo de representação é extremamente útil para a identificação criteriosa de dados fora de contexto em uma amostra. A técnica utiliza 5 descritores básicos: mínimo, 1º quartil ou quartil inferior, mediana, 3º quartil ou quartil superior, e máximo. A média, opcionalmente, também pode ser representada.

A Figura A1 explicita como são tratados os dados de uma amostra. A caixa retangular engloba a metade central dos valores (50% dos dados). No interior da caixa, a linha horizontal representa a mediana da amostra enquanto o sinal de (+) representa a média considerando todos os dados. A linha vertical, que parte da extremidade inferior da caixa, se estende do primeiro quartil até o menor (*MIN*) valor situado dentro de 1,5 vezes o intervalo interquartil ( $IQR=Q3-Q1$ ). Analogamente, a linha vertical, que parte da extremidade superior da caixa, se estende do terceiro quartil até o maior (*MAX*) valor situado dentro de  $1,5 \cdot (IQR)$ . Valores

que se situam entre  $1,5 \cdot (\text{IQR})$  (*Lower fence* ou *Upper fence*) e  $3 \cdot (\text{IQR})$  (*Far Lower fence* ou *Far Upper fence*), a partir dos respectivos quartis (Q1) e (Q3), são plotados como pontos individuais tratados como expúrios ou fora de contexto (*OUTLIER*), simbolizados por um quadrado ( $\square$ ). Eventuais pontos que se situem além de  $3 \cdot (\text{IQR})$ , abaixo do primeiro quartil (Q1) ou acima do terceiro quartil (Q3), constituem-se em valores extremos (*FAROUTLIER*).

Ainda, para melhor entender o critério utilizado para a definição dos valores *outliers* ou extremos, a Figura A2 mostra a relação do diagrama de caixa e a função densidade de probabilidade para uma amostra com distribuição normal. Nota-se que os dados designados como *outliers* ou extremos, quando a distribuição é normal, correspondem a apenas 0,7%. Os demais 99,7% dos dados estão representados entre os quartis e  $1,5 \cdot (\text{IQR})$ .

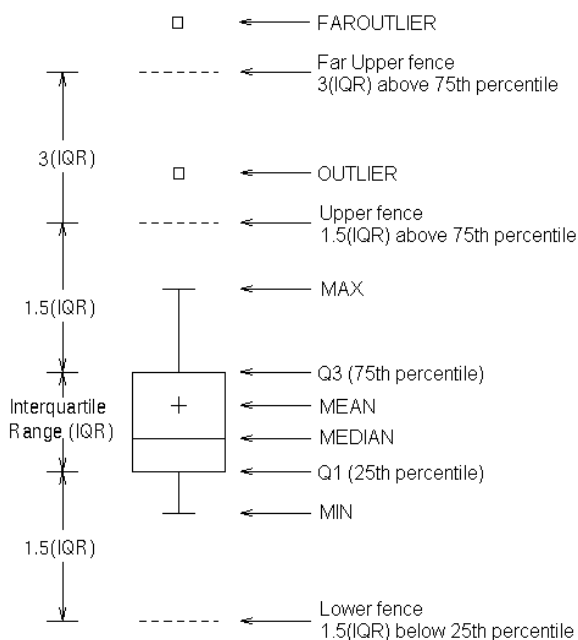


Figura A1 - Ilustração da representação estatística de dados através de diagramas de caixa (*Box and Whisker*) (adaptado de GALARNYK, 2018).

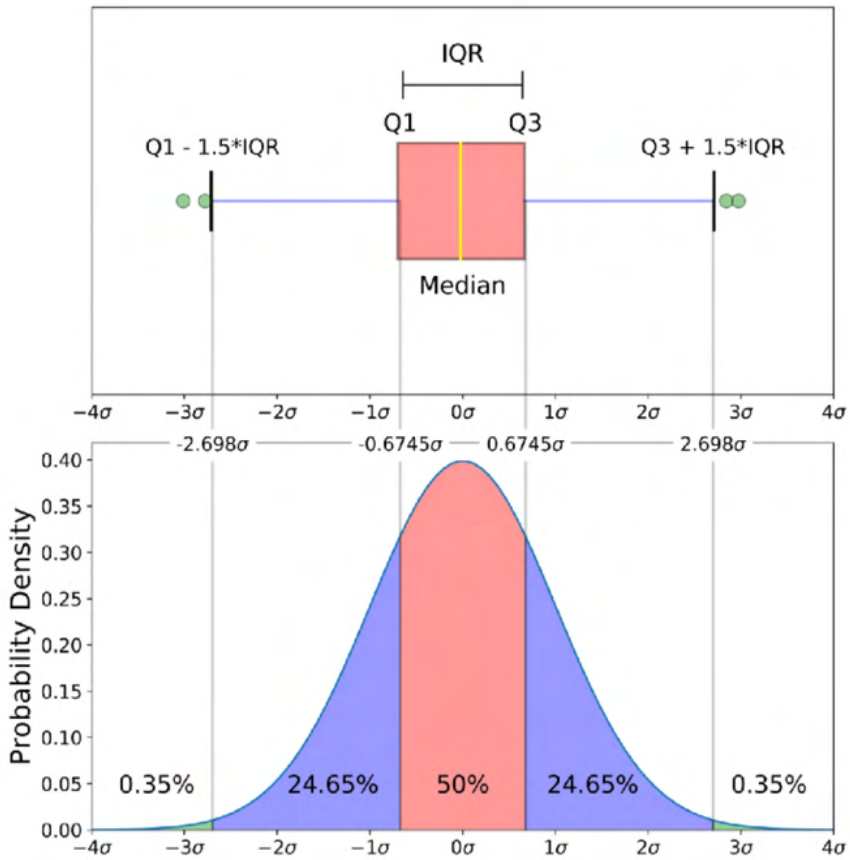


Figura A2 - Ilustração da relação entre o diagrama de caixa e a função densidade de probabilidade de uma distribuição de dados normal (adaptado de GALARNYK, 2018).



## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acidente 96, 126

Acústica 1, 2, 3, 11, 18, 25

Agrominerais 73

Água 34, 35, 40, 48, 68, 91, 98, 99, 100, 101, 102, 154, 157, 158

Aplicativo 4, 5, 7, 20, 161, 162, 163, 164

Avaliação de curso 165, 166

### B

Biogás 80, 81, 82, 83, 86

### C

Caminhão fora de estrada 126, 128, 134

Caracterização geomecânica 44, 45, 46, 59, 69

Carvão 44, 45, 46, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 55, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70

Ciclismo 161, 163, 164

Cintilador 137

Conforto ambiental 1

Controle 5, 6, 18, 25, 32, 37, 40, 96, 111, 112, 113, 114, 115, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 148, 149, 150, 165

Crescimento de cristal 137

### D

Desacoplamento 111, 112, 114, 115, 119, 120, 121, 124

### E

Educação 36, 88, 90, 97, 98, 111, 161, 165, 166, 175, 176, 177

Egresso 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 175, 176

Engenharia civil 45, 88, 89, 92, 94, 95, 96, 174

Engenharia de áudio 1

Ensaios de laboratório 44, 51, 66, 69

Estúdio 1, 28

### G

Gerenciamento de fadiga 126, 128, 129, 134

### I

Interligação 161, 162

## **M**

Matriz ortogonal 148, 150, 152, 154, 160

Mercado de trabalho 160, 165, 167, 168, 169, 170, 175

Mineração 33, 38, 39, 40, 42, 43, 45, 46, 70, 73, 75, 79, 126

## **O**

Otimização 35, 37, 40, 69, 112, 148, 151, 160

## **P**

Pedreiras 73, 74, 79

Pó de rocha 73, 74, 75, 76

Produtividade 33, 34, 36, 38, 39, 40, 127, 148, 149, 150, 160

## **Q**

Qualidade 11, 13, 21, 33, 34, 37, 41, 42, 46, 50, 51, 68, 69, 98, 99, 100, 112, 148, 150, 157, 160, 165, 166, 167, 168, 169, 173, 176, 177

## **R**

Radiação de nêutrons 137

Radiação gama 104, 137

Reator 111, 112, 114, 115, 121, 124

Recursos hídricos 98, 99, 102

## **S**

Sala de audição 1

Simulação 1, 3, 5, 7, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 20, 24, 31, 35, 40, 41, 111, 112, 114, 115, 116

Sonolência 39, 126, 127, 128, 129, 131, 134, 135

## **T**


Taguchi 148, 149, 150, 151, 152, 160


# Engenharias:


da genialidade à profissão e  
seu desenvolvimento

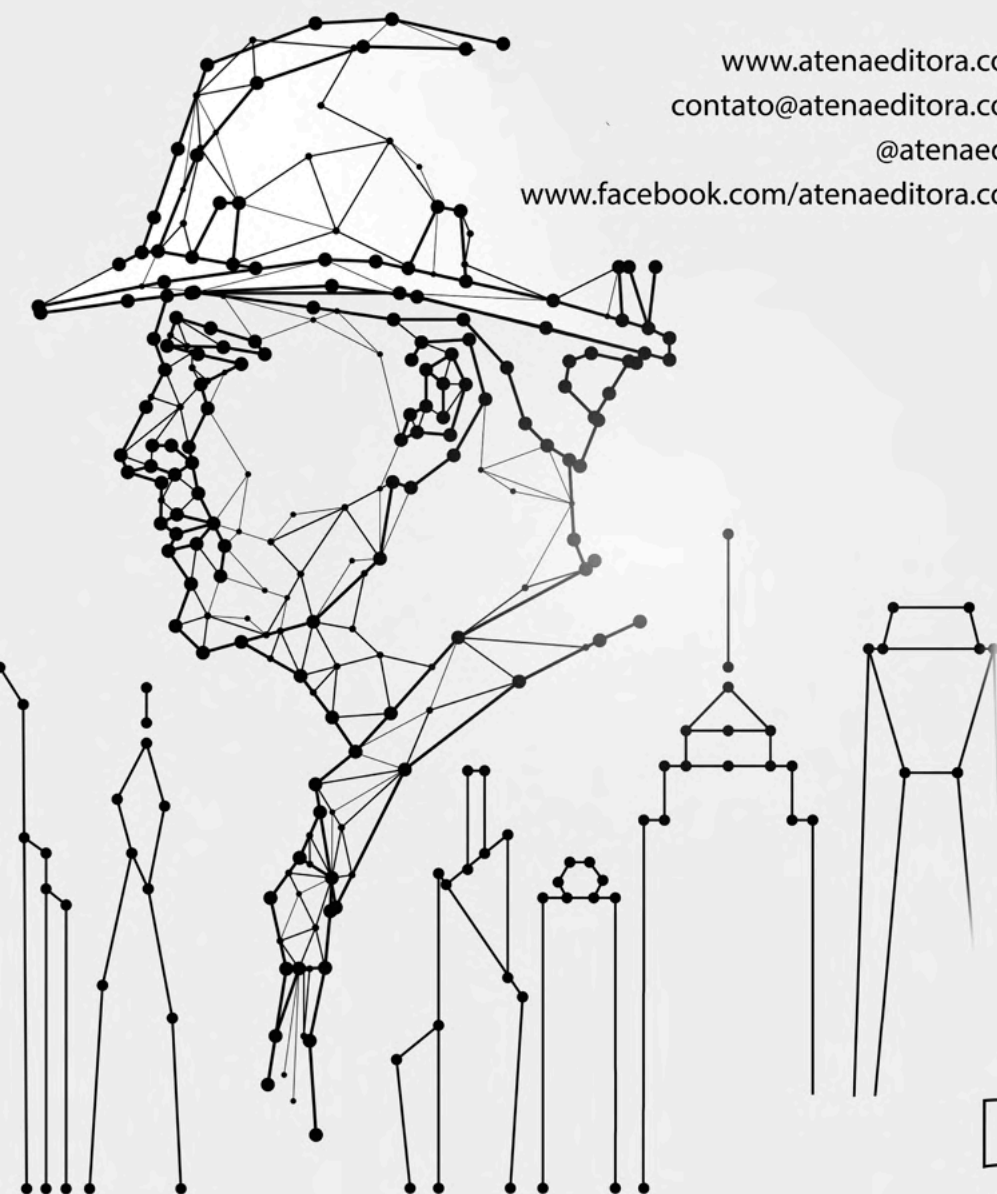
# 2

[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) 




**Atena**  
Editora


Ano 2021


# Engenharias:


da genialidade à profissão e  
seu desenvolvimento

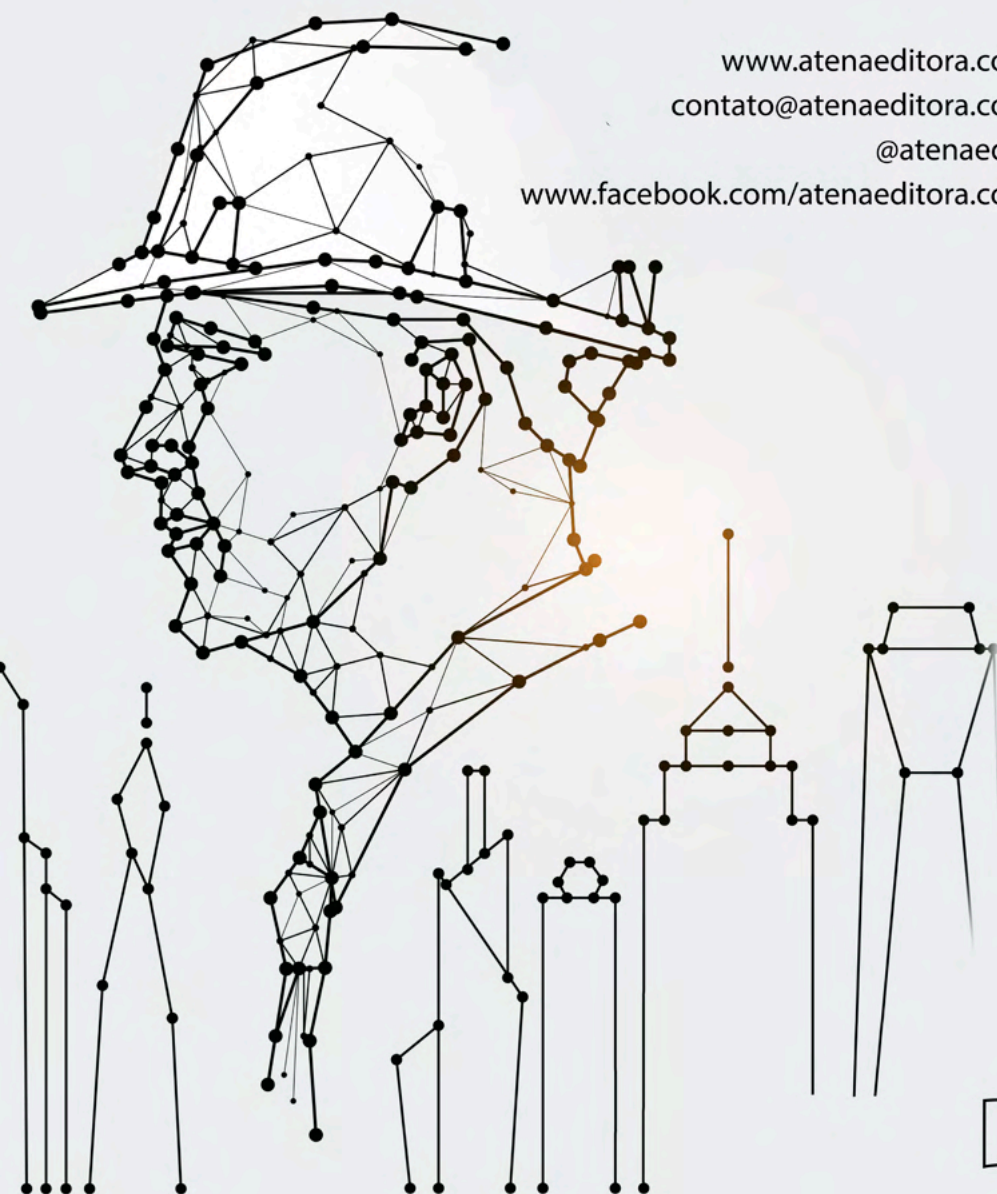
# 2

[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) 



**Atena**  
Editora

Ano 2021