

**José Max Barbosa de Oliveira Junior
(Organizador)**

Análise Crítica das Ciências Biológicas e da Natureza 3

Atena
Editora
Ano 2019

José Max Barbosa de Oliveira Junior
(Organizador)

Análise Crítica das Ciências Biológicas e da Natureza 3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Natália Sandrini
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof^a Dr^a Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof.^a Dr.^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof.^a Dr.^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof.^a Dr.^a Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.^a Dr.^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof.^a Dr.^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof.^a Dr.^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof.^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
A532	Análise crítica das ciências biológicas e da natureza 3 [recurso eletrônico] / Organizador José Max Barbosa de Oliveira Junior. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Análise Crítica das Ciências Biológicas e da Natureza; v. 3) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-359-0 DOI 10.22533/at.ed.590192705 1. Ciências biológicas – Pesquisa – Brasil. I. Oliveira Junior, José Max Barbosa de. II. Série. CDD 610.72
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra *“Análise Crítica das Ciências Biológicas e da Natureza”* consiste de uma série de livros de publicação da Atena Editora. Com 96 capítulos apresenta uma visão holística e integrada da grande área das Ciências Biológicas e da Natureza, com produção de conhecimento que permeiam as mais distintas temáticas dessas grandes áreas.

Os 96 capítulos do livro trazem conhecimentos relevantes para toda comunidade acadêmico-científica e sociedade civil, auxiliando no entendimento do meio ambiente em geral (físico, biológico e antrópico), suprimindo lacunas que possam hoje existir e contribuindo para que os profissionais tenham uma visão holística e possam atuar em diferentes regiões do Brasil e do mundo. As estudos que integram a *“Análise Crítica das Ciências Biológicas e da Natureza”* demonstram que tanto as Ciências Biológicas como da Natureza (principalmente química, física e biologia) e suas tecnologias são fundamentais para promoção do desenvolvimento de saberes, competências e habilidades para a investigação, observação, interpretação e divulgação/interação social no ensino de ciências (biológicas e da natureza) sob pilares do desenvolvimento social e da sustentabilidade, na perspectiva de saberes multi e interdisciplinares.

Em suma, convidamos todos os leitores a aproveitarem as relevantes informações que o livro traz, e que, o mesmo possa atuar como um veículo adequado para difundir e ampliar o conhecimento em Ciências Biológicas e da Natureza, com base nos resultados aqui dispostos.

Excelente leitura!

José Max Barbosa de Oliveira Junior

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
INIBIÇÃO DA PEÇONHA DE <i>Bothrops alternatus</i> (URUTU) 'IN VIVO' PELO PRINCÍPIO ATIVO ISOLADO VEGETAL LUPEOL	
Benedito Matheus dos Santos Klaus Casaro Saturnino Vanderlúcia Fonseca de Paula Mirian Machado Mendes	
DOI 10.22533/at.ed.5901927051	
CAPÍTULO 2	7
INVESTIGAÇÃO DAS ATIVIDADES TÓXICA, ANTIDIARREICA E ANTIESPASMÓDICA DAS PARTES AÉREAS DE <i>SIDA RHOMBIFOLIA</i> L. (MALVACEAE)	
Rafael Lima Marinho Paiva Antônio Raphael Lima de Farias Cavalcanti Rayane Fernandes Pessoa Indyra Alencar Duarte Figueiredo Sarah Rebeca Dantas Ferreira Otemberg Souza Chaves Micaelly da Silva Oliveira Maria de Fátima Vanderlei de Souza Fabiana de Andrade Cavalcante	
DOI 10.22533/at.ed.5901927052	
CAPÍTULO 3	22
INVESTIGAÇÃO DE LECTINA E INIBIDOR DE TRIPSINA EM TUBÉRCULOS DE INHAME (<i>Dioscorea alata</i>) CULTIVADO NO NORDESTE DO BRASIL	
Julia Mariano Caju de Oliveira Edilza Silva do Nascimento Tatiane Santi Gadelha Carlos Alberto de Almeida Gadelha	
DOI 10.22533/at.ed.5901927053	
CAPÍTULO 4	38
ISOLAMENTO E IDENTIFICAÇÃO DE FUNGOS FILAMENTOSOS ALERGÊNICOS ENCONTRADOS EM PEÇAS ANATÔMICAS HUMANAS CONSERVADAS EM SOLUÇÃO DE FORMALDEÍDO	
Hércules Gonçalves de Almeida Medeiros Adna Cristina Barbosa de Sousa	
DOI 10.22533/at.ed.5901927054	
CAPÍTULO 5	50
MEIO AMBIENTE GENÉTICO E EMBRIÕES EXCEDENTÁRIOS	
Odair Bufolo Daiane Silva Berdusco Freire Andréia de Fátima Selvati Bredariol	
DOI 10.22533/at.ed.5901927055	

CAPÍTULO 6 62

PRODUÇÃO DE ÁCIDOS PROPANOICO E ACÉTICO POR PROPIONIBACTERIUM ACIDIPROPIONICI ADSORVIDA EM MONTMORILONITA K-10

Taciani do Santos Bella de Jesus
Lucidio Cristovão Fardelone
Gustavo Paim Valença
José Roberto Nunhez
José Augusto Rosário Rodrigues
Paulo José Samenho Moran

DOI 10.22533/at.ed.5901927056

CAPÍTULO 7 72

PRODUÇÃO DE B-GLUCANASES E AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIMICROBIANA E REDUÇÃO DE BIOFILME DE *Candida albicans*

Glaucia Hollaender Braun
Henrique Pereira Ramos
Maria Laura Lucas Natal
Rosemeire Cristina Linhari Rodrigues Pietro

DOI 10.22533/at.ed.5901927057

CAPÍTULO 8 80

PRODUCTION AND STABILITY OF LIPASE AND PECTINASE PRESENT IN AGROINDUSTRIAL RESIDUES

Millena Cristiane de Medeiros Bezerra Jácome
Carlos Eduardo de Araújo Padilha
Murilo Ricardo do Nascimento Arrais
Maria Cecília Bezerra Caldas
Everaldo Silvino dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.5901927058

CAPÍTULO 9 84

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE UM CIMENTO DE IONÔMERO DE VIDRO APÓS ADIÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE TiO₂

Luis Eduardo Genaro
Luana Mafra Marti
Ana Carolina Bosco Mendes
Rafael Amorim Martins
Angela Cristina Cilense Zuanon

DOI 10.22533/at.ed.5901927059

CAPÍTULO 10 91

PURIFICATION OF A XYLANASE FROM *Penicillium crustosum* AND ITS POTENTIAL USE IN CLARIFYING FRUIT JUICE

Jaina Caroline Lunkes
Vanessa Cristina Arfelli
Jorge William Fischdick Bittencourt
Rafael Andrade Menolli
Alexandre Maller
Jose Luís da Conceição Silva
Rita de Cássia Garcia Simão
Marina Kimiko Kadowaki

DOI 10.22533/at.ed.59019270510

CAPÍTULO 11 101

SENSIBILIDADE CELULAR E DE BIOFILME DE *Enterococcus* sp. AOS DESINFETANTES DE USO INDUSTRIAL

Luciana Furlaneto Maia
Naieli Mücke
Márcia Regina Terra
Danielle Karine Ohashi
Talita Butzske Bússolo
Márcia Cristina Furlaneto

DOI 10.22533/at.ed.59019270511

CAPÍTULO 12 115

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA PROPAGAÇÃO DE ONDAS CISALHANTES EM ROCHAS SEDIMENTARES A PARTIR DE IMAGENS MICROTOMOGRÁFICAS DE RAIOS X

Túlio Medeiros
José Agnelo Soares
Ronildo Otávio de Oliveira Neto
Juliana Targino Batista

DOI 10.22533/at.ed.59019270512

CAPÍTULO 13 127

STABILITY OF PECTINASE OF ASPERGILLUS NIGER IOC 4003 IN DIFFERENT SALTS FOR PURIFICATION IN BIPHASIC AQUEOUS SYSTEM

Millena Cristiane de Medeiros Bezerra Jácome
Murilo Ricardo do Nascimento Arrais
Carlos Eduardo de Araújo Padilha
Everaldo Silvino dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.59019270513

CAPÍTULO 14 131

TÉCNICA DE FISH APLICADA NA IDENTIFICAÇÃO DA MICROBIOTA DE REATOR DE LODO ATIVADO UTILIZADO NA DEGRADAÇÃO DE BLENIDAS

Lívia Cordi
Nelson Durán

DOI 10.22533/at.ed.59019270514

CAPÍTULO 15 142

TEMPERATURE AND pH EFFECTS ON THE ACTIVITY AND STABILITY OF THR XYLANASES PRODUCED BY THE THERMOPHILIC FUNGUS *Rasamsonia emersonii* S10

Jéssica de Araujo Zandoni
Eleni Gomes
Gustavo O. Bonilla-Rodriguez

DOI 10.22533/at.ed.59019270515

CAPÍTULO 16 147

TRIAGEM DE TRATAMENTO DE *Luffa cylindrica* PARA IMOBILIZAÇÃO DE *Saccharomyces cerevisiae* VISANDO A PRODUÇÃO DE INVERTASE

Beatriz Paes Silva
Brenda Kischkel
Nicolle Ramos dos Santos
André Álvares Monge Neto

DOI 10.22533/at.ed.59019270516

CAPÍTULO 17 159

AÇÃO FIBRINOLÍTICA DE PROTEASES PRODUZIDAS POR BACTÉRIAS ISOLADAS DE AMBIENTES AMAZÔNICOS

Thayana Cruz de Souza
Anni Kelle Serrão de Lima
Michele Silva de Jesus
Raimundo Felipe da Cruz Filho
Wim Maurits Sylvain Degrave
Leila de Mendonça Lima
Ormezinda Celeste Cristo Fernandes

DOI 10.22533/at.ed.59019270517

CAPÍTULO 18 164

ÁCIDO CÍTRICO: UM ENFOQUE MOLECULAR

Letícia Fernanda Bossa
Daniele Sartori

DOI 10.22533/at.ed.59019270518

CAPÍTULO 19 174

ACTINOBACTÉRIAS ISOLADAS DE MANGUEZAL E SEU POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO

Gabriela Xavier Schneider
Jean Carlos Ramos de Almeida
Kassiely Zamarchi
Débora Santos
Danyelle Stringari
Renata Rodrigues Gomes

DOI 10.22533/at.ed.59019270519

CAPÍTULO 20 188

IDENTIFICAÇÃO DE BACTÉRIAS COM A CAPACIDADE DE BIODEGRADAÇÃO DO HERBICIDA ÁCIDO 2,4-DICLOROFENOXIACÉTICO

Juliana Barbosa Succar
Andressa Sbrano da Silva
Lidiane Coelho Berbert
Vinícius Ribeiro Flores
João Victor Rego Ferreira
Alexander Machado Cardoso
Ida Carolina Neves Direito

DOI 10.22533/at.ed.59019270520

CAPÍTULO 21 199

REABILITAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE QUARTZITO COM INSTALAÇÃO DE USINA SUSTENTÁVEL

Gabriel Silva Gomes

DOI 10.22533/at.ed.59019270521

CAPÍTULO 22	218
COMPOSIÇÃO FITOQUÍMICA E TOXICIDADE DAS FOLHAS DE <i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez (LAURACEAE)	
<p>Viviane Mallmann Lucas Wagner Ribeiro Aragão Edineia Messias Martins Bartieres Valdeci José Pestana Shaline Séfara Lopes Fernandes Rogério César de Lara da Silva Tauane Catilza Lopes Fernandes Ana Francisca Gomes da Silva</p>	
DOI 10.22533/at.ed.59019270522	
CAPÍTULO 23	223
CRESCIMENTO DE MUDAS DE <i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd. (Fabaceae) EM SUBSTRATOS ORGÂNICOS COMPOSTOS COM RESÍDUOS DE CASTANHA-DO-BRASIL	
<p>Givanildo Sousa Gonçalves Lúcia Filgueiras Braga Letícia Queiroz de Souza Cunha</p>	
DOI 10.22533/at.ed.59019270523	
CAPÍTULO 24	236
SUBSTRATOS ORGÂNICOS NO CRESCIMENTO DE MUDAS DE <i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd. (Fabaceae)	
<p>Givanildo Sousa Gonçalves Lúcia Filgueiras Braga Letícia Queiroz de Souza Cunha</p>	
DOI 10.22533/at.ed.59019270524	
SOBRE O ORGANIZADOR	253

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA PROPAGAÇÃO DE ONDAS CISALHANTES EM ROCHAS SEDIMENTARES A PARTIR DE IMAGENS MICROTOMOGRÁFICAS DE RAIOS X

Túlio Medeiros

Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande – Paraíba

José Agnelo Soares

Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande – Paraíba

Ronildo Otávio de Oliveira Neto

Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande – Paraíba

Juliana Targino Batista

Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande – Paraíba

RESUMO: O presente trabalho teve por objetivo determinar através de simulações as velocidades de ondas cisalhantes em amostras de arenitos e rochas carbonáticas. Para tanto, foi necessário a utilização do programa *Avizo Fire*® 8.1, responsável pela fase inicial, e do *Comsol Multiphysics*® 4.2, onde ocorreram as simulações. A princípio foram geradas as malhas das quatro amostras, sendo dois arenitos e dois carbonatos. Na sequência, os arquivos contendo as malhas geradas no *software Avizo Fire*® 8.1 foram importados pelo *Comsol Multiphysics*® 4.2. A partir desse momento, foram simuladas explosões na face de baixo de cada malha e medidas as velocidades de ondas cisalhantes referentes a cada amostra. Como

resultado da petrofísica computacional, tem-se os valores dos limiares entre os tons de cinza referentes aos espaços porosos e os referentes a matriz mineral de cada amostra. Além disso, determinou-se uma velocidade de 2322 m/s, 2116m/s, 2897m/s e 2181m/s para as amostras A7, A9, TFG e TCR, respectivamente. Para fins de comparação, foram utilizados os valores das velocidades para as mesmas amostras obtidos pela petrofísica convencional. Por fim, devido à proximidade dos valores obtidos nas simulações computacionais com os resultados da petrofísica convencional, infere-se que o método desenvolvido nesse trabalho é preciso e confiável, porém é complexo e exige um grande processamento de dados devido ao tamanho da malha gerada.

PALAVRAS-CHAVE: Ondas Cisalhantes, Petrofísica computacional, Propriedades petrofísicas.

ABSTRACT: The aim of the present work is to determine the shear wave velocities in samples of sandstones and carbonate rocks through simulations. For this purpose, it was necessary to use the programs *Avizo Fire*® 8.1, responsible for the initial phase, and *Comsol Multiphysics*® 4.2, in which the simulations were performed. At first, the meshes of four samples (two sandstones and two carbonates) were generated. Subsequently, the files containing the

meshes generated in Avizo Fire® 8.1 software were imported by Comsol Multiphysics® 4.2. From that moment, explosions were simulated on the underside of each mesh and the wave velocities for each sample were measured. As a result of computational petrophysics, there are the values of the thresholds between the gray tones, referring to the porous spaces, and those referring to the mineral matrix of each sample. In addition, a velocity of 2322 m/s, 2116m/s, 2897m/s and 2181m/s were determined for the samples A7, A9, TFG and TCR, respectively. For the purpose of comparison, the velocities of the same samples obtained by means of conventional petrophysics were used. Finally, due to the proximity of the values obtained in the computational simulations with the results of the conventional petrophysics, it is inferred that the method developed in this work is accurate and reliable, but it is complex and requires a large data processing due to the size of the mesh generated.

KEYWORDS: Shear waves, Computational petrophysics, Petrophysical properties.

1 | INTRODUÇÃO

As propriedades elásticas das rochas são essenciais para prever o comportamento das ondas P (compressionais ou primárias) e S (cisalhantes ou secundárias) durante seus deslocamentos na subsuperfície da Terra. Inclusive esse é o princípio da sísmica, principal método de investigação e dimensionamento de campos de petróleo. O método sísmico é responsável por mais de 90% dos investimentos em prospecção (THOMAS, 2001).

As ondas se propagam a partir de uma fonte e são definidas por Kearey *et al.* (2009) como “pacotes de energia de deformação elástica que se propagam radialmente”. Elas se diferenciam entre si devido a alguns fatores como a direção de polarização, a velocidade e o meio de propagação. As ondas secundárias, por exemplo, ao contrário das ondas primárias, não se propagam em fluidos pouco viscosos.

Observa-se, nos últimos anos, a busca pelo conhecimento das propriedades físicas das rochas, destacando-se nessa área a ascensão da petrofísica computacional, que obtém resultados cada vez mais precisos. O estudo das propriedades petrofísicas tem o intuito de aumentar o grau de confiabilidade ao realizar operações de cunho exploratório ou exploratório em um campo de petróleo.

Nos ensaios laboratoriais (petrofísica convencional) utilizam-se plugues, amostras cilíndricas de rochas, e os submetem a condições de temperatura, saturação de fluido e pressão similares as condições *in situ* do reservatório. Em contrapartida, o método computacional utiliza imagens de subamostras extraídas de plugues, também conhecidas como *slices*, que são obtidas por meio do imageamento por tomografia de raios x de alta resolução.

As simulações computacionais são ferramentas que possibilitam simular uma amostra sob as mais diversas condições termodinâmicas. Além disso, é importante destacar a rapidez dos ensaios e a precisão dos resultados. Conforme Apolinário

(2016), os ensaios computacionais são realizados de forma rápida e contemplam um grande número de amostras.

De acordo com Sousa (2017), a simulação da propagação de ondas S apresenta resultados satisfatórios quando realizada em amostras de arenitos e carbonatos. Vários autores (KNACKSTEDT *et al.*, 2009; DVORKIN *et al.*, 2011; MEDEIROS, 2013), têm destacado a velocidade e a qualidade dos resultados encontrados nas simulações, no entanto, há poucos trabalhos que abordam os comportamentos das ondas secundárias.

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo determinar as velocidades das ondas cisalhantes, assim como analisar seus comportamentos ao se propagarem em arenitos e rochas carbonáticas, através da petrofísica computacional com o auxílio dos *softwares Avizo Fire*® 8.1 e *Comsol Multiphysics*® 4.2.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi dividido em quatro etapas, que abrange desde a obtenção das imagens microtomográficas até as simulações no software *Comsol Multiphysics*® 4.2. A ordem das tarefas está exemplificada na Figura 1.



Figura 1. Fluxograma das atividades realizadas

2.1 Obtenção dos slices

Para a realização das simulações foram utilizadas quatro conjuntos de imagens, referentes a dois arenitos (um arenito grosso, A7, e um fino, A9) e a duas tufas carbonáticas (tufa Cachoeira Roncados, TCR, e tufa Felipe Guerra, TFG). Os arenitos são oriundos da Bacia do Rio do Peixe, já as tufas são da Bacia Potiguar. As imagens foram obtidas das amostras por meio da microtomografia de raio x, que de acordo com Holleben (1993), é uma técnica não destrutiva e permite a visualização das estruturas internas das rochas.

A aquisição das imagens microtomográficas, denominadas slices, foi realizada no Laboratório de Meios Porosos e de Propriedades Termofísicas da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Nesse processo, os slices foram resultados do registro e do processamento dos dados, que, por sua vez, são obtidos na forma de projeções da amostra sobre o detector plano. Cada subamostra é composta por mais de 1500 slices e cada um deles ocupa um espaço na memória de, aproximadamente, 2 milhões de bytes. Os slices quando empilhados formam um corpo 3D, Figura 2.

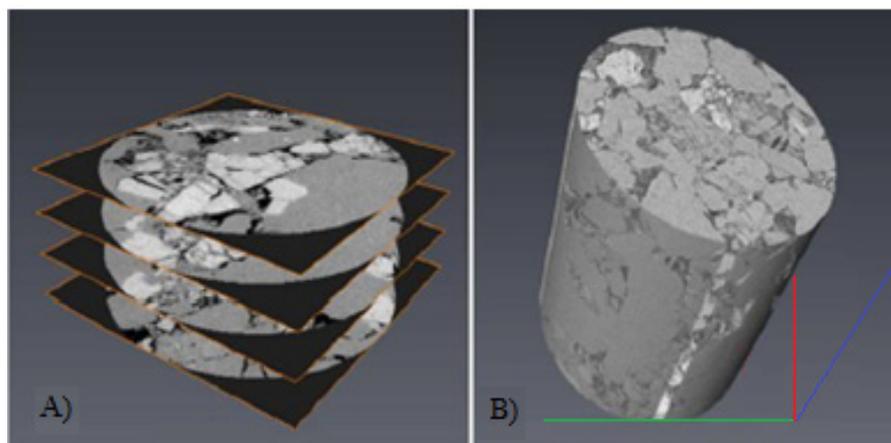


Figura 2. A) Slices empilhados; B) Estrutura 3D de uma amostra. Adaptada de Porto (2015)

2.2 Geração da Malha 3D

Na sequência as imagens microtomográficas foram importadas para o *software Avizo Fire*® 8.1, cuja finalidade é gerar as malhas necessárias a simulação da propagação de ondas no *software Comsol Multiphysics*® 4.2. Essa etapa vai desde a visualização dos *slices* pelo comando *ortho slice*, Figura 3, até a criação de uma complexa estrutura tridimensional composta por poros e a matriz.

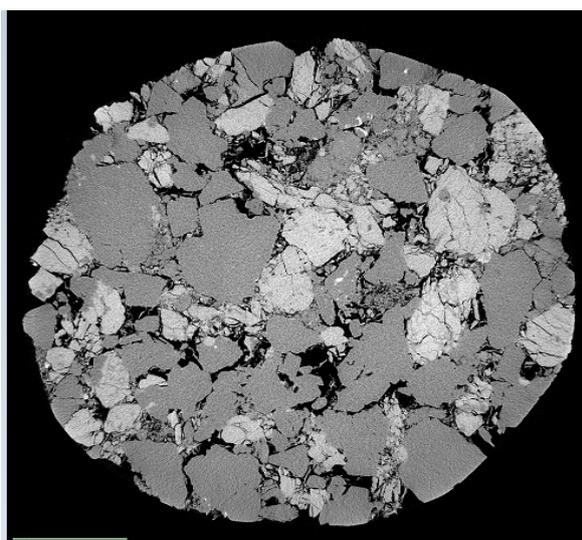


Figura 3. Slice da amostra A7

Foi crucial a determinação do parâmetro que representa a separação, o limiar, entre os tons de cinza referentes aos espaços porosos (mais escuros) e os tons

de cinza referentes a matriz mineral (mais claros). Esse limiar é obtido por meio da ferramenta *Multi-Thresholding*, mas antes é necessário a utilização do comando *Extract Subvolume*, que possibilita a escolha de um volume representativo da amostra. Uma escolha correta de um *subvolume* reduz o tamanho da imagem a ser processada e evita o chamado efeito de borda, que compromete a qualidade dos resultados gerados. A Figura 4 mostra a sequência de comandos que foram utilizados para a descoberta do limiar de cinza.

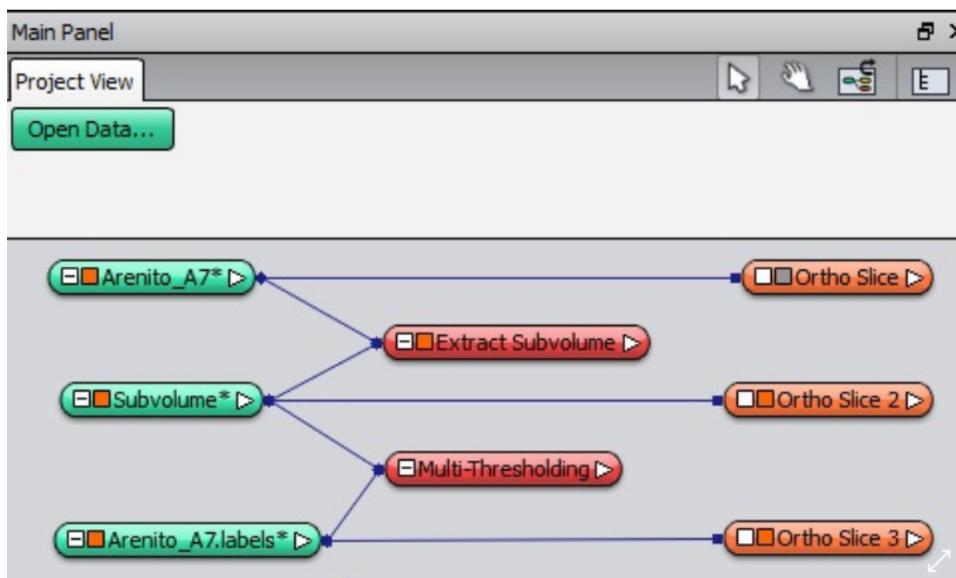


Figura 4. Comandos para determinar o limiar

Na sequência foi realizada a atividade de geração de malhas, processo que demonstrou ser complexo e demorado, exigindo uma boa capacidade de processamento do computador. Foram utilizados uma série de comandos nessa etapa, os quais são mostrados na Figura 5. Inicialmente, os *slices* foram visualizados pelo comando *Ortho Slice* e houve a escolha do *subvolume* mais representativo por meio do *Extract Subvolume*. Depois utilizou-se a ferramenta *Edit New Label Field*, onde ocorreu a binarização da futura malha.

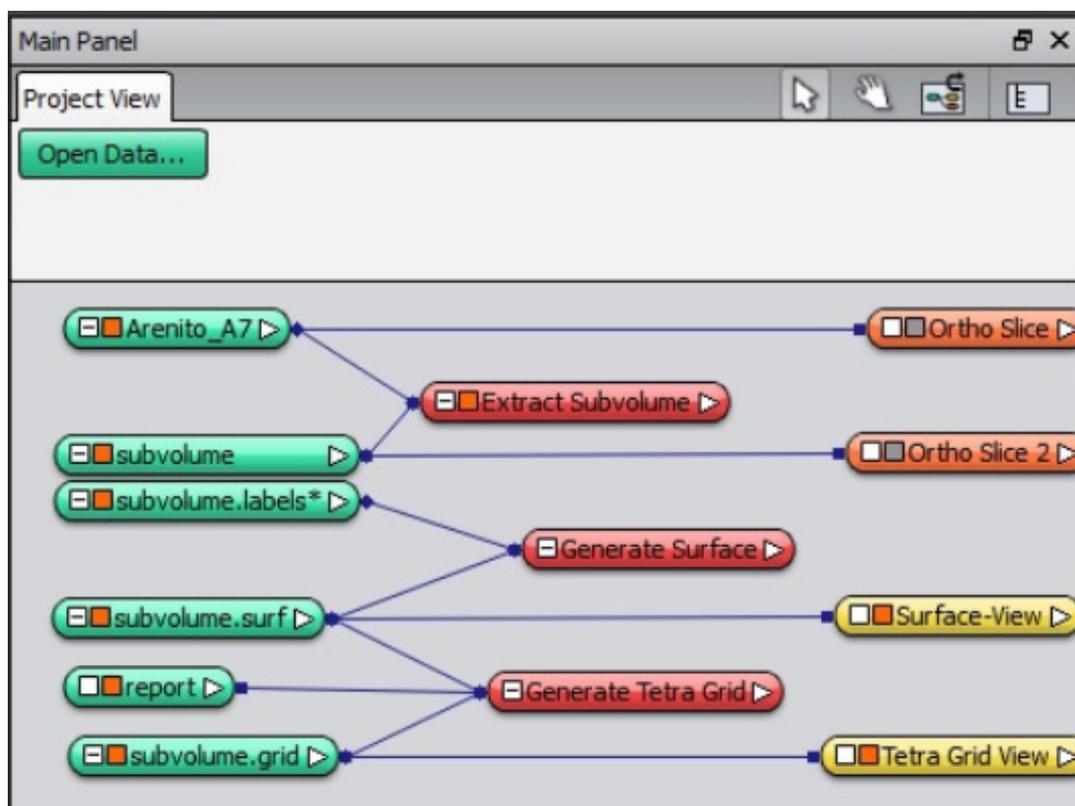


Figura 5. Conjunto de comandos necessários a geração da malha A7

Nessa ferramenta há a separação entre os espaços porosos e a matriz mineral nas imagens microtomográficas por meio do valor do limiar encontrado com o comando *Multi-Thresholding*. Na Figura 6 é possível identificar a segmentação proporcionada pelo *Edit New Label Field*. Os poros estão tracejados com a cor amarela.

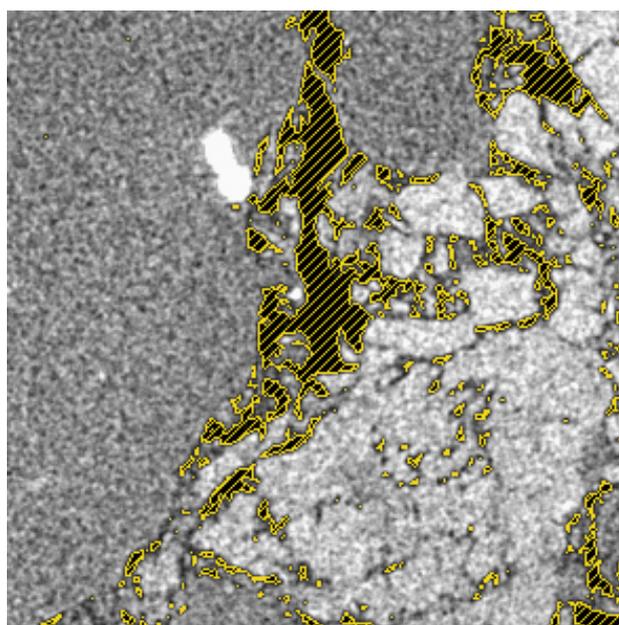


Figura 6. Segmentação da amostra TCR

Utilizou-se o comando *Generate Surface* para construir a estrutura tridimensional.

Além dessa função, o *Generate Surface* corrige, por meio da ferramenta *Simplification Editor*, as intersecções das faces dos elementos tetraédricos, as orientações dessas faces, assim como as razões de aspecto e a qualidade dos tetraédros. A Figura 7 mostra o resultado do *Generate Surface*. Nela é possível identificar a rede de poros da amostra A9, representada pelos triângulos amarelos. A parte sem cor é a matriz mineral.

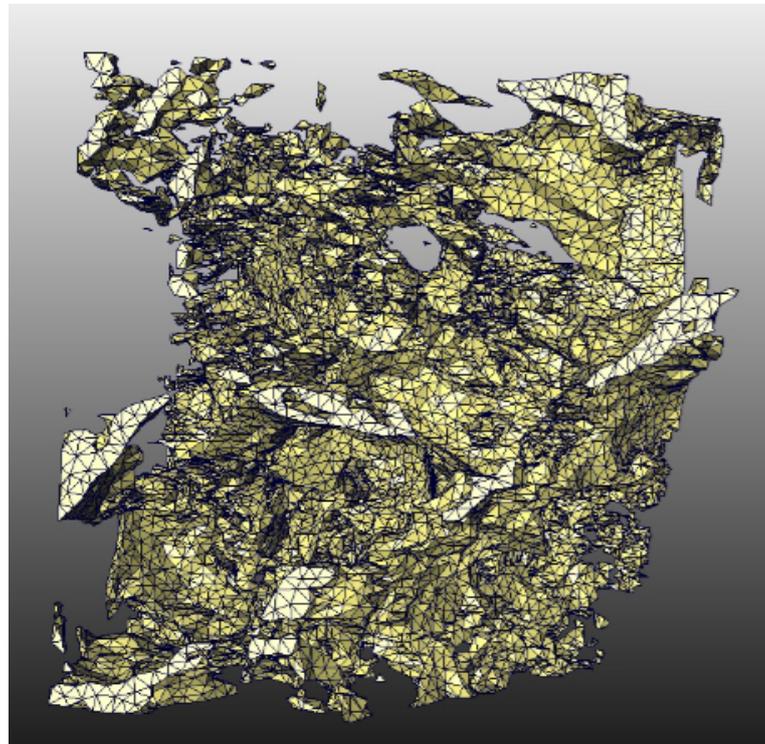


Figura 7. Rede de poros da amostra A9

Por fim, o último passo realizado no *Avizo Fire*® 8.1 foi gerar a malha, através do *Generate Tetra Grid*, e criar um arquivo no formato *bdf* compatível com o software *Comsol Multiphysics*® 4.2. A malha referente a tufa TFG é mostrada na Figura 8 e representa a primeira etapa da simulação.

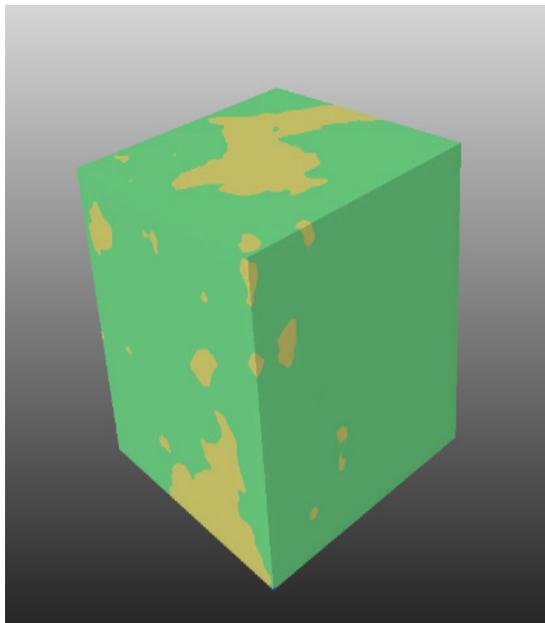


Figura 8. Malha da amostra TFG

2.3 Simulação da propagação de ondas S

A malha foi importada para o software *Comsol Multiphysics*® 4.2, onde foram identificados os materiais que compõem cada fase da amostra e escolhidos os fluidos que preenchem os espaços porosos. Utilizou-se o calcário bandado como componente da matriz para as duas tufas carbonáticas e o quartizito para os dois arenitos. Com relação ao fluido presente nos espaços porosos, optou-se pelo ar, mas havia outras opções, como a água e o óleo.

Foram fornecidas ao programa algumas propriedades essenciais a simulação, de acordo com Mavko *et al.* (2009), tais como: densidade e velocidade de propagação do som em cada fase da amostra; o valor da compressibilidade para o ar; e os módulos de cisalhamento e incompressibilidade para os calcários e arenitos. Os valores são mostrados na Tabela 1. Por fim, simulou-se uma explosão de curta duração na face de baixo da malha.

Propriedade	Calcário bandado	Ar
Densidade (g/cm ³)	2,71	1,3E-3
Compressibilidade (1/Pa)	-	1,01E-5
Módulo de cisalhamento (GPa)	33	-
Módulo de incompressibilidade (GPa)	76,8	-
Velocidade do som (m/s)	6000	340

Tabela 1. Dados de entrada para o *Comsol Multiphysics*® 4.2.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

No *software Avizo Fire*® 8.1 foram identificados, através da ferramenta *Multi-*

Thresholding, os limiares entre a região porosa e a matriz mineral das quatro amostras. Os resultados são mostrados na Tabela 2.

Amostra	Limiar
A7	64
A9	74
TFG	28
TCR	56

Tabela 2. Limiares referentes as quatro amostras

Os arenitos apresentaram os maiores limiares, portanto o programa considerou como regiões porosas uma faixa de tons de preto à cinza maior para as amostras A7 e A9 do que para as tufas TFG e TCR.

No *software Comsol Multiphysics*® 4.2 foram simuladas as propagações das ondas S, e obteve-se como resultados os histogramas, que fornecem as velocidades das ondas, e os corpos tridimensionais com os respectivos comportamentos das ondas cisalhantes ao se propagarem pelas amostras. Na Figura 9 é mostrado o comportamento da onda S ao percorrer o arenito A7.

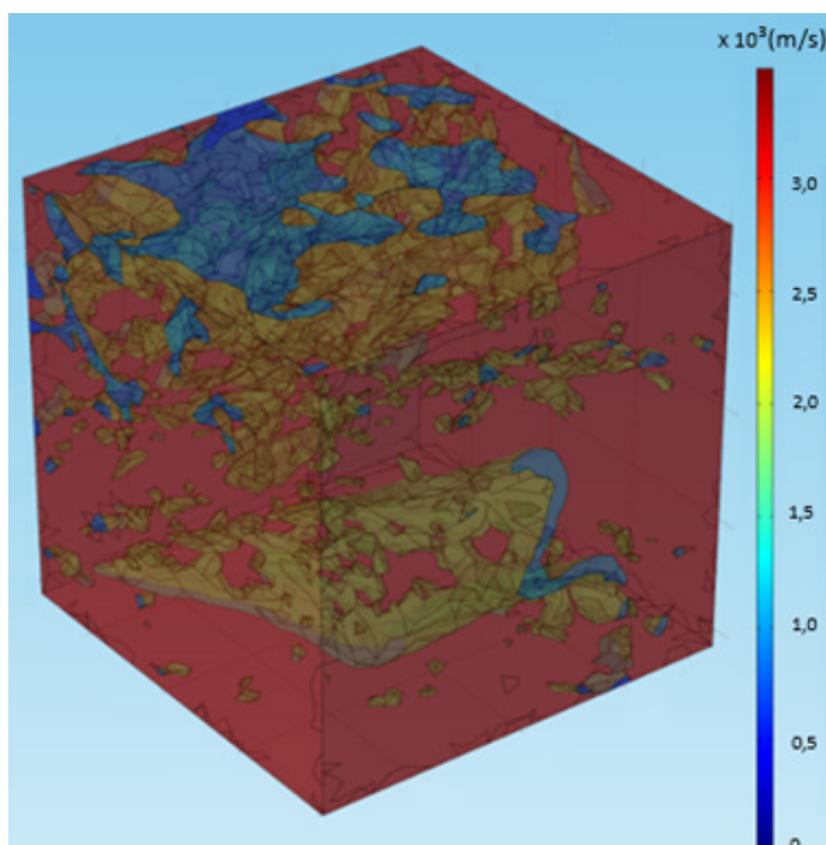


Figura 9. Propagação da onda cisalhante na amostra A7

Por meio dessa imagem, é possível identificar as diferentes velocidades da onda ao percorrer o arenito. Além disso, observa-se a estrutura de poros da amostra, pois os

espaços porosos são representados pelas cores azuis e amarelas, ou seja, as regiões com menores velocidades de propagação. Já a matriz mineral está representada pela cor vermelha e apresenta as velocidades mais altas. Conforme Oliveira (2005), as altas e baixas velocidades são justificadas pela maior ou menor resistência do material ao cisalhamento.

A partir dos histogramas gerados são realizados os cálculos das velocidades, dados pela multiplicação do valor médio de cada barra vertical pela sua respectiva porcentagem. A Figura 10 mostra o histograma referente ao arenito A7.

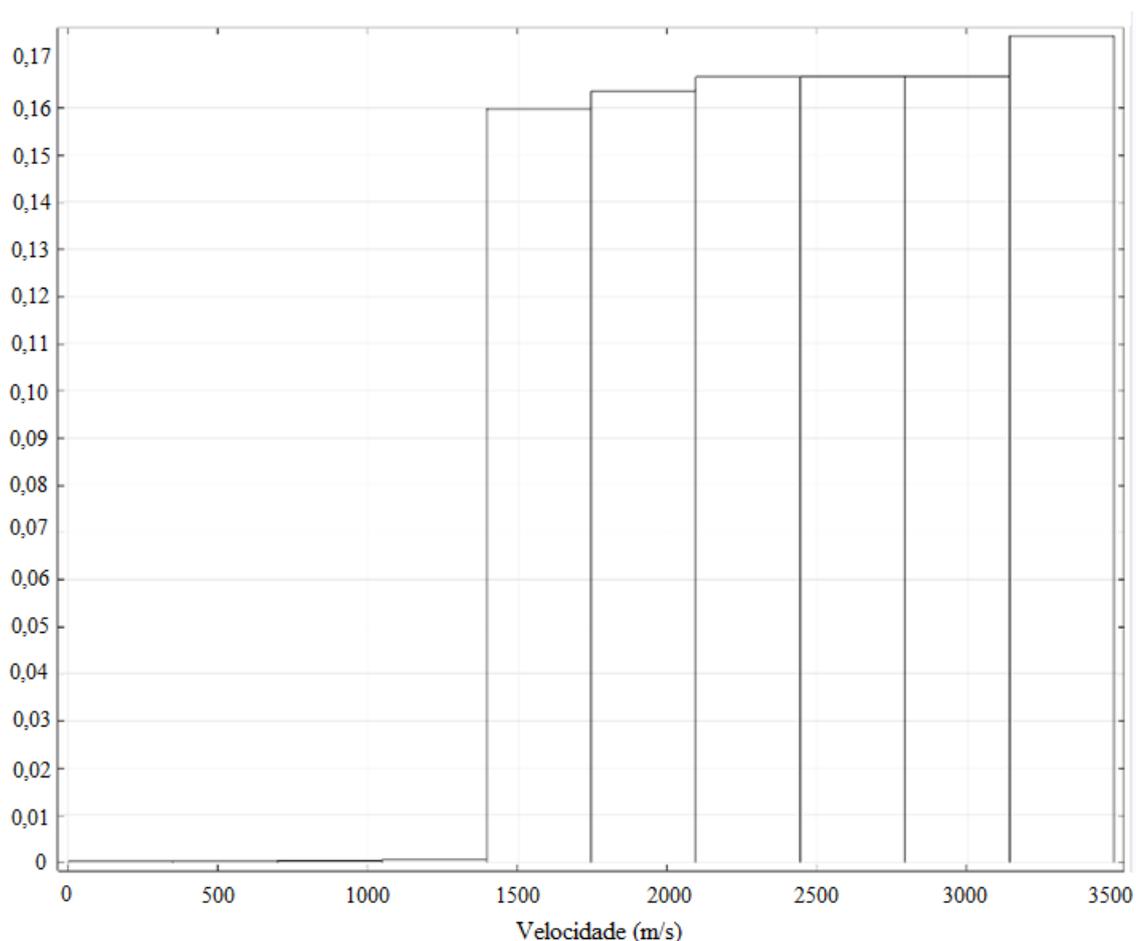


Figura 10. Representação da velocidade de propagação da onda cisalhante ao percorrer a amostra A7

Para fins de comparação foram utilizadas as velocidades obtidas convencionalmente por Sousa (2017). Esses valores juntamente com os obtidos nas simulações desenvolvidas no presente trabalho são mostrados na Tabela 3. Os desvios foram calculados em relação aos valores dos ensaios convencionais.

Amostra	Velocidades das simulações (m/s)	Velocidades obtidas convencionalmente (m/s)	Desvio (%)
A7	2322	2341	0,81
A9	2116	2035	3,98

TFG	2897	2984	2,92
TCR	2181	2362	7,66

Tabela 3. Comparação dos resultados das simulações com os obtidos convencionalmente.

Devido aos baixos valores dos desvios, é possível identificar a proximidade entre os resultados de ambas petrofísicas. Por consequência, nota-se que as simulações utilizando o *software Comsol Multiphysics*® 4.2 foram precisas.

4 | CONCLUSÕES

A simulação da propagação de ondas cisalhantes em rochas carbonáticas e arenitos, utilizando o software *Comsol Multiphysics*® 4.2, é um método inovador - há poucos trabalhos com essa especificidade. Ademais, a possibilidade de submeter às amostras a inúmeras condições termodinâmicas, enfatizam a importância dessa técnica. Outro ponto a ser considerado, é que as simulações não alteram as condições iniciais das amostras. Portanto, não sofrem influência devido a mudanças na estrutura do corpo ensaiado, ao contrário dos experimentos convencionais.

Com relação a etapa responsável pelas gerações das malhas, através do software *Avizo Fire*® 8.1, ela exigiu um grande processamento de dados e demonstrou um alto grau de complexidade.

Por fim, devido as proximidades dos valores obtidos nas simulações computacionais com os resultados da petrofísica convencional, o método desenvolvido no presente trabalho é preciso e confiável. Desse modo, representa um avanço para a petrofísica computacional e possibilita um maior conhecimento acerca comportamento das ondas S.

REFERÊNCIAS

- APOLINÁRIO, F. O. **Influência da saturação fluida nas propriedades elásticas de rochas carbonáticas**. 2016. 156f. Dissertação (Mestrado em Exploração Petrolífera) – Programa de Pós-Graduação em Petrolífera e Mineral, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.
- DVORKIN, J.; DERZHI, N.; DIAZ, E.; FANG, Q. Relevance of computational rock physics. **Geophysics**. Tulsa, vol. 76, nº 5, p 1-5, 2011.
- HOLLEBEN, C. R. C. **Determinação de porosidade e saturações de fluidos através da tomografia computadorizada de raios-x**. 1993. 198f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Petróleo) – Centro de Estudos de Petróleo, Universidade Federal de Campinas, São Paulo, 1993.
- KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **Geofísica de Exploração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 438p.
- KNACKSTEDT, M. A.; LATHAM, S.; MADADI, M.; SHEPPARD, A.; VARSLOT, T.; ARNS, C. Digital rock physics: 3D imaging of core material and correlations to acoustic flow properties.

Geophysics. Tulsa, v.28, n.1, p. 1-5, 2009.

MAVKO, G.; MUKERJ, T.; DVORKING, J. **The rock physics Handbook: tools for seismic analysis in porous media.** New York: Cambridge University Press, 2009. 522p.

MEDEIROS, L. C. **Petrofísica computacional aplicada.** 2013. 18f.; Trabalho de conclusão de curso submetida ao curso de Engenharia de Petróleo, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

OLIVEIRA, J. K. **Efeitos da porosidade efetiva e da argilosidade nas velocidades de ondas P no Arenito Namorado.** 2005. 61f. Monografia submetida ao curso de graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PORTO, A. L. (2015). **Estimação de propriedades petrofísicas de rochas sedimentares a partir de imagens microtomográficas de raios X.** 2015. 140f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos). – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

SOUSA, W. B. **Simulação numérica de propagação da onda cisalhante em rochas sedimentares a partir de imagens microtomográficas de raios x.** 2017. 66f. Dissertação (Mestre em Exploração Petrolífera) – Programa de Pós-Graduação em Petrolífera e Mineral, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo.** Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2001. 278p

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-359-0

