



X GEOQUANTI
Simpósio de Quantificação em Geociências

ANAIS

X SIMPÓSIO DE QUANTIFICAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

Balneário Camboriú, Santa Catarina
2025

Editores

Daniel Fabian Bettú	Iata Anderson de Souza
Adilson Viana Soares Júnior	Danielle Simeão Silvério Rocha
Daniela Kuranaka	Ana Paula Soares
Lindaura Maria Steffens	Francisco Manoel Wohnrath Tognoli
Paulo César Soares	



EDITORES:

Daniel Fabian Bettú
Iata Anderson de Souza
Adilson Viana Soares Jr.
Danielle Simeão Silvério Rocha
Daniela Kuranaka
Ana Paula Soares
Lindaure Maria Steffens
Francisco Manoel Wohnrath Tognoli
Paulo César Soares

ANAIS

X SIMPÓSIO DE QUANTIFICAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

1º edição

BALNEÁRIO CAMBORIÚ, SC
SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA

2025

Simpósio de Quantificação em Geociências, 10., 2025

Anais [do] X Simpósio de Quantificação em Geociências [recurso eletrônico] / editores: Daniel Fabian Bettu ... [et al.]. – Balneário Camboriú : Sociedade Brasileira de Geologia, 2025
141 p. : il. color.

Evento realizado em Balneário Camboriú/SC de 17 a 20 de agosto de 2025

ISBN: 978-85-99198-38-4

1. Geologia. 2. Geociências. 3. Quantificação. 4. Análise de dados. 5. Geotecnologias. I. Bettu, Daniel Fabian. II. Título.

CDD 550

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI – Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP – Ethiane Rodrigues de Oliveira – CRB: 8/9948





COMISSÃO ORGANIZADORA

Presidente de Honra do X Simpósio de Quantificação em Geociências

Paulo Cesar Soares (UFPR)

Presidente do X Simpósio de Quantificação em Geociências

Daniel Fabian Bettú (UDESC)

Comitê Executivo

Adilson Viana Soares Jr. (UNIFESP), Ana Paula Soares (PUC-Rio), Daniela Kuranaka (UNESP), Danielle Simeão Silverio Rocha (UNESP), Francisco Manoel Wohnrath Tognoli (UFRJ), Gustavo Kogure (UDESC), Iata Anderson de Souza (UNESP), José Gustavo Natorf de Abreu (UNIVALI), Lindaure Maria Steffens (UDESC), Mauro Michelena Andrade (UNIVALI)

Comitê Científico

Camila Duelis Viana (USP), Edenilson Roberto do Nascimento (UFPR), Felipe Guadagnin (UNIPAMPA), Holden Robson Amorim (PETROBRAS), Liliana Sayuri Osako (UFSC), Mauro Roisenberg (UFRGS), Rodrigo Lilla Manzione (UNESP), Wagner Moreira Lupinacci (UFF)



SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA – SEDE

Diretora Presidente: Elisa Soares Rocha Barbosa - UFG

Diretora Vice-Presidente: Nely Palermo - UERJ

Diretor 1º Secretário: Murilo Brandão de Medeiros – EQUINOR

Diretor 2º Secretário: César Lisboa Chaves – SGB

Diretor Financeiro: Iata Anderson de Souza - UNESP

Diretora de Comunicação e Publicações: Simone C. Pereira Cruz - UFBA

Diretora de Programação Técnico-Científica: Sheila G. Teixeira - SGB

Diretor Adjunto: Fábio Luis Neri Guimarães – BEMISA

MENSAGEM DA COMISSÃO ORGANIZADORA

Em nome da Sociedade Brasileira de Geologia, a **Comissão Organizadora** agradece as importantes contribuições recebidas no **X Simpósio de Quantificação em Geociências (X GEOQUANTI)**, realizado em Balneário Camboriú (SC) de 17 a 20 de agosto de 2025.

O **Simpósio de Quantificação em Geociências** iniciou no ano de 1985 e as 8 edições foram organizados por um pequeno grupo nas dependências da UNESP na cidade de Rio Claro – SP, até o ano 2000. Após mais de 20 anos sem ser realizado, o evento retornou em 2022 como nona edição, promovido pela primeira vez pela Sociedade Brasileira de Geologia. Agora, em 2025, a cidade de Balneário de Camboriú – SC teve a grande honra de receber a décima edição.

A Geologia até há bem pouco tempo, era frequentemente considerada uma ciência baseada em interpretações puramente qualitativas dos fenômenos geológicos. Nos últimos anos, porém, tem sido notável a mudança da fase descritiva para a utilização de métodos quantitativos. Na área aplicada, onde a interpretação geológica, além de estar fundamentada em conceitos científicos, precisa ter enfoque econômico, observa-se uma marcante tendência quantitativa que vem possibilitando avanços importantes principalmente no uso de técnicas espaciais e espaço-temporais, além de avaliação de riscos e incertezas. Nas últimas décadas, graças a avanços tecnológicos tanto em termos computacionais como em equipamentos de laboratório e de campo mais refinados, tem sido intensa a obtenção de dados geológicos quantitativos. A sua análise, porém, está muito aquém dessa imensa quantidade de informações coletadas. Basta ver os relatórios de pesquisa e mesmo os bancos de dados com um grande número de matrizes de informações não trabalhadas. Verbas e tempo são gastos com essa coleta que precisa ser devidamente manuseada para a análise dos dados. Deve ser enfatizado, porém, que a pura utilização de métodos quantitativos, hoje em dia bastante facilitada graças à vasta disposição de programas computacionais, não é condição suficiente se o estudo não for embasado num sólido conhecimento geológico

Nesta versão do **X GEOQUANTI** foram recebidos e aprovados 93 **trabalhos** que foram divididos em 6 Sessões Temáticas: **Gerenciamento, Análise e Ciência de Dados; Análise Espacial e Séries Temporais; Algoritmos e Aplicativos nas Geociências; Inteligência Artificial nas Geociências; Geoestatística, Modelagem e Simulação; e Avaliação de Riscos e Incertezas**. Adicionalmente, o **X GEOQUANTI** ofereceu aos participantes **6 Conferências, 8 palestras e 2 Mesas-Redondas** aos participantes interessados em atualizar seus conhecimentos.

Esperamos que o evento tenha sido uma excelente oportunidade de intercâmbio e interação entre gerações e entre as esferas acadêmica e profissional, para as quais preparamos o conteúdo deste evento na ânsia de contribuir com o desenvolvimento científico e tecnológico da temática abrangida.

Comissão Organizadora

SUMÁRIO

CONFERÊNCIAS & PALESTRAS

A MAGNÍFICA DIMENSÃO DOS DESAFIOS AOS PESQUISADORES DAS GEOCIÊNCIAS	02
<i>Paulo César Soares</i>	
CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL E PETROFÍSICA EM ZONAS DE FALHA	03
<i>Francisco César Costa Nogueira</i>	
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO MAPEAMENTO DE RISCO E SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS	04
<i>Camila Duelis Viana, Ygor Sena Macedo, Karina da Silva Lima, Juliana Sabrina da Conceição Silva, Helen Cristina Dias, Lucas Pedrosa Soares, Rebeca Durço Coelho, Enzo Franceschi Genesi, Gabriella Labate Frugis, Carlos Eduardo da Silva, Debora Ferreira Quina, Guilherme P. B. Garcia, Carlos Henrique Grohmann</i>	
APRENDIZADO DE MÁQUINA PARA PREDIÇÃO DE DADOS MINERALÓGICOS EM MODELOS GEOMETALÚRGICOS	05
<i>João Pedro Gross Laque, Oscar Plaza de los Reyes, Sergio Salinas, Orlando Rojas, Talita Ferreira</i>	
ANÁLISE EXPLORATÓRIA ESPACIAL E TEMPORAL DE DADOS GEOGRÁFICOS: UMA FERRAMENTA DE SUPORTE À GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	07
<i>Rodrigo Lilla Manzione</i>	
MODELAGEM NUMÉRICA DE PROCESSOS SEDIMENTARES EM FLUXOS GRAVITACIONAIS – SEU POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO NOS ESTUDOS CIENTÍFICOS E NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO	08
<i>Gilberto Athayde Albertão, Katarine Costa Lacerda, Hermes Dias Brito, Luana Pereira Costa de Moraes, Iata Anderson de Souza, Victor Hugo Couto, Kenji F. Motoki, Julia de Oliveira, Cleverson Guizan Silva</i>	
EPISÓDICOS NA FREQUÊNCIA COM EFEITOS DE LONGA SÉRIE NO RESERVATÓRIO: A IMPORTÂNCIA DA RECARGA NO CICLO HIDROLÓGICO	10
<i>Gustavo Athayde, Lucas Garcia, Daniel Lange, Rodrigo Guimarães, Maurício Melati, Camila Athayde</i>	
ANDROMEDA: UM APLICATIVO EM PYTHON PARA A INVERSÃO DE DADOS SÍSMICOS	11
<i>Wagner Moreira Lupinacci, João Reis, João Estrella, André Albano, Matheus Nilo</i>	
AS ESCALAS TECNOLÓGICA E TEMPORAL EM DADOS GEOESPACIAIS: LIMITES E POSSIBILIDADES DE INTEGRAÇÃO	12
<i>Edenilson Roberto do Nascimento</i>	
PROJETOS DE FUNDAÇÕES DE PRÉDIOS ALTOS: EXPERIÊNCIAS E CASOS EM BALNEÁRIO CAMBORIÚ	13
<i>Ricardo Born, Luis F. P. Sales</i>	

SESSÃO TEMÁTICA 01 – GERENCIAMENTO, ANÁLISE E CIÊNCIA DE DADOS

INTRASOM: UMA BIBLIOTECA DE MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS EM PYTHON PARA APLICAÇÕES DE QUANTIFICAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS	15
<i>Rodrigo César Teixeira de Gouvêa, Cleyton de Carvalho Carneiro, Rafael dos Santos Gioria, Gustavo Rodovalho Marques</i>	
MAPA DE RISCO DE EXPOSIÇÃO DO RADÔNIO RESIDENCIAL DOS MUNICÍPIOS DE BUTIÁ E SÃO JERÔNIMO	17
<i>Nícolas Colissi, Christie Helouise Engelmann de Oliveira, Oderson A. Souza Filho, Jacson C. Jung, Vera M. V. Paniz, Juvenal S. D. Costa</i>	
ASSINATURAS GEOMORFOMÉTRICAS DE UNIDADES LITOLÓGICAS E ESTRUTURAS GEOLÓGICAS NO ESCUDO PARANAENSE	18
<i>Felipe Villalobos Muller, Ricardo Michael Pinheiro Silveira</i>	
INTEGRATION AND VISUALIZATION OF LITHOGEOCHEMICAL DATA FROM THE PARANÁ MAGMATIC PROVINCE (PMP) FOR CCUS APPLICATIONS	19
<i>Mauren E. Gaspar, Thais M. Maia, Cicera Neysi de Almeida, Francisco M. W. Tognoli, Sergio C. Valente</i>	
ANÁLISE COMPARATIVA DA DIMENSÃO FRACTAL E FUNÇÕES DE CAMINHO LINEAR EM ESTRUTURAS POROSAS DE CALCITA E DOLOMITA	20
<i>Jean Firmino Cardoso, Daiane Francisca do Nascimento Silva, Severino Martins dos Santos Neto, Daniel Milian Pérez, José Miguel Reichert, Antonio Celso Dantas Antonino</i>	
ANÁLISE DA VAZÃO DOS POÇOS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO NOROESTE RIO-GRANDENSE (RS)	21
<i>Camila Lemos Teixeira, Christie Helouise Engelmann de Oliveira</i>	
USO DA LINGUAGEM PYTHON APLICADO EM ANÁLISES RADIOMÉTRICAS DA FORMAÇÃO IRATI, ESTADO DE SÃO PAULO	22
<i>Gabrielle Roveratti, Daniel Marcos Bonotto</i>	
USO DA LINGUAGEM PYTHON APLICADO EM ANÁLISES GEOQUÍMICAS DA FORMAÇÃO IRATI, ESTADO DE SÃO PAULO	23
<i>Gabrielle Roveratti, Daniel Marcos Bonotto</i>	
ESTUDO HIDROQUÍMICO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DO RIO TIETÊ (SP) COM BASE NO BANCO DE DADOS DAS ANÁLISES DA ÚLTIMA DÉCADA	24
<i>Isabela Guimarães de Araujo, Daniel Marcos Bonotto</i>	
PERFIS DE POROSIDADE EM ESTRUTURAS POROSAS 3D: APLICAÇÕES EM ROCHAS CARBONÁTICAS	25
<i>Jean Firmino Cardoso, Daiane Francisca do Nascimento Silva, Severino Martins dos Santos Neto, Daniel Milian Pérez, José Miguel Reichert, Antonio Celso Dantas Antonino</i>	
DATA MANAGEMENT PLATFORM FOR PROJECTS ON MAGMATISM AND TECTONICS	26
<i>Tiago Badre Marino, Sergio de Castro Valente</i>	

INTEGRAÇÃO DE BASE DE DADOS GEOLÓGICOS: ESTUDO DE CASO SOBRE LEVANTAMENTOS DE DADOS DURANTE A DISCIPLINA DE MAPEAMENTO GEOLÓGICO (UFPR), NO ESTADO DE SANTA CATARINA	28
<i>Nicolas dos Santos Rosa, Matheus Ariel Battisti, Carlos Eduardo de Mesquita Barros, Elvo Fassbinder, Estephanie Daiane Batista da Silva</i>	

BASIN-SCALE LITHOLOGICAL STANDARDIZATION FROM LEGACY WELL GEOLOGICAL FILES: AUTOMATED PARSING AND DEPTH CONVERSION IN THE PARANÁ BASIN	29
<i>Theresa Rocco Pereira Barbosa, Luiz Felipe Franco Ferreira, Liliane Paiva Panetto, Helena Saraiva Koenow Pinheiro, Sérgio de Castro Valente</i>	

SESSÃO TEMÁTICA 02 – ANÁLISE ESPACIAL E SÉRIES TEMPORAIS

SIMILARIDADE ENTRE PERFIS DE POÇOS ATRAVÉS DE SÉRIES AUTO-ORGANIZAVEIS (SORS) E CURVAS DE PREENCHIMENTO DO ESPAÇO	31
<i>Rodrigo César Teixeira de Gouvêa, Cleyton de Carvalho Carneiro</i>	

MODELAGEM DO POTENCIAL EROSIVO PLUVIOMÉTRICO E GEOMORFOMÉTRICO NO PANTANAL DE MATO GROSSO (BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO LOURENÇO)	33
<i>Horiana Rodrigues Passamani, Ricardo Michael Pinheiro Silveira</i>	

PEABIRU PATHS DTW: DESMISTIFICANDO OS CAMINHOS PARA O ALINHAMENTO GEOMÉTRICO, FÍSICO E CONSISTENTE ENTRE SÍSMICA E POÇO	34
<i>Marcelus Glaucus de Souza Araújo, Antonio de Padua Cunha Pires Filho, Rafael da Costa Silva, Diego Furtado Silva</i>	

ANÁLISE GEOESPACIAL DOS CONDICIONANTES CLIMÁTICOS E GEOLÓGICOS DEFLAGRADORES DOS MOVIMENTOS DE MASSA NO VALE DO TAQUARI EM MEIO AO EVENTO EXTREMO (2024, RS)	35
<i>Olívia Maria Souza Santos, Francisco Manoel Wohnrath Tognoli, Alessandro Ferraz Palmeira</i>	

ANÁLISE TOPOLÓGICA DAS REDES DE FRATURAS DO SATÉLITE GALILEANO EUROPA	37
<i>Viviane Figueiredo Peixoto, Bruno Eduardo Morgado, Francisco Manoel Wohnrath Tognoli</i>	

O DESAFIO DA QUANTIFICAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DE POLUIÇÃO DE ÁGUAS EM ÁREAS DE MINERAÇÃO ABANDONADA DE PEQUENA ESCALA	38
<i>Marina Thimotheo, Ricardo Perobelli Borba, Francisco Manoel Wohnrath Tognoli</i>	

ANÁLISE ESPACIAL DE ÁREAS CONTAMINADAS E VULNERABILIDADE SOCIAL NA METRÓPOLE PAULISTANA	39
<i>Isabella Medeiros Caires, Adilson Viana Sores Junior, Iata Anderson de Souza, Angelo Cezar Borges de Carvalho</i>	

DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (1985-2023) EM ÁREA DE AQUÍFERO CÁRSTICO URBANO NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA: UMA ANÁLISE MULTITEMPORAL COM GEOTECNOLOGIAS	41
<i>Arthur Borges Mello, Luís Gustavo de Castro, Alessandra de Barros e Silva Bongioiolo, Paula Cristina Neuburger de Oliveira, Marcos Vitor Fabro Dias, Oscar Salazar Júnior</i>	

MODELAGEM PREDITIVA DE CONTAMINANTES NAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DO RIO TIETÊ (SP) NA ÚLTIMA DÉCADA	43
<i>Isabela Guimarães de Araujo, Daniel Marcos Bonotto</i>	

CORRELAÇÃO ENTRE A DENSIDADE DA VEGETAÇÃO RIPÁRIA E A QUALIDADE DA ÁGUA EM RIOS NO ESTADO DE SÃO PAULO UTILIZANDO IMAGENS DE SATÉLITE SENTINEL2 E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO	44
<i>Juliana Mitie Isayama Asano, Rafael Augusto Caracciolo Arone, Davi Gasparini Fernandes Cunha</i>	

EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA LINHA DE COSTA DO LITORAL MÉDIO E SUL DO RIO GRANDE DO SUL: DINÂMICA ATUAL E PROGNÓSTICO	46
<i>Vanessa Schmitzhaus, Joana Neukamp, Douglas Blauth, Luiz Felipe Bastos Sartor, Neimar Barronio, Hayslom Pinzon Pereira, Christie Engelmann de Oliveira, Renata Guimarães Netto</i>	

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOFÍSICA EM ZONA CRÍTICA URBANIZADA	47
<i>Victoria Malta Pereira de Lima, Andrea Teixeira Ustra, Letícia Rangel Dantas</i>	

SESSÃO TEMÁTICA 03 – ALGORITMOS E APLICATIVOS NAS GEOCIÊNCIAS

WE-ME: SISTEMA INTELIGENTE PARA PADRONIZAR E EXTRAIR DE FORMA AUTOMATIZADA DADOS DE POÇOS PARA WORKFLOWS DE INTERPRETAÇÃO SÍSMICA	50
<i>Maria Eduarda Candida Francklin Francisco, Francisco Manoel Wohnrath Tognoli</i>	

GEOMETRIC ALGORITHM FOR OPTIMIZED GRID SPACING DETERMINATION IN FRACTAL DIMENSION ANALYSES	52
<i>Eros Kerouak Cordeiro Pereira, Saulo Pomponet Oliveira , Leonardo Uieda, Alessandra de Barros e Silva Bongioio, Tiago Lima Rodrigues</i>	

DESENVOLVIMENTO PRELIMINAR DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO PARA RECONHECIMENTO DE PADRÕES TAFONÔMICOS EM MICROTOMOGRAFIAS DE COQUINAS GERADAS POR MODELAGEM FÍSICA	54
<i>Vitor Mateus Lopes Vargas, Cristiano Fick, João Felipe Campanaro, Julia Favoreto, Fernando Neves, Leonardo Borghi, Eduardo Puhl</i>	

MAPEAMENTO LITOFACIOLÓGICO DA PLATAFORMA CONTINENTAL CATARINENSE A PARTIR DA COMPILAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS GRANULOMÉTRICOS	55
<i>Stévia Duarte Silva, José Gustavo Natorf de Abreu, Norberto Olmiro Horn Filho, Cristian Nunes Estevam</i>	

SCALABLE PYTHON PIPELINE FOR AUTOMATED BATCH PROCESSING AND STANDARDIZATION OF DLIS WELL LOGS FROM THE PARANÁ BASIN	57
<i>Theresa Rocco Pereira Barbosa, Liliane Paiva Panetto, Edjane da Silva, Luiz Felipe Franco Ferreira, Helena Saraiva Koenow Pinheiro, Sérgio de Castro Valente</i>	

BUILDING TECTONIC SCENARIOS USING A COMPUTATIONAL GEODYNAMICS MODEL	58
<i>João Paulo de Souza Bueno, Rafael Monteiro da Silva, Victor Sacek</i>	

PROGRAMA PYTHON PARA CLASSIFICAÇÃO DE NÓS EM BANDAS DE DEFORMAÇÃO	60
<i>Augusto Lauande Rodrigues</i>	

DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS INTERATIVOS PARA O ENSINO DE GEOCIÊNCIAS COM IMPRESSÃO 3D E TECNOLOGIA DE BAIXO CUSTO	61
<i>Davi da Rocha Machado Faria, Tiago B. Marino, Anderson C. Santos</i>	
MITIGATION OF OUTLIERS IN GRAVITY INTERPOLATION USING WEIGHTED EQUIVALENT SOURCES	63
<i>Eros Kerouak Cordeiro Pereira, Leonardo Uieda, Alessandra de Barros e Silva Bongioio, Luizemara Szameitat</i>	

SESSÃO TEMÁTICA 04 – INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NAS GEOCIÊNCIAS

ESTATÍSTICAS PARA DETERMINAÇÃO DE AMOSTRAS TÍPICAS EM AGRUPAMENTO DE DADOS MULTIVARIADOS OBTIDOS POR MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS E K-MÉDIAS	65
<i>Gustavo Rodovalho Marques, Cleyton de Carvalho Carneiro</i>	
MLOPS APLICADO À GEOLOGIA E PERFIS DIGITAIS DE POÇO	67
<i>Pedro de Lima Cavalcanti, José Adilson N. Santos, Mário de Lima Filho</i>	
APLICAÇÃO DE ANÁLISE MULTIVARIADA PARA OTIMIZAR A INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE FRX PORTÁTIL	68
<i>Letícia Lopes dos Santos, Josiane Branco Plantz, Laís de Oliveira Ferreira, Jeferson Santos, Héllisson Nascimento dos Santos, Leonardo Borghi</i>	
DETERMINAÇÃO DE CURVA DE PERFIL SÔNICO EM POÇO DA BACIA SERGIPE-ALAGOAS UTILIZANDO ALGORITMO SUPERVISIONADO XGBOOST REGRESSOR	70
<i>Rodrigo Brunetta, Carolina Danielski Aquino</i>	
REDES GENERATIVAS ADVERSÁRIAS (GANS) APLICADAS À MODELAGEM GEOLÓGICA DE FÁCIES	72
<i>Carlos Eduardo Corrêa Medeiros, Lindaura Maria Steffens, Ana Paula Soares</i>	
DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CO ₂ EM ÁREAS EXPLORATÓRIAS: DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO MULTIDISCIPLINAR E DA UTILIZAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	74
<i>Alexandre Cruz Sanchetta, Ana Paula Soares, Farid Shecaira, Vitor Bento de Sousa, Marcelo Blauth, Mauro Becker, Marcos Sebastião dos Santos, Abdigal Gabriel Camargo Barra, Manoela Koehler, Alexander Leonardo Lique Lamas, Marco Aurélio Pacheco, Fernanda Silva Lourenço, Isabela Oliveira Carmo, Mario Neto Cavalcanti de Araujo</i>	
MEGAPORE: AN ACADEMIC WEB APP FOR QUANTIFICATION OF MEGA AND GIGA POROUS FROM BOREHOLE IMAGES	75
<i>Smith Arauco Canchumuni, Vinicius Mattoso Reis da Silva, Lanna Sinimbu, Igor Lima de Jesus, Marcelo Blauth, Ana Paula Soares, Mauro Becker, Paulo S. Cruz, Alexandre Cruz Sanchetta, Marco Aurélio Cavalcanti Pacheco, Leonardo Tedeschi, Claudio Roseinberg, Leonardo G. Gandini, Jian Zhao</i>	
U-NET APLICADA AO RECONHECIMENTO DE SISMOFÁCIES NA BACIA DE SERGIPE-ALAGOAS	76
<i>Robson Wants, Carolina Danielski Aquino, Hideo Arakis</i>	

GEOML: UMA BIBLIOTECA EM PYTHON PARA MODELAGEM ESPACIAL ATRAVÉS DE APRENDIZAGEM	77
<i>Ítalo Gomes Gonçalves, Felipe Guadagnin, Ezequiel Galvão de Souza, Everton Frigo, Marcus Vinicius Aparecido Gomes de Lima, Leugim Corteze Romio, Diogo Peixoto Cordova</i>	
APLICAÇÃO DE APRENDIZADO DE MÁQUINA SUPERVISIONADO PARA MAPEAMENTO GEOLÓGICO PREDITIVO NA REGIÃO DE LAVRAS DO SUL, RIO GRANDE DO SUL	79
<i>Matias Valladão Silva</i>	
AUTOMATED BOREHOLE BREAKOUT RECOGNITION USING AI AND PSEUDO-LABELS	80
<i>Smith Arauco Canchumuni, Vinicius Mattoso Reis da Silva, Lanna Sinimbu, Igor Lima de Jesus, Marcelo Blauth, Ana Paula Soares, Mauro Becker, Paulo S. Cruz, Alexandre Cruz Sanchetta, Leonardo A. F. Mendoza, Marco Aurélio Cavalcanti Pacheco, Leonardo Tedeschi, Jian Zhao</i>	
APRENDIZADO PROFUNDO APLICADO À INTERPRETAÇÃO DE FÁCIES A PARTIR DE PERFIS DE IMAGEM ACÚSTICA	81
<i>Lenita de Souza Fioriti, Rodrigo César Teixeira de Gouvêa, Cleyton de Carvalho Carneiro</i>	
INVERSÃO SÍSMICA GUIADA POR DEEP LEARNING APLICADA EM RESERVATÓRIOS CARBONÁTICOS DO PRÉ-SAL	82
<i>Fábio Júnior Damasceno Fernandes, Eberton Rodrigues de Oliveira Neto, Leonardo Teixeira, Wagner Moreira Lupinacci</i>	
ANÁLISE DE ERROS DE CLASSIFICAÇÃO EM MODELOS DE APRENDIZADO DE MÁQUINA: UM ESTUDO DE CASO NO INTERVALO PERMOCARBONÍFERO DA BACIA DO PARANÁ	84
<i>Francisco Manoel Wohnrath Tognoli</i>	
PREDIÇÃO DA PROFUNDIDADE DO HORIZONTE R NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO COM RANDOM FOREST, VALIDAÇÃO LEAVE-ONE-BLOCK-OUT E PRÉ-PROCESSAMENTO BASEADO EM LLM	85
<i>Johann Canuto Waterkemper, Francisco Manoel Wohnrath Tognoli, Elias M. G. Prado</i>	
SEGURANÇA EM ATIVIDADE DE CAMPO E BUSCA DE DESAPARECIDOS EM TRILHAS: UMA ABORDAGEM BASEADA EM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	86
<i>Johann Canuto Waterkemper, Maysa Pereira Tomé</i>	
CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE MODELOS VIRTUAIS DE AFLORAMENTO EM 3D ATRAVÉS DE REDES NEURAIAS CONVOLUCIONAIS	88
<i>Ítalo Gomes Gonçalves, Felipe Guadagnin, Eduardo Roemers-Oliveira, Ezequiel Galvão de Souza, Tiago Rafael Gregory, Ana Clara Freccia, Guilherme de Godoy Rangel</i>	
UNSUPERVISED MACHINE LEARNING APPROACHES FOR THE LITHOGEOCHEMICAL CLASSIFICATION OF BASALTS IN THE PARANÁ MAGMATIC PROVINCE	90
<i>Giovana Medeiros Rosa, Julio Lopes da Silva, Theresa Rocco Pereira Barbosa, Helena Saraiva Koenow Pinheiro, Artur Corval, Sérgio Castro Valente</i>	
AValiação DO DESEMPENHO DE REDE NEURAIAS NA INTERPRETAÇÃO DE NUVEM DE PONTOS	91
<i>Eliel Jessé Moraes de Jesus Junior, Jorge Antonio Silva Centeno</i>	

MODELAGEM DE RESERVATÓRIOS CARBONÁTICOS A PARTIR DE AGRUPAMENTOS EM SISMOFÂCIES: UM ESTUDO DE CASO NO PRÉ-SAL DA BACIA DE SANTOS	92
<i>Felipe Ferreira Luiz Gorla, Julia Campos Guerrero, Gabriella Tálamo Fontaneta, Marco Antonio Carlotto, André de Gasperi, Ednilson Bento Freire, Rodrigo César Teixeira de Gouvêa, Cleyton de Carvalho Carneiro</i>	

MAPA PREDITIVO DO BLOCO SÃO GABRIEL-RS COM MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS	93
<i>Gabriel Monaco</i>	

APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE FOTOMICROGRAFIAS DE ROCHAS CARBONÁTICAS	95
<i>Gabriele Braatz Baptista de Matos, Cassiana Roberta Lizzoni Michelin, Claudio Rosito Jung, Luciana Regina Bencke, Viviane Pereira Moreira</i>	

SESSÃO TEMÁTICA 05 – GEOESTATÍSTICA, MODELAGEM E SIMULAÇÃO

MODELAGEM 1D DE DISPERSÃO DE CALOR POR CONDUÇÃO EM MÚLTIPLAS SOLEIRAS - ESTUDO DE CASO NA BACIA DO PARANÁ	97
<i>Giovani Matte Cioccare, Marcelo Schramm</i>	

SISTEMÁTICA BASEADA EM GEOESPATIAL DATA CUBES PARA MODELAGEM PREDITIVA DE SUBSUPERFÍCIE	98
<i>Cleyton de Carvalho Carneiro, Rodrigo César Teixeira de Gouvêa, Isabela de Oliveira Carmo, Fernanda Silva Lourenço, Gabriel do Nascimento Freitas, Gabriel Monaco Ribeiro da Silva, Ivan Silva Carvalho</i>	

ESTUDOS DE MALHAS PARA UMA CLASSIFICAÇÃO CONFIÁVEL DE RECURSOS MINERAIS	100
<i>João P. G. Laque, Orlando Rojas, Sergio Salinas, Rocio Faúndez, Talita C. de O. Ferreira</i>	

POR QUE NÃO USAMOS MÉTODOS NÃO LINEARES?	102
<i>Orlando Rojas, Rodrigo Barra, Javier Olivares, Rocío Faúndez, Sergio Salinas, João P. G. Laque, Talita C. de O. Ferreira</i>	

O IMPACTO DA VARIAÇÃO DA ESPESSURA LITOSFÉRICA SOBRE A ARQUITETURA DE MARGENS CONTINENTAIS CONJUGADAS: UMA ABORDAGEM NUMÉRICA	104
<i>Gustavo Gosling, Victor Sacek</i>	

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE ESTILOS TECTÔNICOS EM PLANETAS ROCHOSOS	105
<i>Pedro E. Pinheiro, Victor Sacek</i>	

MODELAGEM GEOMORFOMÉTRICA DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS NAS MONTANHAS DA SERRA DA PRATA (PARANÁ)	106
<i>Ricardo Michael Pinheiro Silveira, Claudinei Taborda da Silveira, Lucas de Oliveira Gonçalves</i>	

COMPARAÇÃO ENTRE MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS E K-MEANS NA MODELAGEM E ESTIMATIVA DE DOMÍNIOS DE TEORES EM DEPÓSITOS DE FERRO	107
<i>Ivan Silva Carvalho, Marcelo Monteiro da Rocha, Cleyton de Carvalho Carneiro</i>	

GEOLOGIA DOS COSTÕES ROCHOSOS DA PRAIA BRAVA- RJ A PARTIR DA INTERGRAÇÃO DE DADOS DE CAMPO E FOTOGRAMETRIA DIGITAL	108
<i>Carolina Nunes Gonçalves Dias, Francisco Manoel Wohnrath Tognoli, Renata da Silva Schmitt, Leonardo Campos Inocêncio, Thayla Almeida Teixeira Vieira, Angela Maria Teixeira de Oliveira Vieira</i>	
ANÁLISE COMPARATIVA DA MODELAGEM DE PROCESSOS EM DEPÓSITOS SEDIMENTARES DAS COQUINAS: CASOS DAS FORMAÇÕES ITAPEMA E MORRO DO CHAVES	110
<i>Júlia Campos Guerrero, Ana Paula Soares, Tatiana Caribé de Oliveira, Mirella Moreira Antonio, Henrique Picorelli Ladeira Dutra, Daniel Fabian Bettú, Paulo Cesar Soares, Lindaura Maria Steffens, Bruno Mateus Bazzo, João Vitor Lottin Boing</i>	
QUÃO SEDIMENTOOLÓGICAMENTE CONSISTENTE UMA SIMULAÇÃO DE PROCESSOS ESTRATIGRÁFICOS PODE SER? ESTUDOS NOS DEPÓSITOS MARGINAIS DA FORMAÇÃO GREEN RIVER	112
<i>Matheus R do A Ferreira, Daniel Bettú, Ana Paula Soares, Joao Paulo Borges Gomes, Alberto Cruz</i>	
GERAÇÃO AUTOMATIZADA DE RESULTADOS QUANTITATIVOS E QUALITATIVOS PARA AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE CALIBRAÇÃO DE MODELOS FORWARD	114
<i>Akira Rhudá Oviar Yabushita, Maria Beatriz Margutti Ferreira, Paulo Vitor de Souza Navegante, Endriw Rafael Mateus Silva, Lindaura Maria Steffens, Ana Paula Soares, Daniel Fabian Bettú</i>	
WORKFLOW SEMIAUTOMATIZADO PARA GERAÇÃO DE MODELOS ESTRATIGRÁFICOS FORWARD: PARAMETRIZAÇÃO, ANÁLISE DE SENSIBILIDADE E CALIBRAÇÃO	116
<i>Lindaura Maria Steffens, Ana Paula Soares, Daniel Fabian Bettú, Paulo Cesar Soares</i>	
MODELAGEM FORWARD DE ALTA RESOLUÇÃO EM RESERVATÓRIOS TURBIDÍTICOS - DESAFIOS E APLICABILIDADE	118
<i>Daniel José de Almeida, Alberto Machado Cruz, Junia Casagrande, Olinto Gomes de Souza Junior, Thiago Guimarães Briones, Georges François da Silva Pavie, Hugo Jorge de Castro Freitas, Antônio Felipe Cavalcante Carvalho, Maria Paula Ramos Clavijo, Samer Boudaher, Bruna Motta de Carvalho</i>	
MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE UM ESTUDO DE CASO UTILIZANDO DIFERENTES SIMULADORES FORWARD	120
<i>Endriw Rafael Mateus Silva, Thiago Martins Fernandes, Lindaura Maria Steffens, Ana Paula Soares, Daniel Fabian Bettú</i>	
SEMIVARIÂNCIA ESPACIAL LOCAL COMO VARIÁVEL GEOESTATÍSTICA DE TREINAMENTO PARA MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS	121
<i>Cleyton de Carvalho Carneiro, Ivan Silva Carvalho, Marcelo Monteiro da Rocha, Rodrigo César Teixeira de Gouvêa, Gabriel Mônaco Ribeiro da Silva, Gustavo Rodovalho Marques</i>	
MODELAGEM GEOESTATÍSTICA DAS FORMAÇÕES NEOPERMIANAS - EOCRETÁCEAS DA BACIA DO PARANÁ (BRASIL)	122
<i>Alessandro Ferraz Palmeira, Carrel Kifumbi, Claiton M. dos S. Scherer, Renata da S. Schmitt</i>	
CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOMÉTRICA DOS MACIÇOS GRANÍTICOS DA SERRA DO MAR PARANAENSE	123
<i>Miguel Paes Crispim, Ricardo Michael Pinheiro Silveira, Alessandra de Barros e Silva Bongioiolo</i>	

ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DA COMPARTIMENTAÇÃO ESPACIAL EM UM DEPÓSITO DE MINÉRIO DE FERRO NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO	124
<i>Caroline Volcato Oleques, Diego M.Marques, Gabriela F. Abreu, Samara F. Moura</i>	

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO PARA SIMULAÇÃO DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS EM TORRES, RIO GRANDE DO SUL	126
<i>Christian de Souza Abido, Mauro Daniel Rodrigues Bruno, Henrique Parisi Kern, Gustavo Nunes Aumind, Gerson Fauth</i>	

DADOS SÍSMICOS INTEGRADOS À MODELAGEM GEOLÓGICA 3D APLICADA À DELIMITAÇÃO DE TRAPAS PARA ARMAZENAMENTO GEOLÓGICO DE CO ₂ NA REGIÃO SUL DO ESTADO DE SP	127
<i>Elson Rian Rodrigues de Albuquerque, Saulo Batista de Oliveira</i>	

AGRUPAMENTOS ANINHADOS NA MODELAGEM DE RECURSOS MINERAIS	128
<i>João Pedro Gross Laque, Diego Machado Marques, Laisa Cristine Suhre</i>	

SESSÃO TEMÁTICA 06 – AVALIAÇÃO DE RISCOS E INCERTEZAS

INFERÊNCIA DE MÉTRICAS RELACIONADAS ÀS ROCHAS DO PRÉ-SAL COM MEDIDAS DE ERRO	130
<i>Miguel A. S. Bicudo, Daniel S. Menasché, Francisco Tognoli, Julia Favoreto, Leonardo Borghi</i>	

UMA MODELAGEM QUANTITATIVA PARA O SISTEMA CLIMATICO GLOBAL (SCG)	132
<i>Paulo Cesar Soares</i>	

ALTERNA UMA FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DE RISCO E ANÁLISE DE INCERTEZA S APLICADA À AVALIAÇÃO DE SISTEMAS PETROLÍFEROS	134
<i>Ismael Humerto Ferreira dos Santos, José Alberto de Araujo, Carlos Pinto Fracalossi, Mathieu Ducros, Anna Alice Couto Gomes, Nicolas Stevam Amancio de Oliveira</i>	

ANÁLISE DE RISCO DE INFLUXO EM SEQUÊNCIAS EVAPORÍTICAS UTILIZANDO LÓGICA FUZZY E ATRIBUTOS SÍSMICOS	136
<i>Frederico Zavam, Gustavo Luan Cardoso , Richard Ney Guimarães Dantas</i>	

ESTIMATIVA DE DENSIDADE DE ROCHA COM REDE NEURAL PARA REDUÇÃO DE INCERTEZA EM MODELOS GEOMECÂNICOS 1D	137
<i>Henrique Rede Barreto Amaral</i>	

ANÁLISE DA INCERTEZA NA MODELAGEM GEOLÓGICA EM DEPÓSITOS MINERAIS DE FERRO	139
<i>Ismael Longo, Diego Machado Marques, João Pedro Gross Laque</i>	

SOFTWARE INTERATIVO PARA QUANTIFICAÇÃO DAS INCERTEZAS ACERCA DE MEDIDAS DE POROSIDADE	140
<i>Miguel A. S. Bicudo, Daniel S. Menasché, Francisco Tognoli, Leonardo Borghi</i>	



CONFERÊNCIAS & PALESTRAS



A MAGNÍFICA DIMENSÃO DOS DESAFIOS AOS PESQUISADORES DAS GEOCIÊNCIAS

Paulo César Soares¹

¹Universidade Federal do Paraná, p_soares@terra.com.br

O conhecimento humano sobre o seu planeta nasceu em virtude das necessidades básicas da espécie. Como uma das espécies mais vulneráveis e jovens, necessitou utilizar-se de muitos recursos naturais, para sua alimentação, segurança e sustentabilidade, como indivíduo, como grupo e como povo. Para isto, a nova espécie sobrevivente fez uso das pedras como armas e das cavernas como proteção. O fogo fez-lhe a grande diferença e para isto os vulcões foram uma dádiva. Da África semi-árida e à época gelada, durante dois milhões de anos, interpretou seu meio e espalhou-se para novos mundos e ambientes. Nos últimos cem mil anos, ainda gelados, conheceu seus deuses construtores do planeta, Plutão dos continentes, Netuno das águas, Volcano do fogo, Tectos das formas, entre outros. Nos últimos dez mil anos, aprendeu a usar as terras, os mares, a energia, o conhecimento e a manipulação dos materiais. Aproveitou-se do fim da era do gelo, especialmente no Ótimo Climático do Holoceno, entre 4 e 6 mil anos atrás. Nos últimos dois mil anos, dominou os metais, criou os sinais, sua combinação, novos materiais e novas tecnologias, convivendo com o calor do período romano, o primeiro frio medieval e o calor do fim do primeiro milênio. Nos últimos quinhentos anos, inventa a reprodução automática de sinais, na imprensa e na eletricidade, é penalizado com a pequena idade do gelo do fim da idade média (1600-1750), e beneficiado com o retorno da progressão na atividade solar e do aquecimento global. Nos últimos 100 anos, em ambiente de progressivo aquecimento, criou o novo mundo digital, do sinal eletrônico. E agora, nos últimos 10 anos, domina o sinal Quântico e cria a Inteligência Artificial. A Ciência do planeta Terra se construiu nesta jornada. Consolida-se a partir de 1775, com a Teoria da Terra de Hutton. Por todo o século 19, a Geologia descreve o mundo, traz nova interpretação e potencial de uso para eventos naturais, para formações rochosas, as paisagens, a evolução das espécies, os minerais e seus depósitos e para as fontes naturais de energia. Com o carvão, o gás e o petróleo fáceis, e também a energia hidráulica, liberta a humanidade da energia das florestas derrubadas e do óleo das baleias sacrificadas. Porém, o fácil se exauriu e a Geologia foi chamada a criar modelos que descrevam, interpretem e quantifiquem as ocorrências restantes de superfície. Diante da demanda e crescimento populacional da primeira metade do século passado, a quantificação passou a ser fundamental, com os processadores numéricos, exigindo métodos e meios novos e apropriados. Neste contexto de recursos computacionais, foi criada a Associação Internacional para as Geociências Matemáticas (1968). A demanda seguinte foi para prever localização e valorização dos depósitos invisíveis, em subsuperfície, nos continentes e oceanos, e quem sabe até na lua e em outros planetas. Adicionalmente, a sobrecarga ambiental trouxe o novo desafio de modelagem conceitual, quantitativa, preditiva e probabilística dos complexos processos geológicos ambientais e dos riscos de desastres naturais. As novas exigências metodológicas e tecnológicas aumentaram, especialmente com modelos geológicos sistêmicos, preditivos, com bases físicas e químicas, contudo associados a uma quantificação também das incertezas, devidas a ambiguidades, aleatoriedade e à natural incompletitude. Esta é a magnífica dimensão dos desafios que os pesquisadores das Geociências têm pela frente, com nova explosão de novos recursos tecnológicos e metodológicos.

Palavras chaves; Evolução humana, Conhecimento, Geociências e quantificação

CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL E PETROFÍSICA EM ZONAS DE FALHA

Francisco Cézar Costa Nogueira¹

¹UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, cezar@uaepetro.ufcg.edu.br

Zonas de falha são importantes para a definição do fluxo de fluidos. Por muito tempo as falhas foram categorizadas como um plano geométrico que compartimentava o reservatório ou servia de conduto de fluidos. Com o avanço do conhecimento, notou-se que as falhas exercem influência nas propriedades petrofísicas das rochas deformadas. Com isso, mostrou-se importante caracterizar a zona de falha para entender o impacto dessas estruturas nas propriedades petrofísicas e compreender os elementos arquiteturais que a compõem, a exemplo das bandas de deformação (BD's). Uma maneira de avaliar essa variação é através da análise estrutural em afloramentos presentes dentro das zonas de falhas, através da análise de dados de campo, por medidas estruturais e scanlines, e coleta de amostras para análise petrográfica e extração de atributos petrofísicos em seções delgadas, através da petrofísica 2D. Outra maneira de obter dados para o estudo de afloramentos é através da topologia, registrando a forma que as estruturas estão interligadas. A análise cruzando as zonas de falhas são importantes, mas entender o comportamento geométrico de estruturas e as propriedades petrofísicas de estruturas ao longo da zona de falha, no caso paralelo ao *strike* da falha, se faz necessário. Sendo assim, o presente trabalho teve o intuito de analisar a intensidade e a frequência de estruturas, assim como a intensidade de conexões de BD's e o comportamento das terminações topológicas (X, Y e I), correlacionando com as propriedades petrofísicas, dentro das BD's e no *host rock*, ao longo da zona de dano do *hangingwall* das falhas de borda da Bacia Rio do Peixe. O presente trabalho abordará aspectos fundamentais da caracterização geológica e petrofísica em zonas de falha, destacando sua importância para a compreensão dos processos tectônicos e seu impacto na exploração de recursos naturais e energéticos. Serão discutidos os principais elementos estruturais que compõem uma zona de falha, como o núcleo de falha e a zona de dano, bem como os métodos utilizados para sua quantificação, incluindo as análises estrutural (Scanline e Topologia) e das propriedades petrofísicas das rochas presentes dentro das zonas de falha com BD's.

Palavras-chave: Quantificação, elementos estruturais, zona de falha.

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO MAPEAMENTO DE RISCO E SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS

Camila Duelis Viana¹, Ygor Sena Macedo¹, Karina da Silva Lima¹, Juliana Sabrina da Conceição Silva¹, Helen Cristina Dias², Lucas Pedrosa Soares², Rebeca Durço Coelho¹, Enzo Franceschi Genesi¹, Gabriella Labate Frugis², Carlos Eduardo da Silva², Debora Ferreira Quina¹, Guilherme P. B. Garcia¹, Carlos Henrique Grohmann²

¹ Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, e-mail de contato: camila.viana@usp.br

² Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, e-mail de contato: guano@usp.br

A quantificação de processos geodinâmicos é um dos grandes desafios das Geociências aplicadas. No caso dos escorregamentos, a complexidade espacial, temporal e multiescalar dos fatores condicionantes torna o mapeamento de risco e suscetibilidade uma tarefa intensiva em conhecimento e subjetividade. Frente a isso, ferramentas baseadas em inteligência artificial (IA) vêm sendo cada vez mais exploradas como alternativa ou complemento às abordagens tradicionais, oferecendo meios de lidar com grandes volumes de dados, reduzir vieses e sistematizar a extração de padrões complexos. Este trabalho apresenta uma visão geral do uso da IA no mapeamento de risco e suscetibilidade a escorregamentos, com foco em abordagens recentes que combinam métodos supervisionados, modelos fundacionais e integração com conhecimento especializado. São discutidas aplicações práticas desenvolvidas pelos grupos de pesquisa, evidenciando os avanços e desafios na adoção dessas técnicas no contexto geocientífico brasileiro. Diferentes abordagens de segmentação e classificação, como redes U-Net e análises orientadas a objetos, têm demonstrado desempenho promissor na detecção automática de escorregamentos, com acurácia geral acima de 70% a 85% em diversos contextos. Modelos treinados com dados espectrais, topográficos e de vegetação apresentam boa capacidade de generalização, especialmente quando ajustados ao tamanho e à complexidade das feições. Mesmo em áreas densamente vegetadas ou com poucos dados rotulados, técnicas baseadas em aprendizado profundo têm alcançado resultados robustos, suportando o potencial da IA para apoiar a construção de inventários e a análise de risco em escala regional. Outro exemplo envolve a aplicação de modelos fundacionais, como o Segment Anything Model (SAM), para a segmentação de cicatrizes de escorregamento em imagens de alta resolução. Tais modelos, originalmente treinados em contextos genéricos, possuem grande potencial de adaptação ao domínio geocientífico, permitindo acelerar a criação de bancos de dados georreferenciados. Apesar do potencial promissor da IA no contexto do mapeamento de escorregamentos, diversos desafios permanecem. Entre eles, destacam-se: a qualidade e heterogeneidade dos dados disponíveis, a dificuldade de transferência entre diferentes regiões geográficas, a necessidade de validação e explicação dos modelos, e a integração efetiva com o conhecimento técnico de especialistas em campo. Contribuições dos pesquisadores a tais questões envolvem a geração e disponibilização de modelos de elevação de alta resolução a partir de levantamentos *lidar* e de fotogrametria de dados históricos. Esses modelos vêm sendo utilizados para a construção de bancos de dados de cicatrizes em áreas da Serra do Mar, com o objetivo de subsidiar o treinamento e a validação de modelos por outros pesquisadores e promover a padronização de produtos e metodologias. São discutidos outros caminhos possíveis para mitigar esses desafios, como o uso de métodos híbridos e o desenvolvimento de modelos mais transparentes e adaptáveis. A aplicação da IA no mapeamento de risco e suscetibilidade a escorregamentos abre novas possibilidades para análises mais rápidas, robustas e reproduzíveis. No entanto, a consolidação dessas abordagens depende da colaboração entre pesquisadores, da democratização do acesso a dados e ferramentas, e do desenvolvimento de estratégias que considerem tanto o potencial técnico quanto os limites dos modelos preditivos.

Palavras-chave: aprendizado de máquina, Serra do Mar, São Paulo.

APRENDIZADO DE MÁQUINA PARA PREDIÇÃO DE DADOS MINERALÓGICOS EM MODELOS GEOMETALÚRGICOS

Joao Pedro Gross Lague¹, Oscar Plaza de los Reyes², Sergio Salinas³, Orlando Rojas⁴, Talita Ferreira⁵

¹Geoestima, e-mail: joao.lague@geoestima.cl

²Geoestima, e-mail: Oscar.Plaza.de.los.Reyes@geoestima.cl

³Geoestima, e-mail: sergio.salinas@geoestima.cl

⁴Geoestima, e-mail: orlando.rojas@geoestima.cl

⁵Geoestima, e-mail: talita.ferreira@geoestima.cl

Na geometalurgia, prever com precisão a mineralogia tanto do minério quanto do estéril é crucial para entender e otimizar a resposta metalúrgica de diferentes tipos de material em um depósito. Este trabalho apresenta uma abordagem inovadora para gerar modelos mineralógicos combinando inteligência artificial e geoestatística para lidar com o desafio da subamostragem mineralógica. Dada a restrição de amostras, foi aplicada uma abordagem de aprendizado de máquina e/ou aprendizado profundo para prever minerais com base em análises químicas multielementares, preenchendo assim o banco de dados usado para estimativa de recursos e alimentando diretamente o modelo de blocos com base nos teores estimados previamente. Modelos de aprendizado profundo demonstraram desempenho superior na reprodução dos teores de Cu e Fe a partir das massas de calcopirita, bornita e pirita, o que não foi alcançado com modelos tradicionais de aprendizado de máquina. Aplicando o modelo diretamente aos blocos, aproveita-se as estimativas de teor, que capturam de forma confiável a correlação espacial e a distribuição de teores. As métricas de validação dos modelos de inteligência artificial apresentaram resultados fortes, indicando alta previsibilidade. Além disso, a inspeção visual dos modelos de blocos em comparação com as amostras TIMA e compósitos estimados confirmou sua precisão. Uma rede neural foi implementada em PyTorch com otimização de hiperparâmetros utilizando Optuna, focando na melhoria da precisão do modelo enquanto assegura que as restrições de saída sejam atendidas. A arquitetura inclui camadas densas com funções de ativação ajustáveis e regularização por *dropout*. Além disso, validação cruzada (K-Fold) foi empregada para avaliar a generalização do modelo e mitigar sobreajuste. Para garantir que as previsões não excedam os valores de teor elementar, foi adotada uma abordagem baseada em estequiometria. Utilizando composições minerais conhecidas, calculou-se o máximo de Cu atribuível à calcopirita e à bornita, bem como Fe da pirita. Isso restringiu as previsões da rede neural para que a soma dos valores estimados de cada mineral não excedesse o teor do elemento correspondente. O desempenho do modelo foi avaliado utilizando métricas como Erro Quadrático Médio (RMSE) e coeficiente de determinação (R^2). O modelo alcançou alta precisão na previsão da mineralogia, com valores de R^2 próximos de 0,9 para todas as variáveis. Isso indica uma forte correlação entre os valores previstos e os reais, validando a abordagem proposta. Além disso, os valores de RMSE sugerem que os erros de previsão são baixos, o que significa que o modelo produz estimativas confiáveis e consistentes.

Palavras-chave: Geometalurgia, Mineralogia, Aprendizado de máquina.

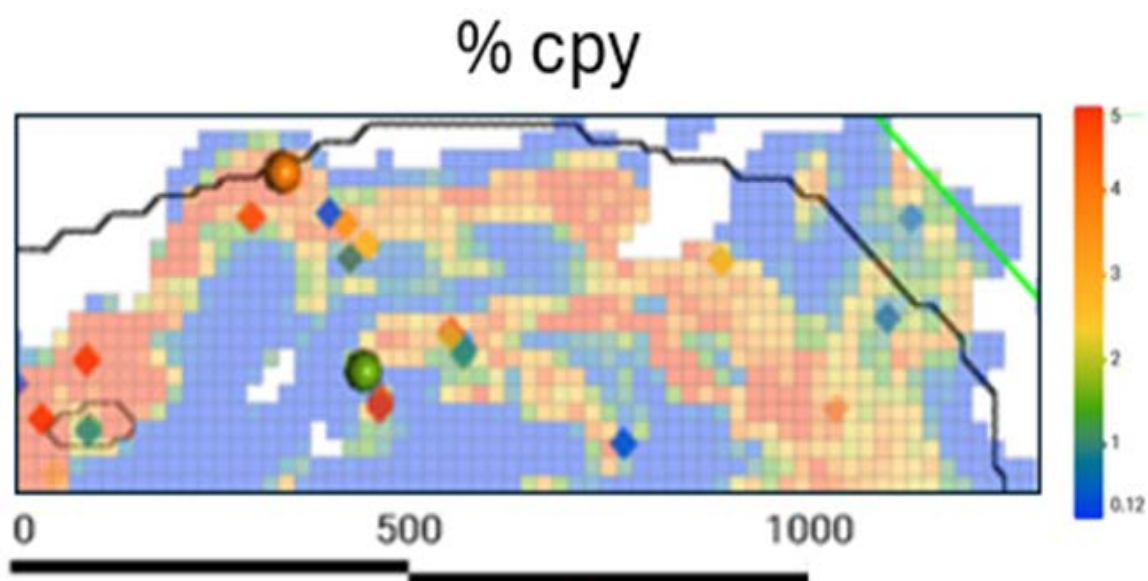


Figura 1: Seção em planta do modelo de blocos com previsão de calcopirita.

ANÁLISE EXPLORATÓRIA ESPACIAL E TEMPORAL DE DADOS GEOGRÁFICOS: UMA FERRAMENTA DE SUPORTE À GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Rodrigo Lilla Manzione¹

¹Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” (UNESP) – Faculdade de Ciências, Tecnologia e Educação – Campus de Ourinhos/SP, e-mail: lilla.manzione@unesp.br

Impulsionado pelas mudanças climáticas, explorar o dinamismo dos componentes do ciclo hidrológico em escalas espaciais e temporais pode fornecer percepções úteis para planejadores, modeladores da paisagem, conselhos de recursos hídricos e usuários de água locais sobre cenários hídricos atuais e futuros. Atualmente, séries com mais de 25 anos de dados de satélite estão disponíveis para análises espaciais e temporais, permitindo o acesso a informações sobre padrões espaciais e tendências temporais dessas componentes hidrológicas. No entanto, o tratamento desses dados e sua transformação em informações úteis e confiáveis ainda é um ponto importante a ser desenvolvido. A análise exploratória de dados espaciais (AEDE) é definida por Anselin (1999) como *“um conjunto de técnicas para descrever e visualizar distribuições espaciais, identificar localizações atípicas (outliers espaciais), descrever padrões de associação espacial (agrupamentos espaciais) e sugerir diferentes regimes espaciais e outras formas de instabilidade espacial ou não estacionariedade espacial”*. Existem uma variedade de técnicas de estatística espacial desenvolvidas no contexto da AEDE, tanto a nível global como local. As estatísticas espaciais globais expressam a autocorrelação espacial presente na variável alvo considerando todo o conjunto de dados e as estatísticas espaciais locais decompõem a autocorrelação espacial para cada uma das áreas componentes. Estatísticas locais podem revelar de onde vieram as contribuições para a autocorrelação espacial global em termos de espaço geográfico e abordar questões sobre a dependência espacial e agrupamentos de valores próximos a locais específicos. Como a gestão de recursos hídricos tem a bacia hidrográfica como unidade de gestão, e elas geralmente são grandes áreas em extensão, é importante detectar áreas com agrupamentos espaciais de valores maiores e menores, além de valores anômalos, em vez de tratar suas subdivisões como áreas homogêneas. Apesar de sua capacidade de revelar e caracterizar fenômenos espaciais complexos, a AEDE ainda não se tornou prevalente em estudos hidrológicos, mas recebeu mais atenção nos últimos anos, mesmo sem considerar a dimensão temporal. Assim, detecção de tendências, verificação de homogeneidade e o possível diagnóstico de pontos de mudança em séries temporais podem ser incorporados na abordagem de análise exploratória de dados espaciais e temporais (AEDET), indo além dos dados tratados como estáticos na AEDE e revelando melhor a dinâmica espacial e temporal de vários eventos e fenômenos geográficos. Isso se torna ainda mais importante em regiões tropicais, onde a precipitação é o principal fator do ciclo hidrológico e seus valores são considerados a base para diversas atividades econômicas, desenvolvimento social e proteção ambiental. Nessa perspectiva, dados de sensoriamento remoto podem indicar mudanças espaciais e temporais em parâmetros hidrológicos importantes em tempo hábil para o planejamento hídrico e do território.

Palavras-chave: estatísticas espaciais, estatísticas temporais, sensoriamento remoto

MODELAGEM NUMÉRICA DE PROCESSOS SEDIMENTARES EM FLUXOS GRAVITACIONAIS – SEU POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO NOS ESTUDOS CIENTÍFICOS E NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

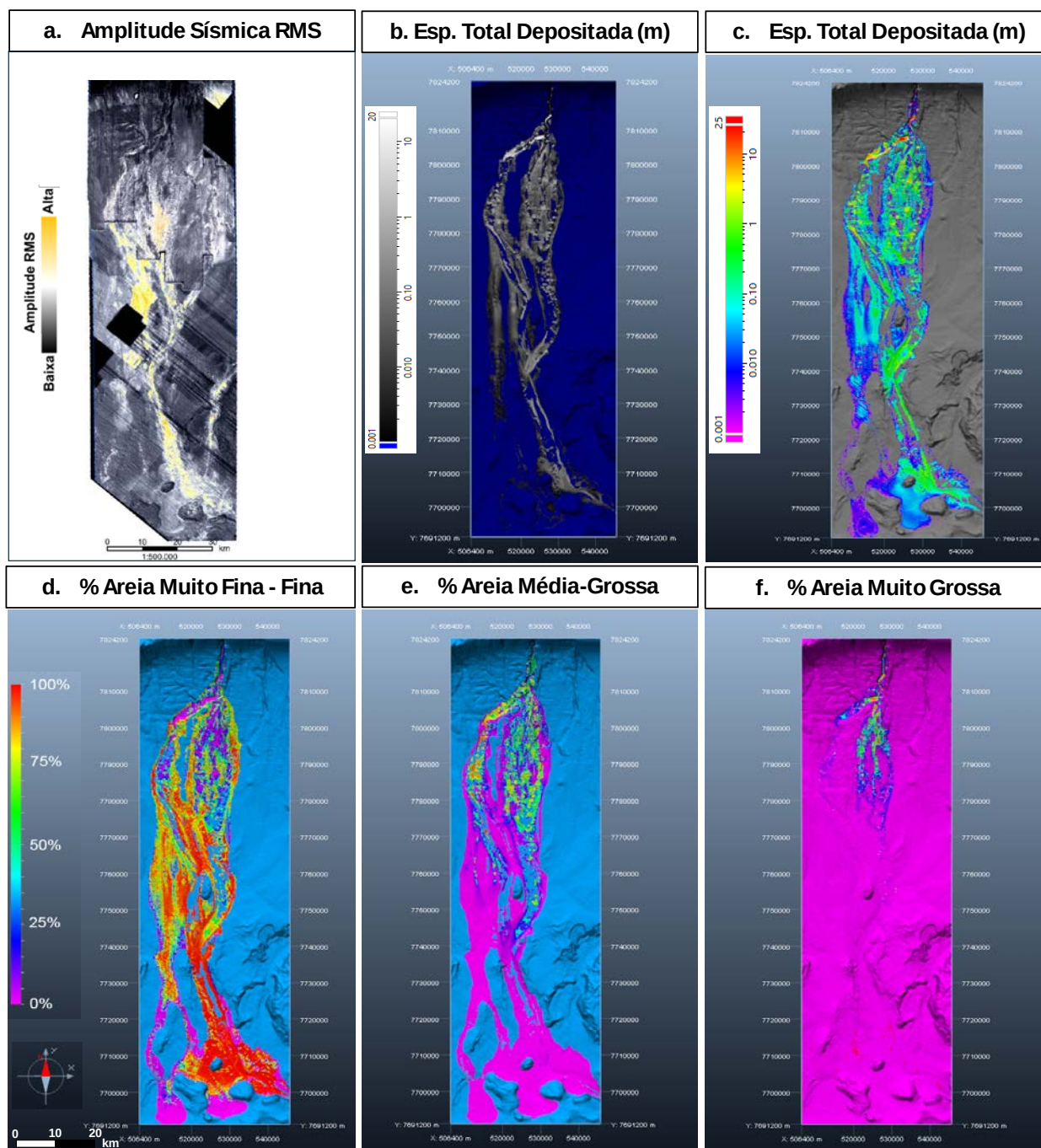
Gilberto Athayde Albertão¹, Katarine Costa Lacerda¹, Hermes Dias Brito¹, Luana Pereira Costa de Moraes¹, Iata Anderson de Souza¹, Victor Hugo Couto², Kenji F. Motoki², Julia de Oliveira², Cleverson Guizan Silva²

¹Centro de Ciências Naturais Aplicadas (UNESPetro/IGCE/UNESP), e-mail: gilberto.albertao@unesp.br

²Laboratório de Geologia Marinha (LAGEMAR/GGO/UFRS)

Modelar e quantificar, o primeiro muitas vezes objetivando o segundo, têm sido práticas com frequência crescente nas geociências. O termo “modelagem geológica” abrange, na realidade, uma grande gama de tipos metodológicos, com objetivos distintos e em diversos ramos da geologia. É o caso da modelagem numérica de processos sedimentares (*process-based forward modeling*), que tem sido utilizada, por exemplo, para simular fluxos gravitacionais. Resultantes deposicionais desses tipos de fluxos sedimentares em ambientes subaquosos, os turbiditos têm uma significativa importância econômica, em virtude dos grandes volumes de hidrocarbonetos que foram e continuam sendo descobertos nesse tipo de reservatório. Assim, há uma forte demanda de métodos complementares, no intuito de auxiliar o estudo de rochas turbidíticas, estando a modelagem numérica de processos entre eles. Metodologias inovadoras de modelagem de processos abrangem diferentes escalas de trabalho que devem se adequar aos objetivos pretendidos em cada abordagem. Numa escala intermediária, que permite o acesso à discussão dos processos físicos, mas também aplicações em situações reais, está a metodologia dos Autômatos Celulares (ACs). O presente trabalho aborda esse tema, a partir de iniciativas já desenvolvidas na indústria e na academia, apresentando um resumo de estudos realizados em sistemas turbidíticos pretéritos e modernos no decorrer dos últimos 10 anos. Serão focalizadas aplicações mais recentes, realizadas em parte de um projeto P&D, desenvolvido a partir de parceria UNESP-Petrobras. Aqui, exemplificam-se com mais detalhe os estudos realizados em sistemas turbidíticos modernos e, em particular, a modelagem do Sistema Turbidítico Watu, de idade pleistocênica, localizado na área *offshore* da Bacia do Espírito Santo, em frente à foz atual do Rio Doce. O alvo deste estudo tem sua parte proximal a partir da quebra da plataforma continental, no cânion submarino denominado Watu Norte, e estende-se pelo talude e bacia distal, compondo um polígono de área de 5.310 km². A metodologia adotada para a modelagem numérica baseou-se na aplicação de algoritmos de ACs, desenvolvidos e formatados pelo IFPen (França) para processos turbidíticos, em domínio 3D. Tal metodologia implica na necessidade de parametrização de entrada com duas fontes principais de informação: os dados de rocha, que permitem uma estimativa dos parâmetros de fluxo, e a superfície a ser modelada, representando a fisiografia de referência para a representação numérica dos processos sedimentares. Na área de estudo, os dados de rocha foram obtidos de 99 testemunhos a pistão, que recuperaram, cada um, até 20 m de sedimentos. Dados de sísmica 3D, provenientes de 21 *surveys*, permitiram o mapeamento de 4 horizontes sísmicos, representando desde o fundo do mar até as proximidades do limite inferior do Pleistoceno. Após a realização de etapas preliminares de testes de sensibilidade aos parâmetros de entrada e às escalas de resolução, a etapa central do trabalho de modelagem estabeleceu três cenários geológicos, baseados na combinação e composição de parâmetros relacionados à energia dos fluxos (alta, média e baixa energias), para cada uma das 4 superfícies modeladas. Os resultados foram avaliados qualitativa e quantitativamente com base nas referências fornecidas pelos dados de rocha e também pelos atributos sísmicos disponíveis. Diversos aspectos relevantes dos resultados obtidos no Sistema Watu corroboraram, de forma ainda mais destacada, os resultados de estudos anteriores, dentre eles: (i) a importância da (paleo)fisiografia de fundo no controle do desenvolvimento dos fluxos modelados, (ii) a coerência da evolução tempo-espço dos fluxos turbidíticos com os condicionamentos topográficos, (iii) a adequação da distribuição em área, espessura e fácies de sedimentos depositados em relação à atuação dos mecanismos de erosão-transporte-deposição, e (iv) a disponibilização de cenários deposicionais que permitem acessar a estimativa de incertezas geológicas. Tais aspectos revelam que, de forma geral, a metodologia utilizada para modelar processos sedimentares possibilita estabelecer uma abordagem acadêmico-científica, aprofundando o conhecimento acerca da atuação dos processos relacionados a sistemas deposicionais (turbidíticos, nos casos estudados). E permite, da mesma forma, a aplicação prática em escala industrial, por meio de utilização dos resultados na prospecção e no desenvolvimento de acumulações petrolíferas.

Palavras-chave: modelagem numérica, autômatos celulares, turbiditos.



Modelo "Médio" Multi de referência: _WF_VRM200-10Ks8Bs_V5H20-C45Ed7_M8_Th2.5E-6

$T_f=10ks$ $T_t=8Bs$ $VF=5m/s$ $HF=20m$ $C=4\%$ (0.5% Silte, 1.5% Areia MF/F, 1.5% Areia M/G, 0.5% >MG)

Figura 1: – Comparação entre os resultados de modelagem multieventos (8 fluxos turbidíticos sucessivos), realizada na Superfície Vermelha (idade neopleistocênica – segunda superfície mapeada a partir do fundo do mar, na área do Sistema Turbidítico Watu) e o mapa de amplitude sísmica RMS (dado sísmico de referência). A entrada de sedimentos ocorre na área proximal do Cânion Watu Norte, localizada no centro da borda N do modelo. Imagens: (a) mapa de amplitude sísmica RMS (janela de 100 ms), (b) mapa de espessura total em tons de cinza, (c) o mesmo que “(b)” em cores, (d) proporção de areia fina, (e) proporção de areia média, (f) proporção de areia muito grossa. Parâmetros indicados: T_f =tempo de ação da fonte, T_t =tempo total do conjunto de simulações, VF =velocidade de fluxo inicial, HF =altura (espessura) de fluxo inicial, C =concentração total de sedimentos (inicial) e concentrações parciais (iniciais) de cada fração granulométrica utilizada.

EPISÓDICOS NA FREQUÊNCIA COM EFEITOS DE LONGA SÉRIE NO RESERVATÓRIO: A IMPORTÂNCIA DA RECARGA NO CICLO HIDROLÓGICO

Gustavo Barbosa Athayde¹, Lucas Garcia², Daniel Lange¹, Rodrigo Guimarães¹, Maurício Melati¹, Camila de Vasconcelos Müller Athayde¹

¹Laboratório de pesquisas Hidrogeológicas, e-mail: gustavo.athayde@ufpr.br

²Itaipu Binacional

A recarga dos aquíferos é um processo essencial no ciclo hidrológico, determinado pela interação entre precipitação, evapotranspiração real, escoamento superficial e umidade do solo. Eventos climatológicos como o fenômeno ENSO regulam períodos de recarga e descarga dos aquíferos, governando as variações no armazenamento de água subterrânea. A influência da umidade do solo é evidente quando há eventos anômalos de precipitação, resultando em recargas extremas. Exemplos disso incluem a região do Caiuá, onde um evento de recarga extrema resultou no aumento do fluxo de base nos rios da região, assim como em áreas do Sistema Aquífero Serra Geral. O processo de recarga dos aquíferos é detectado em satélites e em poços tubulares, evidenciando um efeito multiescala na abordagem do problema científico e entendimento do processo em diferentes escalas. A recarga dos aquíferos pode apresentar um intervalo de tempo considerável entre a precipitação e o armazenamento de água subterrânea, podendo variar em até centenas de dias. O uso de isótopos estáveis como Oxigênio e deutério permite setorizar áreas onde a assinatura isotópica das águas se sobrepõe à reta meteórica local, indicando rápidos tempos de trânsito no reservatório. Além disso, poços com baixa recarga estão frequentemente associados a águas com idades de carbono-14 mais elevadas, chegando a até 17.000 anos, indicando tempos prolongados de renovação da água subterrânea. Os aquíferos aumentam a resiliência da sociedade para os enfrentamentos das variabilidades climáticas, permitem o acesso de pequenas comunidades ou grande populações urbanas a água de qualidade. Esse estudo destaca a importância da recarga na manutenção da disponibilidade hídrica a longo prazo e sua relação com fatores climáticos e geológicos.

Palavras-chave: recarga, aquíferos porosos e fraturados.

Amplitude mensal da variação do NE em um poço da rede de monitoramento Hidrosfera

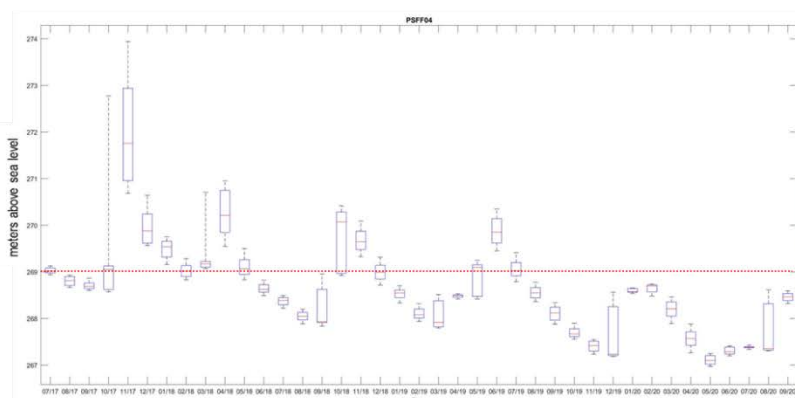


Figura 1: Exemplo de recargas e descargas em um reservatório fraturado, e a influência de um evento de estiagem no armazenamento do reservatório.

ANDROMEDA: UM APLICATIVO EM PYTHON PARA A INVERSÃO DE DADOS SÍSMICOS

Wagner Moreira Lupinacci¹, João Reis², João Estrella³, André Albano⁴, Matheus Nilo⁵

¹Universidade Federal Fluminense, wagnerlupinacci@id.uff

²Universidade Federal Fluminense, jp_reis@id.uff.br

³Universidade Federal Fluminense, joaoestrella@id.uff.br

⁴Universidade Federal Fluminense, andre_barros@id.uff.br

⁵Universidade Federal Fluminense, matheus.nilo@gmail.com

A inversão sísmica continua sendo uma técnica essencial para a caracterização de reservatórios de óleo e gás, mas enfrenta desafios crescentes devido à complexidade dos conjuntos de dados e à limitada acessibilidade das ferramentas disponíveis. Softwares tradicionais frequentemente impõem curvas de aprendizado acentuadas, interfaces pouco flexíveis e custos elevados — barreiras especialmente significativas para pequenas empresas e instituições de pesquisa. Para enfrentar essas limitações, desenvolvemos o Andromeda, um framework em Python voltado para a escalabilidade e acessibilidade em fluxos de trabalho de inversão sísmica. O software está sendo desenvolvido para uso por uma empresa de óleo e gás e instituições acadêmicas, sendo otimizado para lidar com grandes volumes de dados sísmicos. Ele oferece operações de entrada e saída de alto desempenho, capacidades robustas de processamento, ferramentas avançadas de visualização e suporte à interação em tempo real por meio de uma interface gráfica intuitiva. A arquitetura do Andromeda segue o paradigma modular Model-View-Controller (MVC). A camada Model utiliza Segyio para importação de dados SEG-Y, h5py para armazenamento eficiente em HDF5 e SQLAlchemy para operações com banco de dados local. O desempenho e a eficiência de memória são aprimorados por meio de processamento paralelo com QThread e segmentação de dados (chunking) suportada pelo HDF5. A camada View, construída com PyQt e Vispy, proporciona uma interface leve e acelerada por GPU para visualização sísmica e configuração de parâmetros de inversão. Já o Controller coordena a lógica da aplicação, integrando funcionalidades de cálculo e plotagem com NumPy e Matplotlib. O Andromeda suporta diversos algoritmos de inversão sísmica — incluindo modelos trace-by-trace, regularizados e blocky models — adaptáveis a diferentes contextos geológicos. A implementação faz uso do pacote Pylops, que gerencia operadores lineares de forma eficiente. A versão atual realiza inversão sísmica relativa, com previsão de implementação da inversão baseada em modelos em versões futuras. A plataforma também realiza estudos de viabilidade utilizando inferência Bayesiana em dados de poços. Além disso, permite o carregamento rápido e a visualização de volumes sísmicos, perfis de poço, horizontes, marcadores e demais dados geológicos/geofísicos, sem comprometer a memória da CPU ou GPU. Todos os módulos são testados com pytest, garantindo robustez, reprodutibilidade e facilidade de manutenção. Uma versão executável do Andromeda já foi entregue à empresa parceira, que demonstrou entusiasmo com os resultados iniciais. O feedback destacou o potencial da plataforma para melhorar significativamente os fluxos de trabalho de inversão sísmica, elogiando seu desempenho, usabilidade e a flexibilidade proporcionada por sua base em código aberto. O Andromeda equilibra de forma eficaz a eficiência computacional com uma interface amigável, posicionando-se como uma alternativa prática e de baixo custo aos softwares proprietários. Seu projeto o torna adequado tanto para aplicações de pesquisa quanto para uso operacional. Desenvolvimentos futuros visam ampliar as capacidades teóricas do sistema e fomentar sua adoção na comunidade geofísica por meio de melhorias contínuas, documentação e contribuições colaborativas.

Palavras-chave: inversão sísmica, software, python

AS ESCALAS TECNOLÓGICA E TEMPORAL EM DADOS GEOESPACIAIS: LIMITES E POSSIBILIDADES DE INTEGRAÇÃO

Edenilson Roberto do Nascimento¹

¹Universidade Federal do Paraná, e-mail: deni_ern@ufpr.br

O uso de dados geoespaciais cresceu exponencialmente nas últimas décadas, impulsionado pela evolução de plataformas, sensores, softwares e dispositivos que permitem a coleta, análise e integração de dados em diferentes escalas espaciais, temporais e “tecnológicas”. Entretanto, a abundância de recursos e facilidade de integração trazem consigo limites e desafios que precisam ser compreendidos e discutidos, sobretudo no âmbito acadêmico. Esta abordagem (Palestra proferida no X Geoquanti) parte da experiência no ensino de Cartografia e Sistemas de Informação Geográfica (SIG), destacando tanto as potencialidades quanto os equívocos mais comuns observados no processo de ensino-aprendizagem, tratamento e uso de dados em geociências. Entre os aspectos considerados estão a natureza diversificada dos dados geoespaciais, a existência de múltiplas plataformas e sensores de aquisição, distintas concepções de realidade na modelagem de dados e nos desafios impostos pela facilidade de integração e análise de dados em ambiente SIG. Variáveis como precisão, acurácia, relações espaciais e qualidade impactam diretamente na confiabilidade das análises. Além disso, há o desafio da integração de dados provenientes de diferentes fontes produtoras, escalas, resoluções, sistemas de referência cartográfica e formatos. Questões como a ausência de padronização, metadados incompletos e inconsistências semânticas comprometem o entendimento do alcance e das limitações à integração de dados. Ao abordar a “evolução tecnológica”, é possível estabelecer um paralelo com os graus de maturidade tecnológica (Technology Readiness Levels, TRLs), evidenciando como o conhecimento científico frequentemente antecede o desenvolvimento de meios tecnológicos que permitam seu uso prático. Exemplos históricos, como os projetos de Leonardo da Vinci, a utilização do vapor na Antiguidade e os avanços científicos impulsionados pelas Grandes Guerras, ilustram a defasagem entre concepção teórica e viabilidade tecnológica. No contexto contemporâneo, tecnologias como drones, Inteligência Artificial, big data e sensoriamento remoto reforçam essa relação entre o conhecimento e a maturidade tecnológica que possibilitam sua aplicação em geociências. O percurso histórico do levantamento de dados em campo exemplifica as transformações na obtenção de dados: de croquis manuais e fotografias aéreas à utilização de GNSS, que passou de erros intencionais da ordem de 100 metros a precisões centimétricas nas últimas décadas. Esses avanços demonstram a importância de compreender os limites e possibilidades oferecidos por cada tecnologia, sem negligenciar a necessidade de fundamentos em cartografia, modelagem e ciência de dados. Mais do que o domínio técnico de softwares, é essencial formar profissionais críticos e capazes de avaliar a adequação das ferramentas frente às demandas científicas e sociais. Cabe aos profissionais a identificação de referências acuradas para avaliar o potencial e limitações de cada tecnologia em seu tempo. Portanto, ao refletir sobre as escalas “tecnológica” e temporal, evidencia-se que a integração eficiente depende tanto do entendimento da maturidade das tecnologias quanto da formação sólida dos profissionais. Somente assim é possível explorar plenamente o potencial dessas ferramentas para enfrentar desafios contemporâneos e futuros na integração de dados geoespaciais.

Palavras-chave: Dados geoespaciais, Escala, Integração

PROJETOS DE FUNDAÇÕES DE PRÉDIOS ALTOS: EXPERIÊNCIAS E CASOS EM BALNEÁRIO CAMBORIÚ

Ricardo Born¹, Luis F. P. Sales¹

¹Universidade Federal do Paraná, e-mail: deni_ern@ufpr.br

Estudos recentes, como os publicados na Nature Cities (2024), apontam que as cidades têm crescido mais verticalmente do que em extensão territorial. Esse fenômeno é notório em Balneário Camboriú, classificada pelo CTBUH como a cidade mais vertical da América do Sul. Desde a década de 1970, com torres de 30 pavimentos, a cidade registrou aceleração na construção de edifícios altos, sobretudo a partir dos anos 1990, culminando em empreendimentos com até 80 andares. O CTBUH evidencia a tendência mundial de verticalização, com crescimento marcante a partir de 2014. A entidade classifica edifícios como altos (100–300 m), superaltos (>300 m) e megaaltos (>600 m). Exemplos locais incluem o Aurora (164 m), o One Tower (290 m) e o Senna Tower, projetado para superar 500 m. O aumento da altura amplia os desafios técnicos. Estruturas acima de 200 m apresentam efeitos dinâmicos relevantes, e em edificações com esbelteza superior a 1:15 a interação solo-estrutura assume caráter crítico. Nessas condições, sobrecargas dinâmicas podem se tornar comparáveis ao peso próprio da edificação. Soma-se a isso o aumento não linear da massa estrutural, decorrente da necessidade de elementos mais robustos para resistir a esforços laterais. A ação do vento destaca-se por três aspectos: natureza cíclica, deslocamentos laterais e acelerações. Esses efeitos influenciam diretamente o desempenho das fundações, que devem resistir a esforços horizontais e momentos de tombamento. O subsolo de Balneário Camboriú caracteriza-se por areias densas, siltes e rochas brandas. Nas últimas décadas, as sondagens passaram de perfis arenosos com NSPT médio para ocorrência de solos impenetráveis, exigindo investigações rotativas em gnaisses e rochas brandas. Um exemplo é a estaca de 60 cm e 16 m de profundidade, apoiada em areia densa (SPT≈40) e rocha, com capacidade aproximada de 185 tf. Os movimentos de fundações são analisados a partir de recalque total, recalque diferencial e inclinação. Enquanto o recalque uniforme pode ser tolerável, as diferenças de assentamento geram distorções angulares e riscos estruturais. Provas de carga estática são fundamentais para a calibração de modelos numéricos, que simulam redistribuições de esforços e efeitos dinâmicos. Experiências internacionais corroboram essa visão. A Merdeka 118, na Malásia, com 679 m, evidencia esforços extremos, enquanto o 111 West 57th, em Nova York, ilustra os limites de esbelteza, com proporção de 1:24. Ambos reforçam a relevância da interação solo-estrutura dinâmica. Além dos aspectos técnicos, destaca-se a dimensão ambiental. Projetos de fundações otimizados reduzem o consumo de concreto e aço, resultando em menores emissões de carbono. Em Balneário Camboriú, essa prática já integra o desenvolvimento de empreendimentos de grande porte, aliando desempenho técnico e sustentabilidade. A verticalização redefine os paradigmas da engenharia de fundações. A crescente esbelteza e os efeitos do vento exigem análises integradas entre geotecnia e estruturas. Em Balneário Camboriú, a evolução das investigações de subsolo e o rigor executivo mostram-se determinantes para compatibilizar segurança, habitabilidade e sustentabilidade, consolidando a cidade como referência nacional no estudo de edifícios altos.

Palavras-chave: Fundações, engenharia, riscos estruturais



SESSÃO TEMÁTICA 01

GERENCIAMENTO, ANÁLISE E CIÊNCIAS DE DADOS

COORDENADORES:
Daniel Fabian Bettú
Adilson Viana Soares Jr.
Mauro Roisenberg

INTRASOM: UMA BIBLIOTECA DE MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS EM PYTHON PARA APLICAÇÕES DE QUANTIFICAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

Rodrigo César Teixeira de Gouvêa¹, Cleyton de Carvalho Carneiro², Rafael dos Santos Gioria³, Gustavo Rodovalho Marques⁴

¹Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, e-mail: rodrigotgouvea@usp.br

²Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, e-mail: cleytoncarneiro@usp.br

²Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, e-mail: rafaelgioria@usp.br

²Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, e-mail: gustavorodvalho@usp.br

Mapas Auto-Organizáveis, do inglês Self-Organizing Maps (SOM) consiste em uma técnica para análise e visualização de dados em um espaço n-dimensional, baseado em princípios de quantização vetorial e medidas do vetor similaridade. O uso de SOM abrange diversas áreas do conhecimento, como reconhecimento de padrões, bioinformática, ciências da saúde, geociências e mineração de dados. Apesar da popularidade da técnica, muitas bibliotecas disponíveis em Python apresentam limitações relevantes, como a ausência de suporte a topologias toroidais ou ao processamento eficiente de dados faltantes, o que reduz sua aplicabilidade em bases reais complexas e heterogêneas. Dada a diversidade de aplicações de SOM, o Grupo de Pesquisa Integrações Tecnológicas em Análises de Rochas e Fluidos (InTRA) desenvolveu a biblioteca IntraSOM (Figura 1). Trata-se de um desenvolvimento em ambiente Python, com código aberto e de livre acesso. O objetivo da biblioteca é oferecer uma implementação moderna e robusta de SOM, incorporando funcionalidades avançadas, que refletem as melhores práticas desenvolvidas em pesquisas científicas. Entre os recursos incluídos estão o suporte nativo a mapas com topologia hexagonal e toroidal, visualizações por matriz-U e gráficos de componentes, além da possibilidade de lidar com dados ausentes durante o processo de treinamento, facilitando tarefas de imputação. Para lidar com *big data*, a biblioteca IntraSOM apresenta também um sistema de amostragem aleatória *bootstrap*, que reduz significativamente o tempo de treinamento, mantendo a qualidade dos resultados. Outro diferencial é sua arquitetura modular baseada em Programação Orientada a Objetos (OOP), que facilita a expansão e integração com outras bibliotecas Python, ampliando as possibilidades de aplicação em quantificação da informação. A biblioteca permite o carregamento e reutilização de mapas previamente treinados, possibilitando estratégias de aprendizado por transferência em novos conjuntos de dados. Diversos estudos de caso destacam a eficácia da biblioteca IntraSOM em aplicações com dados de perfilagem de poços de petróleo, dados sísmicos, produtos aerogeofísicos, modelagem de dados hiperespectrais, e imputação de dados multivariados em geociências. Para além da ênfase técnica, IntraSOM foi elaborada para ser acessível: inclui documentação completa, exemplos de uso, e está disponível no GitHub como um recurso aberto à comunidade científica e profissional. Combinando flexibilidade, desempenho e acessibilidade, a biblioteca IntraSOM representa uma contribuição significativa para o uso prático e avançado de SOM, permitindo aplicações em contextos científicos diversos e promovendo o uso mais eficiente da quantificação de dados complexos e incompletos em múltiplas áreas científicas e tecnológicas.

Palavras-chave: Mapas Auto-Organizáveis, Dados Faltantes, IntraSOM, Aprendizado Não-Supervisionado.

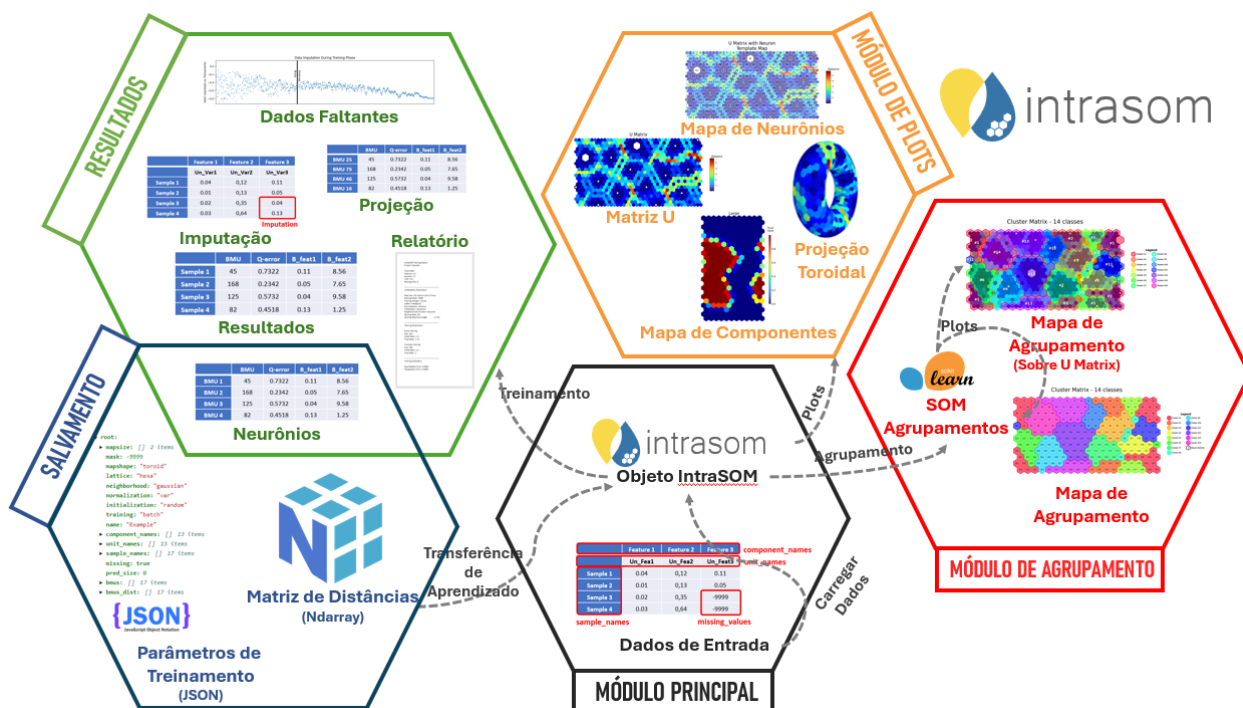


Figura 1: Distribuição dos módulos do pacote IntraSOM em Python.

MAPA DE RISCO DE EXPOSIÇÃO DO RADÔNIO RESIDENCIAL DOS MUNICÍPIOS DE BUTIÁ E SÃO JERÔNIMO

Nícolas Colissi¹, Christie H. Engelmann de Oliveira², Oderson A. Souza Filho³, Jacson C. Jung⁴, Vera M. V. Paniz⁵, Juvenal S. D. Costa⁶

¹Universidade do Vale do Rio dos Sinos, e-mail: ncolissi@edu.unisinos.br

²Programa de Pós-Graduação em Geologia - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, e-mail: chelouise@unisinos.br

³Serviço Geológico do Brasil, e-mail: oderson.souza@sgb.gov.br

⁴Universidade do Vale do Rio dos Sinos, e-mail: jacsoncristiano@yahoo.com.br

⁵Programa de Pós-graduação em Saúde Coletiva - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, e-mail: vpaniz@unisinos.br

⁶Programa de Pós-graduação em Saúde Coletiva - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, e-mail: jcosta@unisinos.br

O Radônio compõe 55% de toda radiação natural que a população é exposta ao longo da vida. É um gás nobre radioativo, emissor de partículas alfa, proveniente do decaimento radioativo do urânio e tório, respectivamente os isótopos ^{238}U e ^{232}Th , com meia vida de cerca de 3,8 dias. A relação entre a exposição a radionuclídeos e o desenvolvimento de câncer já é extremamente fundamentada na literatura. O radônio é o segundo maior causador de câncer de pulmão, o primeiro sendo o uso de cigarros. No entanto, quando se trata da exposição ao radônio, não existe um nível seguro de exposição, apesar do limite de 300 Bq/m^3 dos órgãos reguladores. Butiá e São Jerônimo são municípios vizinhos da região metropolitana do Rio Grande do Sul, de características como população e área similares e que já abrigaram atividade de mineração, contudo, há uma grande diferença entre as duas cidades, sua radioatividade natural. Segundo a pesquisa de prevalência do urânio e outros isótopos radioativos naturais do Serviço Geológico do Brasil, Butiá apresenta até 5 ppm, enquanto São Jerônimo apresenta entre 6 e 11 ppm. Portanto, o mapeamento da zona de maior risco de exposição ao radônio nestes dois municípios é de suma importância para o planejamento e organização de políticas em saúde pública, particularmente no cuidado e manejo de habitantes com câncer de pulmão e dos recursos necessários para o tratamento desta condição. O objetivo do presente estudo é realizar um mapa de risco da área dos municípios de interesse, a partir de pontos escolhidos de acordo com o teor de urânio na região. Nas residências escolhidas, os detectores passivos RSKS foram instalados na sala e em um dos quartos em janeiro de 2022, onde ficaram até sua retirada em junho de 2022. As medidas de ppm de urânio e tório, unidade de dose em nSv/h e porcentagem de potássio, também foram realizadas na área externa das residências por meio de um gamaespectrômetro. A análise dos resultados foi realizada através do método IDW no software QGIS 3.34.12 e a validação consistiu na otimização da fórmula do IDW pelo software Rstudio 2025.5.0.496. Em outubro de 2024, os residentes dos pontos analisados receberam por meio de uma carta os resultados das medições, em conjunto com um material explicativo sobre o radônio e sua relação com o câncer de pulmão. Entre as 39 análises totais, apenas uma obteve resultado acima de 300 Bq/m^3 , apresentando $363,1 \text{ Bq/m}^3$. Outro ponto localizado a cerca de 400 metros mostrou concentração de $35,77 \text{ Bq/m}^3$, sendo que ambas apresentaram 5,9 ppm de urânio e dosagem em nSv/h com diferença menor que 1%. Sabe-se que a concentração do radônio é influenciada pela de urânio, no entanto, como o radônio é um gás e pode ser facilmente dissipado em uma casa com ventilação moderada, os fatores mais importantes para esta medida são os hábitos dos residentes e da estrutura das casas. Também foi constatado que, em Butiá, as residências localizadas na proximidade de uma mina de carvão desativada tiveram maior concentração de radônio em ambos os detectores instalados do que qualquer outra área do estudo. Os resultados obtidos são importantes para o estudo do radônio nos municípios de Butiá e São Jerônimo, a fim de definir pontos prioritários para amostragem mais abrangente, e para a melhor estruturação das ações em saúde pública e administração de recursos para mitigação e tratamento do câncer de pulmão.

Palavras-chave: câncer de pulmão, radônio residencial, mapa de risco.

ASSINATURAS GEOMORFOMÉTRICAS DE UNIDADES LITOLÓGICAS E ESTRUTURAS GEOLÓGICAS NO ESCUDO PARANAENSE

Felipe Villalobos Muller¹, Ricardo Michael Pinheiro Silveira²

¹Universidade Federal do Paraná, felipe.vmuller34@gmail.com

²Universidade Federal do Paraná, ricardomichael@ufpr.br

A Geomorfometria, na condição de ciência interdisciplinar que dispõe bases teórico-metodológicas a estudos aplicados à quantificação da superfície, configura-se como alternativa complementar aos métodos tradicionais de fotointerpretação geológica, com recursos que visam diminuir a subjetividade e otimizar os processamentos em ambiente SIG. O conceito de assinatura geomorfológica implica num conjunto de medidas que caracterizam, distinguem e descrevem objetos a partir de parâmetros quantitativos do relevo. Nesse contexto, o presente trabalho objetivou mensurar as assinaturas espectrais de unidades litológicas e estruturas geológicas a partir da modelagem digital do relevo no Escudo Paranaense, aflorando no litoral e no Primeiro Planalto, no leste do estado do Paraná. Constitui as porções mais antigas e elevadas do estado e é formado por rochas cristalinas, ígneas e metamórficas da Plataforma Sul-Americana, com idades variando do Arqueano ao Paleozoico Inferior, recoberto por sequências vulcano-sedimentares, sedimentares e sedimentos inconsolidados. A diversidade geológica e a forte vinculação da erosão diferencial no estabelecimento de contatos litológicos e lineamentos estruturais motivou a elaboração de uma biblioteca geomorfológica que possa subsidiar trabalhos de mapeamento geológico. O Modelo Digital do Terreno (MDT) utilizado possui resolução espacial de 20 metros e foi interpolado pelo método Topogrid a partir de base planialtimétrica (curvas de nível, pontos cotados e hidrografia) na escala 1:25.000 e 1:50.000. Foram quantificadas as assinaturas geomorfológicas de cada unidade litológica (totalizando 154 na área de estudo) do mapa geológico da CPRM (2021), seguido da representação das assinaturas por histogramas de frequência na composição da biblioteca geomorfológica e demais estatísticas zonais. Nessa etapa, os atributos geomorfológicos calculados no QGIS 3.34 foram: i) declividade; ii) declividade média (raio de 1km); iii) amplitude altimétrica; iv) curvaturas; v) índice de posição topográfica (IPT), com distintos raios. Os lineamentos estruturais, por sua vez, foram modelados com base em quatro atributos geomorfológicos: i) índice de posição topográfica; ii) funções top hat (abertura e fechamento); iii) plano de curvatura; iv) álgebra de relevos sombreados com distintos azimutes. O IPT é calculado pela subtração do MDT com a média da elevação do entorno (raio predefinido). A função top hat é calculada a partir de um raio ou janela móvel predefinida e pode ser dividida em duas: i) Black Top Hat (BTH), com uma função de abertura, que mensura a altimetria mínima da altimetria máxima e caracteriza os lineamentos negativos; ii) White Top Hat (WTH), com uma função de fechamento, que mensura a altimetria máxima da altimetria mínima e caracteriza os lineamentos positivos. Referente às unidades litológicas, os resultados viabilizaram quantificar padrões homogêneos e níveis de tropia que sintetizam a configuração dos elementos texturais. Os resultados da modelagem de lineamentos estruturais denotaram as principais feições geológicas regionais, com destaque para o enxame de diques de diabásio (NW). Propõe-se a integração das assinaturas geomorfológicas para a aplicação destas variáveis como preditoras de zonas geológicas homogêneas, para o mapeamento de unidades e contatos litológicos (principalmente com uso de lógica fuzzy para a integração das variáveis).

Palavras-chave: Modelo Digital do Terreno, Geomorfologia, Geomorfometria.

INTEGRATION AND VISUALIZATION OF LITHOGEOCHEMICAL DATA FROM THE PARANÁ MAGMATIC PROVINCE (PMP) FOR CCUS APPLICATIONS

Mauren E. Gaspar^{1,4}, Thais M. Maia³, Cicera Neysi de Almeida¹, Francisco M. W. Tognoli², Sergio C. Valente⁴

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, Brasil, maurengaspar96@ufrj.com, neysi@geologia.ufrj.br

²Laboratório de Geologia Quantitativa (QG Lab | UFRJ), franciscotognoli@igeo.ufrj.br

³Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, Brasil, thaismmaia@usp.br

⁴Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, labmeg.ufrj@gmail.com

Large Igneous Provinces (LIPs) are recognized as ideal locations for Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) projects due to their potential for stable mineral carbonation of CO₂. The Paraná Magmatic Province (PMP) in Brazil, one of the world's largest LIPs, exhibits significant potential for CCUS strategies crucial for CO₂ emissions mitigation. Six basalt types (Paranapanema, Pitanga, Ribeira, Urubici, Gramado, and Esmeralda) were discriminated in the PMP based on geochemical parameters including SiO₂, TiO₂, P₂O₅, Fe₂O_{3t}, Sr, Ba, Zr, Ti/Zr, Ti/Y, Zr/Y, Sr/Y, and Ba/Y contents, and geographical distribution. A major challenge in CCUS projects is the effective graphical representation of lithogeochemical databases. This study aimed to compile an extensive lithogeochemical database, as well as to classify samples according to those geochemical parameters, to provide georeferenced visualizations of the classified database, and create an integrated platform for geostatistical data analysis. The work was developed using Jupyter Notebook for data classification, analysis, and platform development. The methodological framework comprised systematic compilation of lithogeochemical data, classification into PMP basalt types, geospatial mapping of sample distributions, statistical plotting (donut charts, bar plots, elemental correlation diagrams), Principal Component Analysis (PCA), and integration into an interactive platform. The results allow immediate correlation between geographic location and geochemical signatures and enable multivariate analysis of classified data. This work contributes to the first integrated platform for PMP geochemical analysis developed in Jupyter Notebook, being a reproducible method for other igneous provinces. The project can become a decision-support tool for decarbonization projects, presenting an innovative approach to lithogeochemical data visualization, interactive tools for spatial and statistical analysis, and a foundation for future CCUS feasibility studies in the PMP. The platform enables predictive modeling of carbonation zones. Moreover, it can be expanded with remote sensing data, representing a significant advancement in geochemical data interpretation for environmental geology and climate change mitigation.

Palavras-chave: geochemical classification, interactive visualization, Python, Paraná Magmatic Province

ANÁLISE COMPARATIVA DA DIMENSÃO FRACTAL E FUNÇÕES DE CAMINHO LINEAR EM ESTRUTURAS POROSAS DE CALCITA E DOLOMITA

Jean Firmino Cardoso¹, Daiane Francisca do Nascimento Silva², Severino Martins dos Santos Neto³, Daniel Milian Pérez⁴, José Miguel Reichert⁵, Antonio Celso Dantas Antonino⁶

¹Universidade Federal de Pernambuco, e-mail: jean.firmino@ufpe.br

²Universidade Federal de Pernambuco, e-mail: daiane.francisca@ufpe.br

³Universidade Federal de Pernambuco, e-mail: martinsdsn@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pernambuco, e-mail: daniel.milian@ufpe.br

⁵Universidade Federal de Pernambuco, e-mail: reichert@ufsm.br

⁶Universidade Federal de Pernambuco, e-mail: antonio.antonino@ufpe.br

A caracterização de estruturas porosas em materiais carbonáticos é fundamental para o entendimento de propriedades críticas, como porosidade e permeabilidade, que impactam diretamente aplicações em áreas como exploração de petróleo, armazenamento de fluidos e engenharia de materiais. Este trabalho propõe uma análise comparativa da dimensão fractal e das funções de caminho linear de estruturas porosas em amostras de calcita e dolomita, a partir de imagens de microtomografia computadorizada de raio X. A calcita, com pureza de 99% e a dolomita, com 97% de dolomita pura, foram submetidas à segmentação e análise digital utilizando ferramentas avançadas como Porespy e OpenPNM, permitindo a extração de métricas geométricas e topológicas. A dimensão fractal foi calculada pelo método box-counting, enquanto as funções de caminho linear forneceram informações detalhadas sobre a conectividade das redes porosas. As análises revelaram diferenças significativas entre os dois materiais. A calcita apresentou uma dimensão fractal média de $2,45 \pm 0,03$, indicando uma estrutura mais regular e homogênea, enquanto a dolomita exibiu maior heterogeneidade, com dimensão fractal de $2,67 \pm 0,05$, associada à presença de poros maiores e menos conectados. Essa diferença estrutural implica em comportamentos distintos em termos de transporte de fluidos e propriedades mecânicas. Além disso, as funções de caminho linear demonstraram que a calcita apresenta maior conectividade entre poros em comparação à dolomita, sugerindo maior potencial para fluxo contínuo em sistemas confinados. Os resultados serão comparados estatisticamente com valores obtidos na literatura, comprovando ou não a robustez das metodologias aplicadas e a confiabilidade dos dados obtidos. Conclui-se que a combinação de dimensões fractais e análises de caminho linear é uma abordagem eficiente para caracterizar e distinguir estruturas porosas em materiais carbonáticos. A aplicação dessa metodologia amplia o entendimento sobre as propriedades dos materiais e pode contribuir para o desenvolvimento de novos modelos preditivos de comportamento físico-químico, com implicações práticas na otimização de processos industriais e na exploração de recursos naturais. Este estudo reforça a importância da análise quantitativa detalhada na avaliação de materiais porosos, destacando diferenças significativas entre calcita e dolomita que podem influenciar sua aplicação em diversos contextos. Apoiado pela FACEPE (IBPG-1064-3.09/22, BFP-0146-3.09/23), CNPq (465764/2014-2, 403842/2022-0) e PRH-ANP/UFPE (ANP/FINEP 48610.201019/2019-38, FAPESP 2024/10544-2, 2024/12259-3).

Palavras-chave: dimensão fractal, caminho linear, estruturas porosas, calcita, dolomita.



ANÁLISE DA VAZÃO DOS POÇOS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO NOROESTE RIO-GRANDENSE (RS)

Camila Lemos Teixeira¹, Christie Helouise Engelmann de Oliveira²

¹Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), e-mail: camilalemost@gmail.com

²Programa de Pós-graduação em Geologia, UNISINOS, e-mail: chelouise@unisinos.br

Na mesorregião Noroeste do Rio Grande do Sul (RS), composta por 216 municípios, a principal fonte de água para abastecimento humano é proveniente de poços tubulares. Além disso, os recursos hídricos subterrâneos também são importantes para o principal setor econômico da mesorregião, a agricultura. Considerando a importância para a região, é necessário compreender melhor os fatores que influenciam diretamente na vazão dos poços profundos. A região está localizada sob o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), um aquífero fraturado. Dado os pontos mencionados, é importante o conhecimento sobre a geologia da área de estudo para análises de disponibilidade hídrica, fiscalização, gestão e conservação do uso d'água. Para realização deste trabalho foram fornecidas pela Secretaria de Obras Públicas do Estado do Rio Grande do Sul (SOP-RS) dados sobre as perfurações de poços realizadas de 1963 até 2022. Assim, foram catalogados até o momento 502 poços, de 72 municípios. As informações catalogadas são características dos poços, relacionadas a profundidade (m), vazão (m^3/h), nível estático (m), nível dinâmico (m) e entradas de água (m). A profundidade dos poços varia de 28 a 470 m, com uma média de 152,25 m. A vazão está estabelecida entre 0 a 33 m^3/h , média de 8,61 m^3/h . O nível estático varia de 0 a 189,97 m, média 32,89 m e o nível dinâmico, de 0 a 365 m, média de 69,09 m. Durante a catalogação foi verificado que 413 poços possuem informações sobre as entradas d'água, sendo que 142 possuem apenas uma entrada d'água, 159 possuem duas entradas de água e 112 possuem três ou mais entradas de água. Inicialmente, para verificar se a vazão está diretamente relacionada com algum dos parâmetros mencionados, foi aplicada a correlação de Pearson, uma técnica de estatística linear. Entretanto, não foram estabelecidas relações entre os dados analisados. Para a plotagem dos dados de perfuração e análise da vazão por proximidade foi utilizado o software QGIS 3.28.11. Entre a região sul e sudeste da área de estudo e ao norte e nordeste, verificou-se que as vazões são de ordem menores, com poucos poços das regiões atingindo vazões superiores a 10 m^3/h . Na região central, ao nordeste e ao oeste, é possível analisar vazões maiores que 10 m^3/h , chegando atingir até 33 m^3/h . Com o objetivo de identificar uma relação entre os poços e a geologia local, foram plotados os lineamentos do estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2008), de escala 1:750.000. Observou-se inicialmente que as maiores vazões correspondem aos lineamentos NE. O trabalho seguirá com o catálogo dos poços, a fim de garantir mais dados para análises estatísticas. Além disso, uma análise estrutural detalhada dos lineamentos será realizada e integrada à referência utilizada.

Palavras-chave: vazão, água subterrânea, aquífero fraturado

USO DA LINGUAGEM PYTHON APLICADO EM ANÁLISES RADIOMÉTRICAS DA FORMAÇÃO IRATI, ESTADO DE SÃO PAULO

Gabrielle Roveratti¹, Daniel Marcos Bonotto²

¹PPGGMA-IGCE, Universidade Estadual Paulista (UNESP), PRH-40.1, e-mail: gabrielle.roveratti@unesp.br

²UNESP - Universidade Estadual Paulista UNESP, e-mail: daniel.bonotto@unesp.br

Nos dias atuais, existe um significativo crescimento na utilização do Urânio 234 como um recurso adicional para pesquisas ambientais, através da razão de atividade (RA) $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, a qual atinge a unidade quando a taxa de decaimento do elemento pai é igual à taxa de decaimento do elemento filho, uma condição comum em rochas não alteradas com mais de 1,5 milhões de anos de idade. Diversas áreas científicas realizam pesquisas para coletar informações sobre esse parâmetro, visando aplicações no mapeamento geológico, geoquímico e ambiental, que permite a interpretação das particularidades regionais em vastas áreas. As investigações com raios gama são empregadas tanto na cartografia de solos quanto na exploração de minerais. Elas podem ser conduzidas para calcular e avaliar a quantidade de radiação terrestre que afeta a população humana, além de identificar possíveis áreas de risco de radiação natural. Assim, podem ser também empregadas para definir zonas de risco relacionadas ao radônio atmosférico. O uso de linguagem de programação no processamento de dados tem sido cada vez mais difundido por geocientistas. Dentre elas, a linguagem Python é amplamente utilizada em atividades de análise de dados, estatística, criação de gráficos e similares. Este trabalho descreve um estudo geoquímico envolvendo 162 amostras de rochas da Formação Irati, a qual apresenta folhelhos betuminosos com potencial para a geração de óleo, na região de Saltinho (SP) e 11 amostras de águas subterrâneas provenientes de poços tubulares profundos que atingiram o Grupo Passa Dois nos estados de São Paulo e Rio Grande do Sul. Para isto, foram utilizadas algumas técnicas analíticas como, gamaespectrometria para radioelementos naturais de potássio (K), urânio (U) e tório (Th) e análises isotópicas do urânio (^{238}U e ^{234}U) por espectrometria alfa, que tiveram seus resultados tratados por linguagem python, tanto na parte estatística quanto na criação de gráficos, enquanto que razões Th/U foram determinadas a partir dos dados gamaespectrométricos. As razões de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ para o urânio dissolvido foram utilizadas para avaliar a ocorrência de lixiviação preferencial de ^{234}U em relação ^{238}U . Os dados de gamaespectrometria mostram que 25 amostras não tiveram a razão típica esperada de Th/U acima de 2. Os dados obtidos mostram razões de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ para o urânio dissolvido maiores que a unidade, provavelmente, por conta da lixiviação preferencial de ^{234}U em relação ^{238}U sendo o maior valor 27,88, proveniente de Bocaina, Estado de São Paulo. Espera-se que os esforços realizados contribuam significativamente para o avanço do conhecimento na área de estudo, além de oferecer subsídios para futuras pesquisas e aplicações práticas.

Palavras-chave: python, radiometria, Formação Irati.



USO DA LINGUAGEM PYTHON APLICADO EM ANÁLISES GEOQUÍMICAS DA FORMAÇÃO IRATI, ESTADO DE SÃO PAULO

Gabrielle Roveratti¹, Daniel Marcos Bonotto²

¹PPGGMA-IGCE, Universidade Estadual Paulista (UNESP), PRH-40.1, e-mail: gabrielle.roveratti@unesp.br

²UNESP - Universidade Estadual Paulista UNESP, e-mail: daniel.bonotto@unesp.br

O vulcanismo Mesozóico com as características geoquímicas e isotópicas de suas origens em diferentes regiões da Bacia do Paraná tem sido amplamente investigado. Até os dias atuais, sabe-se que oito regiões do Brasil são responsáveis pela produção interna de petróleo, localizadas nas bacias Solimões, Ceará, Potiguar, Sergipe-Alagoas, Recôncavo, Espírito Santo, Campos e Santos. A Formação Irati é considerada uma das principais sequências capazes de gerar hidrocarbonetos na Bacia do Paraná, sendo composta por sedimentos ricos em matéria orgânica (folhelhos betuminosos) que produzem petróleo. Sob condições normais de sepultamento, essa formação é considerada imatura ou madura/supermadura quando influenciada termicamente por intrusões ígneas. Os folhelhos betuminosos fazem parte de um ramo de mudanças do mercado energético, pois advém dos *Oil Shales* ('óleo de xisto') que são cada vez mais explorados como reservatórios não-convencionais de hidrocarbonetos geradores de petróleo e gás natural. O uso de linguagem de programação no processamento de dados tem sido cada vez mais difundido por geocientistas. Dentre elas, a linguagem Python é amplamente utilizada em atividades de análise de dados, estatística, criação de gráficos e similares. Este trabalho descreve um estudo geoquímico envolvendo 162 amostras de rochas da Formação Irati (Permiano da Bacia do Paraná), a qual apresenta folhelhos betuminosos com potencial para a geração de óleo, na região de Saltinho (SP). Para isto, foram utilizadas algumas técnicas analíticas como fluorescência de raios X pelo método de pastilha prensada, métodos hidrogeoquímicos, análise de componentes principais (PCA) e agrupamento hierárquico. Os resultados obtidos por fluorescência de raios X foram submetidos a diferentes testes estatísticos, realizados com a linguagem de programação python, tendo sido também utilizado o diagrama Piper para a avaliação das facies hidroquímicas. A análise hierárquica permitiu também determinar se há ocorrência de clusters associativos. Dessa forma, os resultados obtidos por fluorescência de raios X foram avaliados estatisticamente pelo coeficiente de correlação de Pearson e por teste do valor p para averiguar a significância e reprodutibilidade, pois, das 162 amostras, 20 delas foram lidas em 2 equipamentos similares instalados em distintas instituições, tendo apresentado valores de r e p significantes em sua maioria. Ao construir o diagrama de Piper, é possível constatar a presença de águas predominantemente sódicas e bicarbonatadas, sendo apenas 2 amostras de águas cálcicas. Da análise hierárquica conclui-se que há 3 clusters associativos. As discussões apresentadas reforçam a importância da abordagem do tema, evidenciando a relevância científica e prática do estudo realizado.

Palavras-chave: python, geoquímica, Formação Irati.



ESTUDO HIDROQUÍMICO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DO RIO TIETÊ (SP) COM BASE NO BANCO DE DADOS DAS ANÁLISES DA ÚLTIMA DÉCADA

Isabela Guimarães de Araujo¹, Daniel Marcos Bonotto²

¹PPGGMA-IGCE, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, PRH-40.1,
isabela.guimaraes@unesp.br

²Departamento de Geologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” -
UNESPdaniel.bonotto@unesp.br

É de amplo conhecimento a importância das águas para a manutenção e continuidade da vida. Os recursos hídricos superficiais, além de serem fundamentais fontes de abastecimento de água para diversos países, por não penetrarem o solo, são de fácil acesso e sem necessidade de perfuração para obter acesso. Contudo, o fácil acesso dessas águas também motiva e estimula a discussão de conservação, exploração e avaliação da sua qualidade. Os cursos d'água em regiões metropolitanas são passíveis das mais diversas atividades, as quais estão relacionadas principalmente ao consumo humano bem como uso industrial. Em alguns casos, as atividades industriais demandam maior consumo desse tipo de recurso, o que pode resultar, na degradação de mananciais, dos corpos d'água, bem como de rios inteiros, tornando-os impróprios para as mais variadas finalidades. O presente trabalho descreve a caracterização de águas superficiais do Rio Tietê ao longo de todo o estado de São Paulo, onde percorre mais de mil quilômetros até sua foz com o Rio Paraná. As análises realizadas envolvem técnicas hidroquímicas aplicadas à qualidade das águas do rio. Para isso, foram analisados parâmetros físico-químicos e químicos, os quais incluem metais pesados e derivados de hidrocarbonetos. Estudos hidroquímicos, quando aplicados à qualidade de águas superficiais, são fundamentais para o planejamento e gestão adequada dos recursos hídricos de uma região considerando a integração de todos os fatores envolvidos na relação entre os componentes naturais. O monitoramento hidroquímico é válido por incrementar uma base de dados sobre os parâmetros relacionados com a qualidade das águas deste rio tão importante para o estado paulista, contribuindo também com órgãos de gestão em ações direcionadas à proteção adequada ao Rio Tietê ao longo de seu percurso até sua foz, no Rio Paraná. Para determinar a composição hidroquímica das águas, usando o Diagrama de Piper, foram usados códigos abertos de programação para classificar as amostras de águas e, assim, distinguir os grupos hidroquímicos presentes, além de avaliar a evolução química. O Diagrama de Schoeller, também gerado com o uso de inteligência artificial, é amplamente usado para ressaltar as fácies mistas que compõem as águas do Rio Tietê. A influência de atividade antrópica é averiguada na análise, que permitiu comparações gráficas do ponto mais próximo da nascente e do ponto de desembocadura das águas no Rio Paraná. Foi feita também uma comparação gráfica dos mesmos parâmetros, de forma temporal, ao longo do Rio, permitindo entender o comportamento de sua variação. Os valores dos principais componentes das águas foram comparados também com valores limites estabelecidos pelo CONAMA 357 e pelo Ministério da Saúde. Alguns dos parâmetros, no entanto, não apresentam valores limites estabelecidos, não sendo possível analisar sobre sua qualidade nas águas.

Palavras-chave: Estudo Hidroquímico, Rio Tietê, Contaminação Ambiental.

PERFIS DE POROSIDADE EM ESTRUTURAS POROSAS 3D: APLICAÇÕES EM ROCHAS CARBONÁTICAS

Jean Firmino Cardoso¹, Daiane Francisca do Nascimento Silva², Severino Martins dos Santos Neto³, Daniel Milian Pérez⁴, José Miguel Reichert⁵, Antonio Celso Dantas Antonino⁶

¹Universidade Federal de Pernambuco, e-mail: jean.firmino@ufpe.br

²Universidade Federal de Pernambuco, e-mail: daiane.francisca@ufpe.br

³Universidade Federal de Pernambuco, e-mail: martinsdsn@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pernambuco, e-mail: daniel.milian@ufpe.br

⁵Universidade Federal de Pernambuco, e-mail: reichert@ufsm.br

⁶Universidade Federal de Pernambuco, e-mail: antonio.antonino@ufpe.br

A análise de perfis de porosidade em estruturas porosas tridimensionais tem desempenhado um papel crucial na caracterização de materiais geológicos, especialmente em rochas carbonáticas, que são amplamente utilizadas como reservatórios em sistemas petrolíferos e em outras aplicações industriais. Este estudo apresenta uma abordagem detalhada para a obtenção e análise de perfis de porosidade em amostras de calcita e dolomita, utilizando imagens de micro tomografia computadorizada de raio X e processamento digital com ferramentas avançadas, como Porespy e OpenPNM. As amostras foram preparadas para minimizar ruídos e otimizar a segmentação de fases sólidas e porosas, garantindo a extração precisa de métricas tridimensionais. Os perfis de porosidade foram gerados ao longo dos três eixos principais das amostras (X, Y e Z), revelando padrões estruturais e variações significativas na distribuição espacial da porosidade. Na calcita, observou-se uma distribuição mais homogênea com valores médios de porosidade de 12,5%, enquanto a dolomita apresentou maior variabilidade, com porosidade média de 15,8%, associada à presença de regiões localizadas com alta concentração de poros interconectados. As diferenças estruturais entre as amostras refletem comportamentos distintos em termos de transporte de fluidos e armazenamento, sendo a dolomita mais adequada para aplicações que requerem maior capacidade de fluxo e volume de poros. A análise dos perfis ao longo dos eixos permitiu identificar anisotropias na distribuição da porosidade, especialmente na dolomita, onde se observaram gradientes significativos entre as regiões centrais e periféricas das amostras. Essa heterogeneidade é crucial para modelagens de fluxo e pode impactar a eficiência de processos como extração de hidrocarbonetos e armazenamento de CO₂. Além disso, os dados obtidos serão comparados com valores reportados na literatura, validando ou não a metodologia empregada e demonstrando sua eficácia ou não na caracterização de estruturas porosas. Conclui-se que a análise de perfis de porosidade em 3D é uma ferramenta poderosa para a avaliação detalhada de rochas carbonáticas, permitindo a identificação de padrões estruturais e propriedades funcionais que impactam diretamente sua aplicação prática. Este estudo destaca a relevância de integrar técnicas de imageamento e análise computacional na caracterização de materiais porosos, fornecendo subsídios valiosos para o avanço de modelos preditivos e otimização de processos industriais. A abordagem proposta oferece um panorama abrangente e robusto das propriedades de porosidade em materiais carbonáticos, com aplicações que se estendem desde o setor de energia até a engenharia de materiais. Apoiado pela FACEPE (IBPG-1064-3.09/22, BFP-0146-3.09/23), CNPq (465764/2014-2, 403842/2022-0) e PRH-ANP/UFPE (ANP/FINEP 48610.201019/2019-38, FAPESP 2024/10544-2, 2024/12259-3).

Palavras-chave: perfis de porosidade, estruturas porosas 3D, calcita, dolomita, rochas carbonáticas.

DATA MANAGEMENT PLATFORM FOR PROJECTS ON MAGMATISM AND TECTONICS

Tiago Badre Marino¹, Sergio de Castro Valente²

¹Departamento de Geografia - Instituto de Geociências – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
tiagomarino@ufrj.br

²Departamento de Petrologia e Geotectônica - Instituto de Geociências – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
labmeg.ufrj@gmail.com

The “LabMEG Platform” has been designed and developed by the researchers of the Geological Modeling and Evolution Laboratory at the Federal Rural University of Rio de Janeiro (LabMEG/UFRRJ) to organize, process and manage large volumes of data gathered from field, petrographic, geochemical and structural work. The LabMEG computer system can be accessed from multiple platforms since it only requires a web browser on the user’s workstation. The name “platform” derives from the possibility of segmenting data by projects. The platform provides a modular registration panel (backend; Figure 1) for each project. Each module contains forms with specific fields for the classification and detailed petrographic description of rock samples under macroscopic and microscopic scales, as well as to insert geochemical and geochronological data obtained for samples collected at different locations during the field work in the continental area or even from wells. Each sample, well or continental geological structure also presents interfaces for attaching photographs, in addition to descriptive fields related to geolocation, enabling them to be viewed on digital cartographic bases with global coverage. The platform also has a “sample storage” module where it is possible to insert and obtain information on the physical location of samples and the timeline of their withdrawals and returns to the storage room. The platform also has a “bibliography” module, intended to record metadata and digital files of scientific works (articles, dissertations, theses, reports, among others) relevant to the project. These documents can be associated with samples, wells and field points. It is possible to associate users with each project, segmented by four different access levels. The “project manager” level (the highest), for example, has specific permissions such as managing users and their levels, viewing the project event history, access graphs and user productivity. All actions performed by users and visitors on the platform are recorded as events, which can be analyzed and monitored by managers through tabular reports and dynamic graphs that indicate the access frequency and to classify records during specific periods of time. More recently, team formation features were added, adding the possibility of distributing and monitoring individual tasks. In the visualization and analysis segment (frontend; Figure 2), each project presents its geospatial data, and it is possible to navigate on a map and obtain details regarding each sample in the platform. In addition to interactively navigating the cartographic structure (web GIS), it is possible to export the data, compiled in reports in tabular format (xlsx spreadsheets) or descriptive (docx or pdf), in addition to exporting maps in vector format (shp or kml). The LabMEG platform is currently available in Portuguese and English and is easily adaptable to new languages. The platform has been used systematically for the last six years and currently holds more than 6,300 samples and 2,400 bibliographic documents, operated by 98 users, distributed across 18 projects. Even though it is consolidated and fully operational, there are still valuable opportunities for its evolution. The platform has been systematically operated, tested and improved collaboratively, thanks to the insights and feedback received from the LabMEG/UFRRJ community of collaborators.

Keywords: databases, geological modeling and evolution, GIS.

Databases - Bibliography											
#			Year	Title Author(s)	Type	User	Creation	Actions			
1			2022	Review of volcanic reservoir geology in China Huaifeng Tang,Zhiwen Tian,Youfeng Gao,Xiaojuan Dai	SCIENTIFIC ARTICLE (PAPER)	Júlio Lopes	07/05/25 09:18				
2			1999	Volcanic geomorphology?an overview J.-C Thouret	SCIENTIFIC ARTICLE (PAPER)	Júlio Lopes	07/05/25 09:15				
3			2024	Mode of extension and final architecture of the south Angolan margins controlled by Precambrian lithospheric heterogeneity Frederic O. Escosa,Michael Denis,Charlotte Nielsen,Jean- Claude Ringenbach,Michel Guiraud	SCIENTIFIC ARTICLE (PAPER)	Enry Araujo	02/05/25 16:44				
4			2024	Deep Crustal and Upper Mantle Structures in North Africa: AReview Basheer, A.A.	BOOK CHAPTER	Enry Araujo	02/05/25 16:30				
5			2024	Crustal Architecture and Magmatism of the Campos Rifted Margin: Along?Strike Variability and Segmentation P. Alvarez,N. Stanton,G. Péron?Pirividi,L. Magnavita,L. Borghi	SCIENTIFIC ARTICLE (PAPER)	Enry Araujo	02/05/25 16:26				
6			2024	O DILÚVIO KAINGANGUE INTERPRETADO COMO GEOMITO E SUA IMPORTÂNCIA NA PREVENÇÃO DE RISCOS Soraya Almeida	SCIENTIFIC ARTICLE (PAPER)	Enry Araujo	02/05/25 16:23				
7			2023	A EMERGÊNCIA DE UMA CONTRA-HEGEMONIA DO SABER: POR UMA CIÊNCIA VERDADEIRAMENTE AUTÔNOMA E HOLÍSTICA SULIMAN SADY DE SOUZA	SCIENTIFIC ARTICLE (PAPER)	Enry Araujo	02/05/25 16:21				
8			2023	Explorando a Terra na educação básica Celso Dal Ré Carneiro,Gildeneir Caroline Santos	BOOK	Enry Araujo	02/05/25 16:12				
9			2021	COMENTÁRIOS SOBRE AS UNIDADES DE TEMPO GEOLÓGICO: UMA ABORDAGEM ONOMATOLOGICA Reynaldo Cicero de Toledo,Maria do Socorro Silva Pereira Lippi	SCIENTIFIC ARTICLE (PAPER)	Enry Araujo	02/05/25 16:03				
10			2021	Mineralogical Study of Levels with Magnesian Clay Minerals in the Santos Basin, Aptian Pre-Salt Brazil Mauricio Dias da Silva,Márcia Elisa Boscolo Gomes,André Sampaio Mexias,Manuel Pozo,Susan Martins Drago,Raquel Severo Célia,Luis Adriano Carvalho Silva,Paulo Netto,Lucas Bonan Gomes,Carla Cristine Porcher,Norberto Dani,Deborah Driemeyer,Camila Wense Dias R	SCIENTIFIC ARTICLE (PAPER)	Enry Araujo	02/05/25 16:01				
11			2021	As geleiras carboníferas no sul do Brasil Eduardo Da Rosa,Fernando Vesely,John Isbell,Nicholas Fedorchuk	BOOK CHAPTER	Enry Araujo	02/05/25 15:58				
12			2020	Teaching Resources for Higher Education Geoethics Susanne Schneider-Vos	BOOK	Enry Araujo	02/05/25 15:38				
13			2020	Environmental conditions of deposition of the Lower Cretaceous lacustrine carbonates of the Barra Velha Formation, Santos Basin (Brazil), based on stable carbon and oxygen isotopes: A continental record of pCO2 during the onset of the Oceanic Anoxic Event Rachael Pietrich I scenario R. Tedeschi,Daniel M. Oliveira,Camila Wense Dias dos Anjos,Isoalbin C. Vazquez,Milene F	SCIENTIFIC ARTICLE (PAPER)	Enry Araujo	02/05/25 15:32				

Figure 1. LABMEG Platform data management module (backend): forms with specific fields for classification and detailed description of the macroscopy, microscopy, geochemistry and geochronology of samples from points located in the continental area or even in wells.

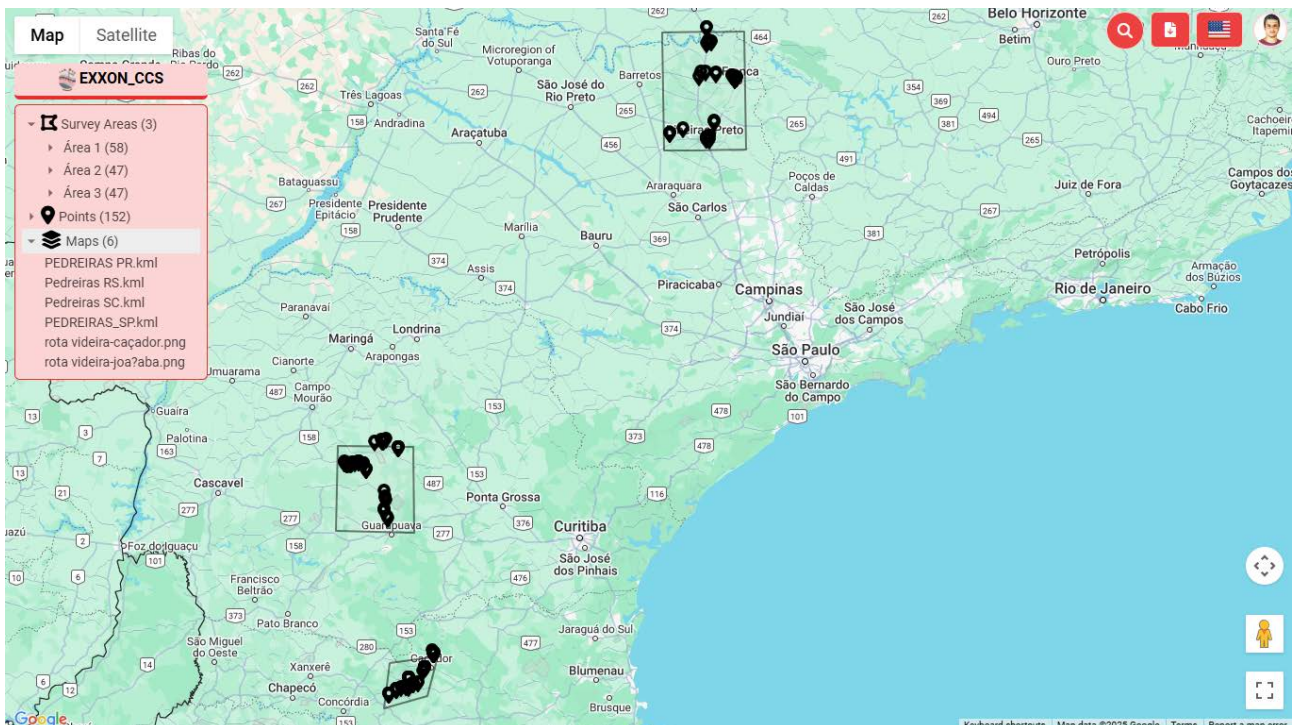


Figure 2. Project data visualization module (frontend): cartographic environment interface (web GIS) with global coverage and the capability of exporting reports under several formats: tabular (.xlsx), text (.pdf and docx), vector (.kml and .shp).



INTEGRAÇÃO DE BASE DE DADOS GEOLÓGICOS: ESTUDO DE CASO SOBRE LEVANTAMENTOS DE DADOS DURANTE A DISCIPLINA DE MAPEAMENTO GEOLÓGICO (UFPR), NO ESTADO DE SANTA CATARINA

Nicolas dos Santos Rosa¹, Matheus Ariel Battisti¹, Carlos Eduardo de Mesquita Barros¹, Elvo Fassbinder¹,
Estephanie Daiane Batista da Silva¹

¹Universidade Federal do Paraná, e-mail: nicolas.santos@ufpr.br; matheusbattisti@ufpr.br;
cadubarros@ufpr.br; elvo@ufpr.br; estephaniedaiane@ufpr.br

A integração de bases de dados geológicos constitui etapa fundamental para a consolidação de informações coletadas em trabalhos de campo, essencial para a produção, refinamento e validação de mapeamentos geológicos. O presente trabalho aborda como problemática central a heterogeneidade dos dados coletados em campo por discentes da disciplina de Mapeamento Geológico da Universidade Federal do Paraná (UFPR), realizados no estado de Santa Catarina, a dificuldade de interoperabilidade entre áreas adjacentes e a necessidade de aplicação de metodologias eficientes para estruturação e disponibilização sistemática desses dados. O objetivo principal é sistematizar dados geoespaciais, geológicos (macroscópicos) e microscópicos provenientes das atividades de campo, visando facilitar sua visualização, análise integrada e utilização por demais membros da sociedade. A metodologia aplicada nesse resumo fundamenta-se em princípios de gestão da informação e modelagem de bancos de dados geológicos, focando na sistematização da organização da coleta em campo, padronização de nomenclaturas e esquemas de classificação, e implementação de diretrizes para geração de metadados. Resultados parciais referentes à classificação e identificação dos dados produzidos por 7 anos descontínuos, entre 2008 e 2023, revelaram dentre os dados disponíveis (n=55 equipes avaliadas) significativas lacunas de documentação: apenas 3 equipes (5.5%) apresentaram conjuntos completos (abrangendo dados geoespaciais, mapa final, relatório, fotografias e lâminas), 12 equipes (21.8%) possuíam registros parciais e 40 equipes (72.7%) exibiram documentação mínima ou nula. Para os dados existentes, foi estabelecido um padrão de nomenclatura estruturado conforme a expressão XX[tipo_arquivo]_AXXXX[ano]_EQXX[equipe]. Entretanto, a elevada proporção de dados faltantes (72.7% das equipes com documentação insuficiente) dificulta a integração e geração de um produto cartográfico final uniforme. Porém, diante de tais dificuldades explicitadas, os resultados demonstram a necessidade de consolidação de uma metodologia padronizada de coleta e organização. Desta forma, objetiva-se nas próximas etapas deste estudo, a criação de um banco de dados robusto e coerente que possa ser aplicado na disciplina de mapeamento geológico. Esta iniciativa é relevante para viabilizar a integração e identificação dos dados, suportar o desenvolvimento futuro de um banco de dados geológico acessível e identificar lacunas de conhecimento que demandam investigações complementares. Conclui-se que a padronização proposta contribui não apenas para o aperfeiçoamento pedagógico da disciplina, mas também para a geração de novos dados geológicos estruturados com a finalidade de disponibilização dos produtos para a sociedade.

Palavras-chave: banco de dados; mapeamento geológico; Santa Catarina.

BASIN-SCALE LITHOLOGICAL STANDARDIZATION FROM LEGACY WELL GEOLOGICAL FILES: AUTOMATED PARSING AND DEPTH CONVERSION IN THE PARANÁ BASIN

Theresa Rocco Pereira Barbosa¹, Luiz Felipe Franco Ferreira², Liliane Paiva Panetto³, Helena Saraiva Koenow Pinheiro⁴, Sérgio de Castro Valente⁵

¹Pesquisadora de Apoio Técnico, Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Evolução Geológica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, theresa.rocco@ufrj.br

²Graduando, Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Evolução Geológica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, luizfelipefferreira@gmail.com

³Pós-Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Evolução Geológica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, lilianepanetto@ufrj.br

⁴Docente e Pesquisadora, Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Evolução Geológica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, lenask@gmail.com

⁵Docente e Pesquisador, Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Evolução Geológica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, labmeg.gmail@gmail.com

From the early 1950s to the late 1990s, Petrobras conducted multiple exploration campaigns in the Paraná Sedimentary Basin, acquiring data from 125 exploration wells. These activities occurred in three distinct phases: the initial post-foundation period (1953–1960s), the CESP-ITP consortium (1979–1985), and the formation of the Nexpar group in 1985. Of the 125 wells, 66 have associated Well Geological Files (Arquivos Geológicos de Poço — AGP), available through the REATE project's open-access initiative. AGP files are standardized documents used in the Brazilian oil and gas sector to record lithological interpretations derived from well log data, along with operational metadata. This study presents an automated and reproducible Python-based workflow for extracting, standardizing, and integrating multiple AGP files into a unified DataFrame. The primary objective is to standardize depth intervals to an absolute reference, enabling basin-wide lithostratigraphic correlation across wells. Lithological depths, originally reported relative to the Kelly bushing (boca do poço, BAP), are converted to mean sea level (MSL) using metadata automatically extracted from each AGP file. The custom parser uses regular expressions to systematically interpret the "LITOLOGIA" section, accurately identifying and preserving the original interval descriptions. Additional metadata — such as geographic coordinates, datum, BAP, and total depth — are also extracted and incorporated into the final DataFrame. Lithological units are automatically simplified into three categories: igneous, sedimentary, and unclassified. The final output is exported to a conventional spreadsheet. The core function `AGP_TO_DF()` recursively scans a working directory, parses each AGP file individually, and consolidates the outputs into a single standardized DataFrame. This DataFrame includes the following fields: `ID_POCO`, `TOP_BAP`, `BOTTOM_BAP`, `TOP_MSL`, `BOTTOM_MSL`, `LITO`, `LITO_SIMPLIFIED`, `LAT`, `LONG`, `ROTARY_TABLE`, `BAP`, `TOTAL_DEPTH`, `TOP_DATUM`, and `BOTTOM_DATUM`, ensuring traceability and data provenance. A total of 600 igneous layers were identified, with a mean thickness of 88.65 m, a median of 17 m, and high variability (standard deviation of 215.05 m). These intervals are distributed between depths of 2 and 5,511 meters. In contrast, 20,278 sedimentary layers exhibited a mean thickness of 6.25 m, a median of 3 m, and lower variability (standard deviation of 11.54 m), occurring between depths of 1 and 5,911 meters. This contrast reflects the irregular geometry and discontinuous nature of igneous intrusions, as opposed to the more layered and laterally continuous character of sedimentary strata. The proposed approach demonstrates the feasibility of modernizing legacy geological archives using open-access and reproducible tools, facilitating the integration of historical data with modern computational geoscience workflows such as 3D geological modeling, geophysical data integration, and machine learning.

Key-words: Intrusions, Stratigraphy, Petrophysics



SESSÃO TEMÁTICA 02

ANÁLISE ESPACIAL E SÉRIES TEMPORAIS

COORDENADORES:
Liliana Sayuri Osako
Rodrigo Lilla Manzione

SIMILARIDADE ENTRE PERFIS DE POÇOS ATRAVÉS DE SÉRIES AUTO-ORGANIZÁVEIS (SORS) E CURVAS DE PREENCHIMENTO DO ESPAÇO

Rodrigo César Teixeira de Gouvêa¹, Cleyton de Carvalho Carneiro²

¹Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, e-mail: rodrigoctgouvea@usp.br

²Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, e-mail: cleytoncarneiro@usp.br

A comparação sistemática de perfis de poços é essencial para a seleção de análogos e o desenvolvimento de modelos preditivos na indústria de petróleo. Esse estudo propõe uma nova abordagem para compressão e comparação de séries multivariadas de perfilagem de poços. Para isso, foram utilizadas assinaturas obtidas a partir de Séries Auto-Organizáveis (SOrS) (Figura 1), construídas com base em Mapas Auto-Organizáveis (SOM) em conjunto com diferentes curvas de preenchimento do espaço (SFCs). Foram comparadas sete SFCs: Varredura, Peano-Hilbert, Morton, CB-SFC (baseada em contexto), Cuthill-McKee, Similaridade (SD-SFC) e Similaridade Agrupada (SCD-SFC). Os métodos foram avaliados quanto à coerência com os dados e preservação da localidade por meio de autocorrelação de sinais derivados da matriz-U dos SOMs. Uma base de dados composta por 4.065 poços de 14 bacias terrestres foi construída a partir de dados públicos da ANP, com seleção final de 238 poços em 7 bacias, totalizando 1.054.266 amostras de entrada para o treinamento. A metodologia foi aplicada em três conjuntos de poços, contendo: (i) poços de “Todas as Bacias”; poços da Bacia do Parnaíba; e (iii) poços da Bacia do Sergipe. A rede SOM foi treinada com topologia planar e mapas contendo matrizes de neurônios de 128x128 (Parnaíba e Sergipe) e 256x256 (Todas as Bacias). Os erros de quantização e topográficos foram mais baixos nos treinamentos por bacia, com valores de quantização/topográficos de 0,1812/0,0907 (Parnaíba) e 0,2108/0,0957 (Sergipe), indicando melhor convergência em conjuntos geologicamente homogêneos. Na análise de autocorrelação dos sinais gerados pelas curvas de preenchimento, observou-se que as curvas SCD-SFC e SD-SFC apresentaram melhor coerência com os dados para lags acima de 10 e 20, respectivamente. Isso demonstra maior capacidade de representar padrões globais de similaridade. Já em termos de preservação da localidade, as curvas Morton, Peano-Hilbert e CB-SFC mostraram melhor desempenho nos primeiros lags, indicando maior fidelidade a vizinhanças locais no SOM. A qualidade da preservação das séries de origem nas assinaturas foi quantificada por meio do custo de alinhamento normalizado DTW (Dynamic Time Warping) entre os perfis originais e as assinaturas geradas. As curvas baseadas em similaridade (SD-SFC e SCD-SFC) apresentaram os menores custos de alinhamento normalizado: 0,0509 e 0,0512 para Todas as Bacias, 0,0471 e 0,0476 para Parnaíba, e 0,0553 e 0,0556 para Sergipe, superando todas as outras curvas e métodos. Em comparativo, foram criadas assinaturas com outras técnicas de redução de dimensionalidade, como a Functional Principal Component Analysis (FPCA) e Long Short-Term Memory (LSTM). A FPCA obteve custo 0,0547 e o LSTM 0,0624 (Todas as Bacias), demonstrando maior fidelidade das SOrS baseadas em similaridade às séries de entrada. As assinaturas baseadas em SD-SFC e SCD-SFC também apresentaram maior estabilidade visual e coerência com as variações litogeofísicas dos perfis. Ambas foram mais consistentes do que as geradas por FPCA, que também dependem de séries de entrada completas. As duas assinaturas também performaram melhor que as oriundas de LSTM, cuja sensibilidade a parâmetros de treinamento comprometeu a padronização dos resultados. Em síntese, o estudo comprova que as curvas de preenchimento dirigidas por similaridade geram assinaturas SOrS mais representativas, com menor distorção na comparação de poços e melhor na representação das séries multivariadas. Essas assinaturas oferecem uma forma eficiente e automatizada de identificar similaridades entre poços em diferentes contextos geológicos, com potencial direto para aplicações na seleção de poços análogos e na modelagem de reservatórios.

Palavras-chave: Similaridade de Poços, Séries Auto-Organizáveis, Mapas Auto-Organizáveis, Curvas de Preenchimento do Espaço.

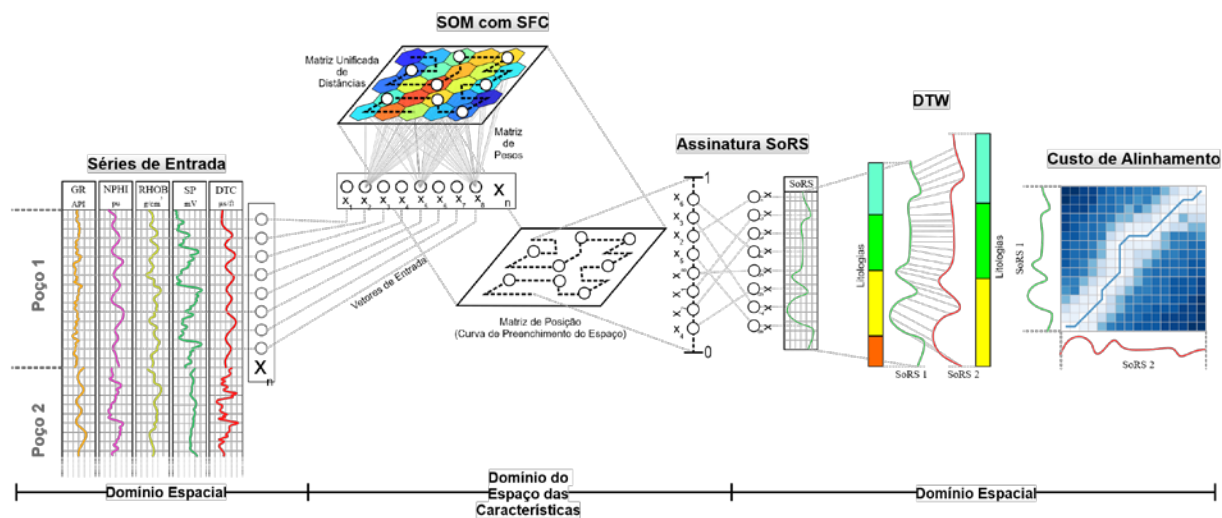


Figura 1: Esquema de produção e comparação de series temporais multivariadas através de Séries Auto-Organizáveis.

MODELAGEM DO POTENCIAL EROSIVO PLUVIOMÉTRICO E GEOMORFOMÉTRICO NO PANTANAL DE MATO GROSSO (BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO LOURENÇO)

Horiana Rodrigues Passamani¹, Ricardo Michael Pinheiro Silveira²

¹Universidade Federal de Rondonópolis, horizontes43@gmail.com

²Universidade Federal do Paraná, ricardomichael@ufpr.br

A bacia hidrográfica do rio São Lourenço (BHRSL), localizada no sudeste de Mato Grosso, contempla a transição entre planaltos da Bacia Sedimentar do Paraná e o Pantanal, cujo terço inferior é caracterizado pelo aporte sedimentar que configura um megaleque fluvial. Considerando a importância da relação clima-relevo na morfodinâmica local, este trabalho objetivou: i) mensurar e analisar a suscetibilidade erosiva a partir da deflagração de eventos pluviométricos intensos, que aumentam o potencial erosivo e de transporte de sedimentos dos rios; ii) modelar e avaliar a morfodinâmica fluvial a partir das características do relevo, com uso de quantificações de modelagem digital do relevo e técnicas geomorfológicas. A erosividade das chuvas, que é o principal agente deflagrador de processos erosivos, de inundações e de controle da dinâmica fluvial, foi calculada com base em dados das estações hidrometeorológicas da ANA/HidroWeb, distribuídas pela BHRSL. Utilizou-se o método kimball, que mensura a frequência (F) a partir de uma série histórica, com valores resultantes que variam de 0 (baixa frequência) a 1 (alta frequência). O tempo de retorno (Tr) calcula, a partir da série pluviométrica, o tempo estimado para determinado volume pluviométrico (considerada como a chuva deflagradora com potencial erosivo ou de inundação). Para as probabilidades de recorrência (Pr), cuja equação mensura a probabilidade de ocorrência de determinado evento num intervalo de tempo predeterminado (t), foram considerados os períodos de 50, 25, 10, 5, 2 e 1 ano. As análises geomorfológicas, por sua vez, tiveram como referência o Modelo Digital de Elevação (MDE) Copernicus, com resolução espacial de 30 metros. Foram calculados e analisados quatro parâmetros geomorfológicos para todos os 1079 canais identificados na BHRSL: amplitude altimétrica, declividade média nas margens, índice de posição topográfica (IPT) e índice topográfico de umidade (ITU), cujas etapas operacionais foram realizadas pelo software QGIS 3.34. Os resultados viabilizaram espacializar as quantificações da intensidade e recorrência das chuvas em relação aos locais com maior suscetibilidade à erosão e inundação. As precipitações pluviométricas de 150, 100 e 75 mm/24h tiveram, respectivamente: tempo de retorno de 8,9, 2,3 e 0,9 anos; probabilidade de recorrência anual de 10,6%, 35% e 67,6%. O município de Pedra Preta foi o que registrou a maior erosividade pluviométrica, tendo como referência o conjunto de mensurações estabelecidas. A chuva mais volumosa, com registro de 205,2 mm/24h em 17/11/1992 em Rondonópolis, teve probabilidade de recorrência anual calculada em 1,86% e de 60,8% a cada 50 anos. Destaca-se a sazonalidade, com maior erosividade entre os meses de dezembro e março. Referente à modelagem digital do relevo, os atributos geomorfológicos viabilizaram a identificação das principais áreas suscetíveis à erosão (longitudinalmente e transversalmente) e à inundação. Dentre os principais afluentes, o rio Vermelho foi o que apresentou maior média do ITU (14,9) e o rio Prata teve a maior declividade média das margens (23,3%). A modelagem pluviométrica e geomorfológica evidenciou potencialidade para aplicações integradas e multitemporais com variáveis afins.

Palavras-chave: Modelo Digital de Elevação, Erosividade, Inundações.

PEABIRU PATHS DTW: DESMISTIFICANDO OS CAMINHOS PARA O ALINHAMENTO GEOMÉTRICO, FÍSICO E CONSISTENTE ENTRE SÍSMICA E POÇO

Marcelus Glaucus de Souza Araújo¹, Antonio de Padua Cunha Pires Filho², Rafael da Costa Silva³, Diego Furtado Silva⁴

¹Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS), e-mail: marcelusglaucus@petrobras.com.br

²Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS), e-mail: antonio.pires@petrobras.com.br

³Universidade de São Paulo (USP), e-mail: costasilva.rafaelc@gmail.com

⁴Universidade de São Paulo (USP), e-mail: diegojsilva@usp.br

A amarração poço-sísmica (*Seismic-Well-Tie*) é uma fase crucial e, muitas vezes, bastante laboriosa no processo de integrar dados sísmicos (seja no domínio do tempo ou da profundidade) com as informações detalhadas obtidas de poços. Essa integração é fundamental porque permite uma calibração mútua entre essas duas fontes de dados tão distintas, elevando significativamente a qualidade da interpretação geológica. Na prática, isso se traduz em benefícios como a identificação, resolução e posicionamento mais precisos de camadas rochosas e potenciais reservatórios. Além disso, ao mitigar os efeitos de distorção do sinal por meio do alinhamento entre as séries, a técnica contribui para a estimativa de propriedades petrofísicas, como porosidade e saturação, aumentando a confiabilidade das previsões sobre a geologia do reservatório. A conjunção de informações mais precisas fortalece a base espaço-temporal para decisões relacionadas à exploração e ao desenvolvimento de campos petrolíferos. Assim, a amarração poço-sísmica desempenha papel fundamental na validação de modelos geológicos e geofísicos, assegurando que as interpretações estejam em conformidade com as evidências observadas. Embora a literatura apresente diversas abordagens para a automatização dessa tarefa — incluindo o uso de técnicas como o Dynamic Time Warping (DTW) — observa-se uma lacuna quanto à documentação detalhada de todas as fases envolvidas no alinhamento automático entre sismogramas sintéticos e dados sísmicos. Neste contexto, encontra-se em desenvolvimento uma variante da abordagem metodológica DTW para amarração poço-sísmica. Denominada de *Peabiru Paths* ou Método Peabiru, ela incorpora conceitos de mecânica clássica, uso recorrente do DTW com variação de parâmetros e técnicas de manipulação de séries temporais derivadas da Teoria do Sinal. O objetivo desta abordagem visa divulgar publicamente e documentar uma rota metodológica para o alinhamento sísmico-poço totalmente automatizado. Inspirada no mito dos Caminhos do Peabiru — a rede ancestral de rotas que conectava o litoral atlântico ao interior dos Andes e ao oceano Pacífico, posteriormente associada pelos conquistadores europeus à busca pelo Eldorado — a metodologia não propõe uma solução única, mas sim a identificação de múltiplos trajetos viáveis que convergem para um mesmo objetivo: o alinhamento físico-consistente entre dados sísmicos e sismogramas sintéticos gerados a partir de perfis de poço. Cada rota representa uma alternativa válida, com fundamentação física baseada no controle e interpretação da velocidade corrigida. Essa multiplicidade de soluções é tratada como um valor interpretativo — e não como ambiguidade — permitindo ao usuário escolher a rota mais adequada às suas necessidades, seja para obter máxima resolução temporal de um horizonte exploratório, seja para construir modelos de velocidades sísmicas mais suavizados. Nesse contexto, destaca-se o uso de janelas deslizantes na correlação entre sismogramas sintéticos e traços sísmicos, combinado com o chamado efeito sanfona — resultante do encurtamento e estiramento dinâmico de cada janela ao longo das iterações. Essa abordagem representa uma inovação metodológica, integrando técnicas que elevam a qualidade da análise de séries temporais e conferem à metodologia robustez e adaptabilidade frente às complexidades dos sinais analisados. Os resultados obtidos até o momento demonstram que o uso criterioso e fisicamente fundamentado do DTW oferece suporte confiável à análise geológica e geofísica.

Palavras-chave: DTW, Séries Temporais, *Seismic-Well-Tie*, *Peabiru Paths*.

**ANÁLISE GEOESPACIAL DOS CONDICIONANTES CLIMÁTICOS E GEOLÓGICOS
DEFLAGRADORES DOS MOVIMENTOS DE MASSA NO VALE DO TAQUARI EM MEIO
AO EVENTO EXTREMO (2024, RS)**

Olívia Maria Souza Santos¹, Francisco Manoel Wohnrath Tognoli¹,
Alessandro Ferraz Palmeira²

¹Laboratório de Geologia Quantitativa (QG Lab|UFRJ): e-mail:oliviamariasouzasantos@gmail.com,
franciscotognoli@igeo.ufrj.br

²Centro Digital de Geoprocessamento do Gondwana (UFRJ): e-mail:apalmeira@gmail.com

O presente estudo tem como objetivo principal estabelecer um panorama analítico que relacione os impactos dos eventos climáticos extremos ocorridos no Vale do Taquari aos controles geológicos que influenciaram diretamente a deflagração dos movimentos de massa registrados em maio de 2024 no Estado do Rio Grande do Sul. Para tanto, buscou-se: (i) analisar os eventos climáticos que atingiram o estado em 2024; (ii) mapear as áreas de instabilidades, correlacionando-as com as feições estruturais e litológicas; e (iii) avaliar os impactos socioeconômicos decorrentes da inundação, destacando a urgência de estratégias mitigadoras e de planejamento urbano sustentável. A metodologia adotada baseou-se em revisão bibliográfica dos aspectos socioambientais e fisiográficos da região, contextualizando os eventos extremos sob uma perspectiva integrada: climática, geológica e socioambiental. A análise pluviométrica foi conduzida a partir da criação de quadros temporais utilizando dados do CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data*). Para a caracterização da área de estudo, foram utilizadas bases de dados publicados pelo MapBiomas, Embrapa, ANA e IBGE, fornecendo informações sobre uso e ocupação do solo, hidrografia, clima e aspectos socioeconômicos. A análise morfoestrutural baseou-se no modelo digital de elevação do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 30 m. As cicatrizes dos movimentos de massa foram obtidas a partir do mapeamento realizado em conjunto IGEO/CEPSRM/UFRGS (2024), com base no acumulado de chuvas registrado entre 27/04 e 13/05/2024, cobrindo a porção norte do Vale do Taquari. Os resultados foram obtidos por técnicas de geoprocessamento e de processamento digital de imagens, com uso dos *softwares* QGIS, PCI Geomática e da plataforma *Google Earth Engine*. Foram elaborados mapas temáticos de topografia, clima, relevo e uso da terra. O SRTM foi utilizado para delimitar as feições geomorfológicas e para a extração automática de lineamentos, realizada no PCI Geomática e, posteriormente, refinada por fotointerpretação. As análises revelaram uma forte correlação entre as áreas afetadas por deslizamentos e zonas com maior suscetibilidade erosiva, marcadas também por sistemas de fraturas e falhas geológicas. Observou-se, ainda, que os núcleos urbanos mais atingidos coincidem com setores previamente mapeados como de alto risco, tais como Lajeado, Muçum e Roca Sales. A ocupação de encostas e margens fluviais, associada à elevada declividade e à intensa precipitação, contribuiu significativamente para a severidade dos impactos. Conclui-se que a sobreposição de fatores naturais e antrópicos foi determinante para a magnitude do desastre, e que a integração de dados geológicos, climáticos e socioeconômicos por meio de geotecnologias se mostra uma ferramenta poderosa para diagnosticar, prever e mitigar riscos futuros. O estudo reforça a necessidade de restrição de ocupação em áreas de risco e a adoção de sistemas de alerta no Vale do Taquari.

Palavras-chave: Eventos Climáticos Extremos, Movimentos de Massa, Vale do Taquari.

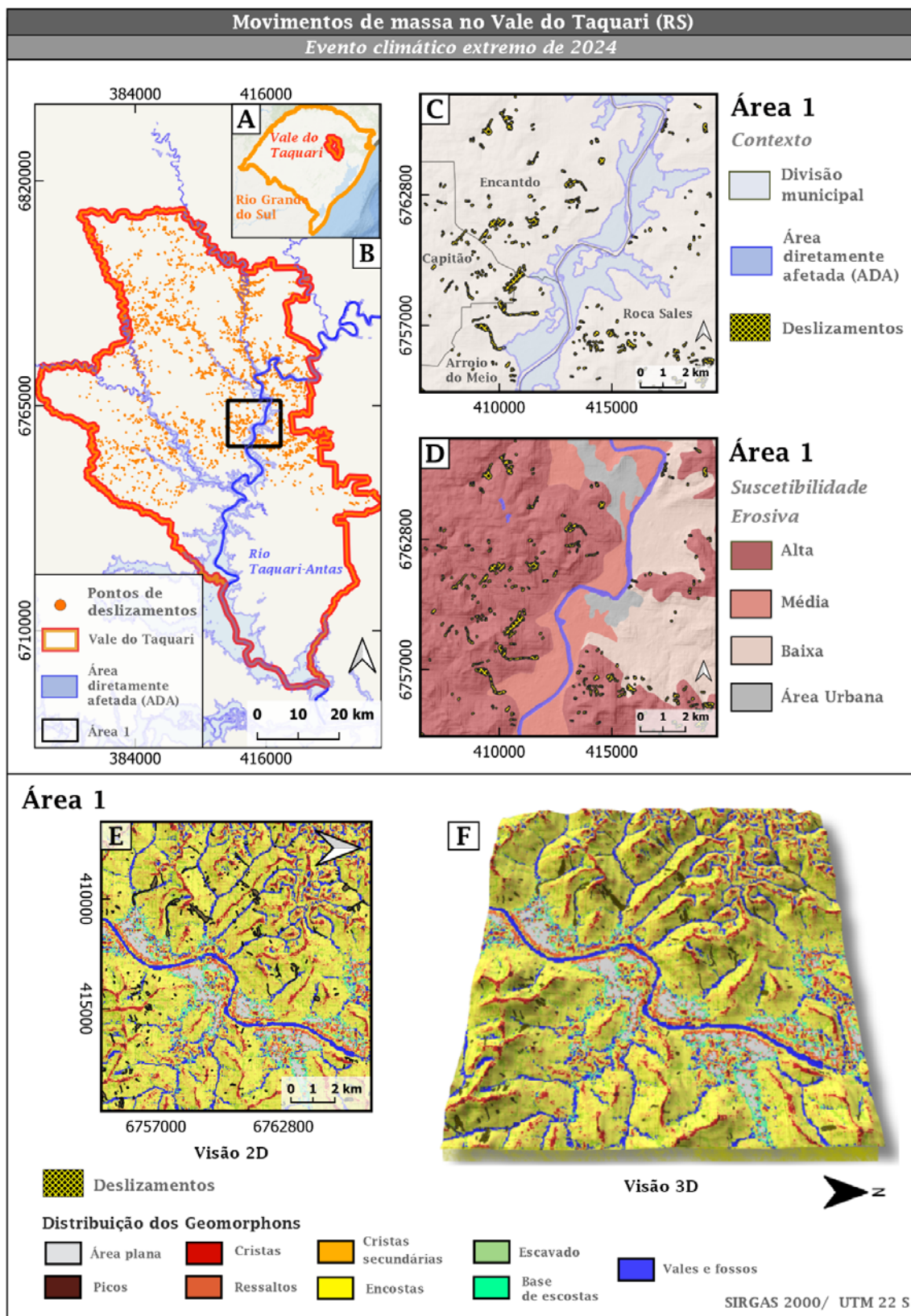


Figura 01: Mosaico de figuras indicando: (A) localização do Vale do Taquari (RS); (B) contextualização dos movimentos de massa deflagrados durante a tragédia de 2024; (C) Geometria dos movimentos de massa ocorridos na área 1, sobrepondo a constextualização territorial; (D) Geometria dos movimentos de massa sobrepondo mapa de suscetibilidade dos solos à erosão hídrica do Brasil (Embrapa, 2022); (E) Arranjo dos movimentos de massa em meio a modelagem de distribuição de Geomorphons, em visão 2D e 3D.

ANÁLISE TOPOLÓGICA DAS REDES DE FRATURAS DO SATÉLITE GALILEANO EUROPA

Viviane Figueiredo Peixoto¹, Bruno Eduardo Morgado², Francisco Manoel Wohnrath Tognoli³

¹Observatório do Valongo (UFRJ), e-mail: vpeixoto@ov.ufrj.br

²Observatório do Valongo (UFRJ), e-mail: bmorgado@ov.ufrj.br

³Laboratório de Geologia Quantitativa (QG Lab | UFRJ), e-mail: franciscotognoli@igeo.ufrj.br

Europa, uma das maiores luas de Júpiter, destaca-se como um dos principais alvos da astrobiologia planetária devido à forte evidência da existência de um oceano sob sua crosta de gelo. A interação entre esse oceano e a superfície pode ser registrada por estruturas tectônicas, como as redes de fraturas e sulcos, cuja distribuição espacial guarda informações sobre a evolução geológica da lua. Com a aproximação das missões *Europa Clipper* (NASA) e *JUICE* (ESA), que terão como objetivo investigar a estrutura interna, composição e atividade de Europa com instrumentos de alta resolução, torna-se fundamental o desenvolvimento de métodos quantitativos capazes de interpretar a complexidade morfológica de sua superfície. O trabalho propõe uma análise topológica da rede de fraturas de Europa, com o objetivo de investigar padrões estruturais, conectividades e potenciais vias de comunicação entre a superfície e o oceano subsuperficial. O mapeamento foi realizado em áreas selecionadas dos dois hemisférios com a finalidade de comparar as características estruturais de cada região ao longo de diversas latitudes. Esses hemisférios correspondem, respectivamente, ao lado de Europa que está voltado na direção do seu movimento orbital ao redor de Júpiter (leading), e ao lado oposto, que fica na “retaguarda” da órbita (trailing). Essa distinção é relevante, pois a exposição diferencial às forças de maré pode influenciar o padrão de fraturamento e a atividade tectônica em cada hemisfério. As fraturas foram vetorizadas a partir de imagens de alta resolução da missão *Galileo*, utilizando o software QGIS para georreferenciamento e digitalização. A rede resultante foi então processada e topologicamente analisada no Python, com o uso das bibliotecas *pygeoops* e *fractopo*. Foram aplicadas métricas da teoria de redes, como grau de conectividade e densidade linear, com o intuito de quantificar propriedades estruturais e funcionais da rede de fraturas. Os resultados revelam a presença de sub-redes que podem refletir zonas de maior atividade tectônica ou resposta regional ao estresse causado pelas forças de maré que atuam no satélite. Esse tipo de análise também nos permite identificar nós altamente conectados que possivelmente atuam como canais preferenciais para migração de fluidos ou calor, o que pode ter implicações diretas para a troca de material entre o oceano e a superfície. A abordagem topológica proposta oferece uma ferramenta eficiente para a interpretação dos dados geológicos que serão fornecidos pelas próximas missões, contribuindo para o entendimento da habitabilidade de Europa e da dinâmica de sua crosta gelada.

Palavras-chave: geologia planetária, satélites de Júpiter, rede de fratura discreta

O DESAFIO DA QUANTIFICAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DE POLUIÇÃO DE ÁGUAS EM ÁREAS DE MINERAÇÃO ABANDONADA DE PEQUENA ESCALA

Marina Thimotheo¹, Ricardo Perobelli Borba¹, Francisco Manoel Wohnrath Tognoli²

¹Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, marina.thimotheo@gmail.com

²Laboratório de Geologia Quantitativa (QG Lab | UFRJ), franciscotognoli@igeo.ufrj.br

Estima-se que a mineração artesanal de Au de pequena escala seja responsável por cerca de 20% da produção de Au no mundo, sendo uma atividade sabidamente realizada com sérias consequências ao meio ambiente, principalmente com a subprodução e liberação de diferentes formas de Hg. A área de estudo compreende uma antiga zona de mineração, há 40 anos abandonada, no sudoeste do Rio Grande do Sul, no município de Lavras do Sul. Com o objetivo de superar o desafio de quantificar contaminações em águas e espacializá-las em contexto de pequena escala e número amostral limitado, foram amostrados poços caseiros e tubulares de águas de consumo e submetidas a análises químicas para determinação dos teores de metais e parâmetros físico-químicos. A partir da quantificação dos metais foram calculados dois Índices de Poluição (IP) mundialmente utilizados para mensurar contaminação metálica: o *Heavy Metal Pollution Index* (HPI) e o *Heavy Metal Evaluation Index* (HEI), ambos contendo em sua formulação matemática o Valor Máximo Permitido (VMP) para potabilidade, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS). Os valores dos Índices foram espacializados com a ferramenta de interpolação *Inverse Distance Weighting* (IDW), no aplicativo ArcMap versão 10.8.1. As diferenças entre os diagnósticos dos índices são substanciais, sendo que a razão HPI/HEI pode chegar a 56,1 em um mesmo ponto, isto é, para um índice a amostra é considerada poluída e imprópria para consumo e, para outro, potável. Os motivos da diferença entre os diagnósticos e como melhor espacializá-los, considerando o ambiente hidrogeológico como um todo, são discutidos, bem como a definição de qual IP melhor reflete o contexto da área estudada.

Palavras-chave: HPI E HEI; HIDROGEOQUÍMICA; MINERAÇÃO DE OURO.

ANÁLISE ESPACIAL DE ÁREAS CONTAMINADAS E VULNERABILIDADE SOCIAL NA METRÓPOLE PAULISTANA

Isabella Medeiros Caires¹, Adilson Viana Sores Junior¹, Iata Anderson de Souza², Angelo Cezar Borges de Carvalho¹

¹Laboratório GeoMAPA, Universidade Federal de São Paulo, acbcarvalho@unifesp.br

²Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, iata.anderson@unesp.br

O município de São Paulo (MSP) abriga um dos principais centros financeiros e culturais do mundo, com população de 11,45 milhões, configurando-se como uma das maiores metrópoles da América Latina. Contudo, a cidade enfrenta sérios desafios socioambientais, especialmente relacionados ao risco ambiental e à desigualdade socioeconômica, agravados pela rápida expansão urbana. Nesse contexto, torna-se essencial o mapeamento e a análise integrada desses indicadores. Assim, este projeto teve como objetivo aplicar ferramentas de geoprocessamento para analisar a vulnerabilidade socioambiental e identificar potenciais riscos ambientais no MSP, integrando dados sobre contaminação, uso e ocupação do solo e indicadores socioeconômicos. A metodologia adotada consistiu na construção de um banco de dados com informações sobre as áreas contaminadas no MSP, a partir de relatórios da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) de 2010. Esses relatórios incluem dados sobre localização, atividade, fonte de contaminação, classe de contaminantes e os meios impactados nas áreas em que a contaminação foi confirmada por investigações da CETESB. Para representar espacialmente essas informações, foi criada uma camada vetorial de pontos, com o auxílio do software QGIS, na qual cada ponto corresponde a uma área contaminada com atributos descritivos extraídos dos relatórios. Como indicador socioeconômico de vulnerabilidade social, utilizou-se o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS), versão 2010, desenvolvido pela Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo e disponível como camada geoespacial. Já os dados de uso e ocupação do solo foram obtidos por meio das bases públicas GeoSampa e DataGEO. Por fim, os dados foram integrados por meio da técnica de sobreposição de camadas geoespaciais (overlay), utilizando o software QGIS, resultando na elaboração de diferentes mapas temáticos para visualização e análise dos resultados. Foram identificadas 1.189 áreas contaminadas no MSP (Figura 1). Nestas áreas contaminadas, os postos de combustíveis e as indústrias são as principais atividade poluidoras do MSP, liberando combustíveis líquidos e metais no solo, subsolo e aquíferos. A análise espacial revelou que a maior concentração de áreas contaminadas ocorre no distrito do Ipiranga (Zona Sul), com 54 registros, seguido pelos distritos da Lapa, Itaim Bibi (Zona Oeste) e Vila Mariana (Zona Sul), com 38, 37 e 35 áreas contaminadas, respectivamente. Considerando o IPVS, esses distritos são classificados como de baixa vulnerabilidade social, evidenciando um maior risco ambiental associado à contaminação nessas regiões socioeconomicamente favorecidas (Figura 1). Os resultados desta pesquisa indicam um perfil de vulnerabilidade ambiental distinto entre as áreas de baixa e alta vulnerabilidade social, visto que as regiões mais pobres enfrentam, predominantemente, problemas ambientais relacionados a riscos geológicos e hidrográficos como deslizamento de terra e enchentes. Os resultados demonstram a importância do uso integrado de dados socioambientais e ferramentas de geoprocessamento para a identificação de áreas de risco, contribuindo para o planejamento urbano e a gestão ambiental no município de São Paulo.

Palavras-chave: Vulnerabilidade Social, Risco Ambiental, Desigualdade Ambiental, Geoprocessamento.

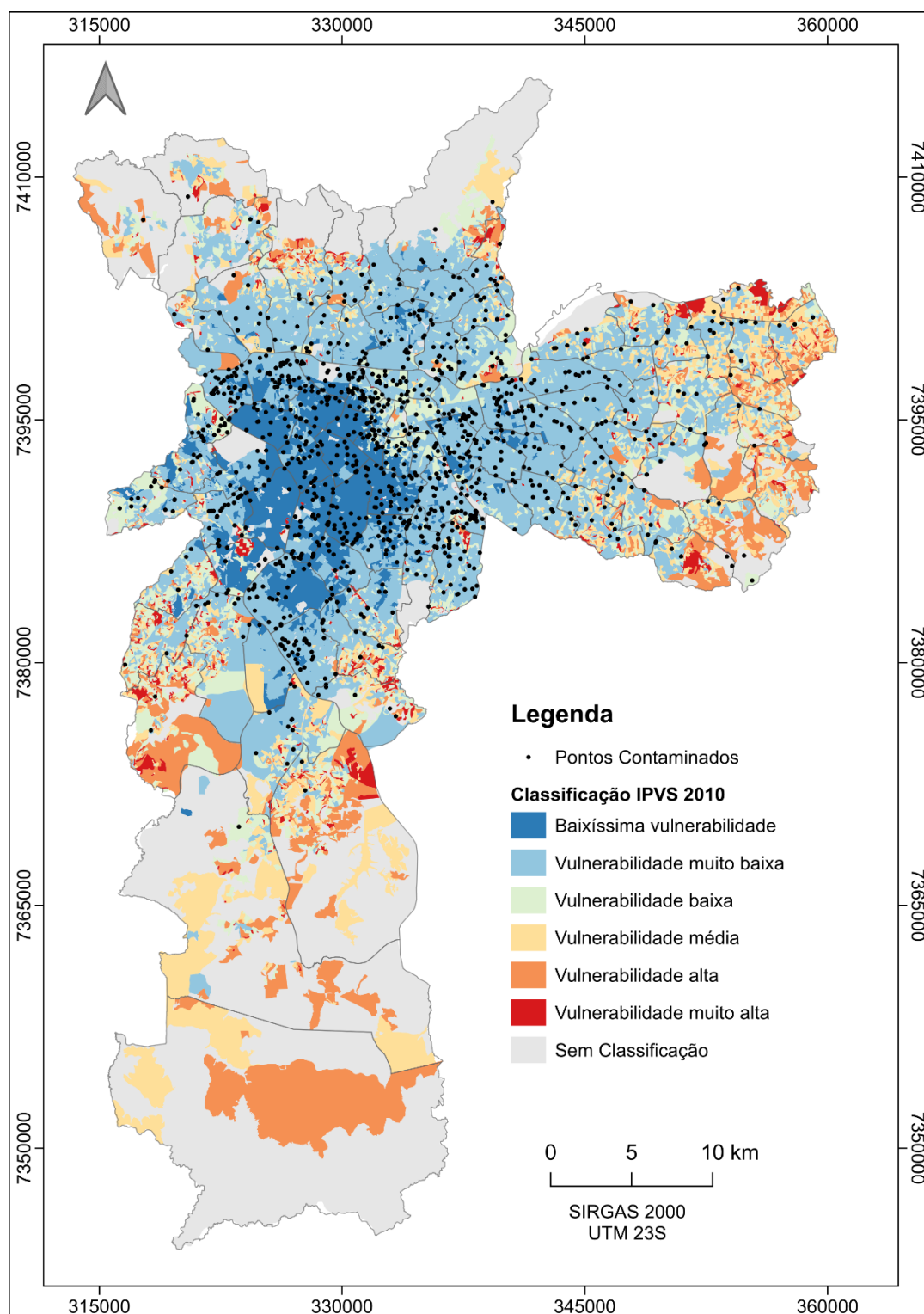


Figura 1: Mapa de pontos contaminados do município de São Paulo distribuídos sobre os setores censitários, classificada segundo as categorias do Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (2010).

DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (1985-2023) EM ÁREA DE AQUIFERO CÁRSTICO URBANO NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA: UMA ANÁLISE MULTITEMPORAL COM GEOTECNOLOGIAS

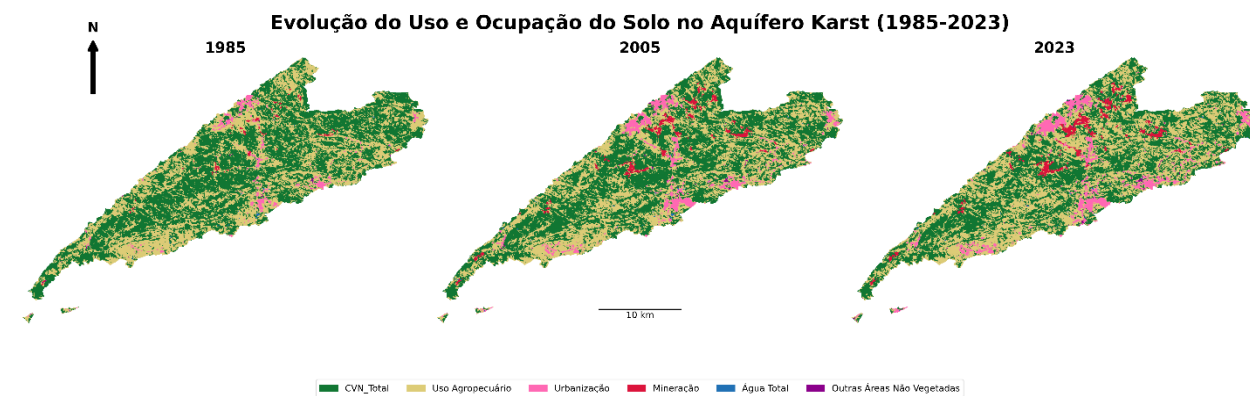
Arthur Borges Mello¹, Luís Gustavo de Castro², Alessandra de Barros e Silva Bongioiolo², Paula Cristina Neuburger de Oliveira¹, Marcos Vitor Fabro Dias¹, Oscar Salazar Júnior¹

¹Instituto Água e Terra, e-mail: arthurbm.geo@gmail.com, paula.o@iat.pr.gov.br, mvfdias@iat.pr.gov.br, osj@iat.pr.gov.br

²Universidade Federal do Paraná, e-mail: lgcastro@ufpr.br, alebongioiolo@ufpr.br

Aquíferos cársticos em contextos urbanos, como o sistema existente na Região Metropolitana de Curitiba (RMC), constituem recursos socioambientais estratégicos, embora sejam intrinsecamente vulneráveis às atividades antrópicas. De acordo com estas premissas, este estudo investigou a dinâmica multitemporal do uso e ocupação do solo sobre uma extensa área de rochas carbonáticas (Karst) — delimitada pelo Decreto Estadual nº 4.435/2016 — analisando o intervalo de 1985 a 2023 para quantificar as transformações da paisagem e discutir suas implicações sobre este sensível sistema hídrico. A série anual de classificações da Coleção 9 do MapBiomas Brasil (resolução espacial de 30 metros) foi processada na plataforma Google Earth Engine (GEE), via API Python, em ambiente Jupyter/Colab, utilizando as bibliotecas *ee* e *geemap*. Essa abordagem permitiu automatizar a seleção das bandas anuais de classificação, recortar cada imagem ao polígono georreferenciado da área de estudo do Karst, aplicar a máscara de qualidade dos dados e extrair, utilizando a função *ee.Reducer.frequencyHistogram*, as áreas (km²) por classe original do MapBiomas. As 27 classes originais foram então agregadas em seis categorias-chave para a análise: Cobertura Vegetal Nativa Total (CVN_Total), Uso Agropecuário, Urbanização, Mineração, Água Total e Outras Áreas Não Vegetadas. Os resultados anuais, já em formato tabular, foram analisados em ambiente Python com aplicação das bibliotecas *pandas* e *numpy* para cálculo das mudanças absolutas e percentuais acumuladas no período de 1985 a 2023, bem como das taxas anuais médias de alteração (utilizando a fórmula de Puyravaud). As visualizações gráficas foram geradas com *matplotlib* e *seaborn*. Como resultados observou-se uma marcante reconfiguração da paisagem: o Uso Agropecuário expandiu 18 km² (+8,3%), a Urbanização cresceu 21,4 km² (+192,2%) e a Mineração aumentou 13,2 km² (+432,5%). Em contrapartida, a Cobertura Vegetal Nativa Total perdeu 53,5 km² (-18,5%) e a classe Água Total diminuiu 0,15 km² (-16,1%). Outras Áreas Não Vegetadas aumentaram 1,24 km² (+129%). A supressão da vegetação nativa, a redução das massas superficiais de água e o avanço de usos do solo que promovem impermeabilização elevam os riscos de contaminação hídrica, alteram os regimes de recarga do aquífero e podem intensificar fenômenos como subsidência e desenvolvimento de dolinas. Esses fatores podem comprometer esse manancial essencial, impactando a infraestrutura e a população local. A integração entre GEE e Python demonstrou elevado potencial para o monitoramento multitemporal e forneceu subsídios decisivos para planejamento territorial e gestão sustentável de sistemas cársticos urbanizados. A partir dos resultados e discussão, recomenda-se a implementação de um programa de acompanhamento contínuo para orientar políticas públicas e mitigar impactos futuros.

Palavras-chave: aquífero, geoprocessamento, Python.



Fonte: MapBiomas Coleção 9 | Elaboração: 2025

Figura 1: Evolução do uso e ocupação do solo no aquífero Karst (1985–2023). Mapas de 1985, 2005 e 2023 com classes agrupadas segundo o MapBiomas Coleção 9; barra de escala gráfica de 10 km sob o mapa central e seta do norte no canto superior esquerdo.

MODELAGEM PREDITIVA DE CONTAMINANTES NAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DO RIO TIETÊ (SP) NA ÚLTIMA DÉCADA

Isabela Guimarães de Araujo¹, Daniel Marcos Bonotto²

¹PPGGMA-IGCE, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, PRH-40.1,
isabela.guimaraes@unesp.br

²Departamento de Geologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP,
daniel.bonotto@unesp.br

É de amplo conhecimento a importância das águas para a manutenção e continuidade da vida. Os recursos hídricos superficiais, além de serem fundamentais fontes de abastecimento de água para diversos países, por não penetrarem o solo, são de fácil acesso e sem necessidade de perfuração para obter acesso. Contudo, o fácil acesso dessas águas também motiva e estimula a discussão de conservação, exploração e avaliação da sua qualidade. Os cursos d'água em regiões metropolitanas são passíveis das mais diversas atividades, as quais estão relacionadas principalmente ao consumo humano bem como uso industrial. Em alguns casos, as atividades industriais demandam maior consumo desse tipo de recurso, o que pode resultar, na degradação de mananciais, dos corpos d'água, bem como de rios inteiros, tornando-os impróprios para as mais variadas finalidades. O presente trabalho tem como objetivo identificar a contaminação e variação de compostos presentes nas águas do Rio Tietê, incluindo metais, semi-metais, elementos terras raras e derivados de hidrocarbonetos, em todo o estado paulista, com base nas análises realizadas entre 2013 e 2024 pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Posteriormente, com base no banco de dados disponível no sistema INFOáguas, foi possível gerar modelos preditivos do comportamento estimado da concentração de cada composto selecionado para a próxima década e evitar que a sua concentração ultrapasse os valores limites estabelecidos por organizações de saúde, como o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e o Ministério de Saúde Brasileiro. O comportamento da concentração dos compostos selecionados é relevante para modelagens preditivas, com o auxílio da Inteligência Artificial, e tem se mostrado de grande utilidade para esse tipo de aplicação. Com esse intuito, o Support Vector Regression (SVR), uma extensão do Support Vector Machine (SVM) vem sendo usado amplamente para prever comportamentos futuros de concentração, dentro de um limite de erro, e para gerar modelos preditivos, independente de hiatos. O método adotado apresentou bons resultados para parâmetros de ocorrência contínua, projetando o comportamento e sendo útil para a remediação e/ou mitigação de possíveis contaminações que ocorrem nos pontos de amostragem ao longo do percurso do rio. Em casos de hiatos espaciais, como os derivados de hidrocarbonetos que estão presentes apenas na Região Metropolitana de São Paulo, a modelagem fica restrita à região, sendo, portanto, não eficaz para a modelagem em outras áreas que não apresentam resultados de análises desses compostos. Em casos de hiatos temporais, entretanto, como o caso do gadolínio antrópico, com sua distribuição espacial presente em quase todos os municípios estudados, é factível a modelagem comportamental preditiva para os próximos anos, como desejado.

Palavras-chave: Modelagem preditiva, Rio Tietê, Águas superficiais.

CORRELAÇÃO ENTRE A DENSIDADE DA VEGETAÇÃO RIPÁRIA E A QUALIDADE DA ÁGUA EM RIOS NO ESTADO DE SÃO PAULO UTILIZANDO IMAGENS DE SATÉLITE SENTINEL2 E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

Juliana Mitie Isayama Asano¹, Rafael Augusto Caracciolo Arone², Davi Gasparini Fernandes Cunha³

¹Universidade de São Paulo, jj_miti@usp.br

²Universidade de São Paulo, e-mail, rafael.arone@usp.br

³Universidade de São Paulo, davig@sc.usp.br

A vegetação ripária exerce um papel fundamental na preservação de corpos hídricos e pode ser definida como um espaço tridimensional que contém vegetação, solo e rio, no qual sua extensão é horizontalmente até o alcance de inundação e verticalmente do regolito (abaixo) até o topo da copa da floresta (acima). Assim, em se tratando de uma interface entre o sistema terrestre e aquático, pode atuar na remoção de sedimentos e outros poluentes, a partir do escoamento superficial, por meio de filtragem, deposição, infiltração, adsorção, absorção, decomposição, e volatilização (DILLAHA et al., 1989). O sensoriamento remoto é uma ferramenta poderosa uma vez que é uma solução economicamente mais viável de se obter dados em se tratando de ambientes de estudo em larga escala. Neste estudo, utilizou-se a base de dados abertos de monitoramento da qualidade da água superficial da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), filtrando os dados de 2017 a 2023. Com base na classificação climática de Köppen, foram incluídas apenas estações localizadas em regiões de clima subtropical com inverno seco (Cwa). Também foram consideradas apenas as estações com mais de 2.000 registros de parâmetros no período. As bacias foram delimitadas no ArcGIS Pro com as ferramentas *Fill*, *Flow Direction* e *Basin*, utilizando as estações como exutórios e dados do Modelo Digital de Elevação (DEM) do USGS, com resolução de 30 m. Em seguida, foram utilizados dados do satélite Sentinel-2 L2A, via API do SentinelHub, com *download* mensal das bandas do espectro visível e NIR (resolução de 10 m). As áreas de vegetação ripária foram delimitadas com base no arquivo de drenagem da ANA, aplicando *buffer* variável conforme a vegetação ciliar observada nas imagens. Propomos um método de cálculo de densidade da vegetação ripária a partir dos dados de NDVI, definido pela média do índice na região de vegetação. Para mostrar a eficiência deste índice, comparamos com os índices de qualidade da água: condutividade elétrica, *E. Coli*, oxigênio dissolvido (OD) e turbidez. Tais parâmetros foram definidos devido a sua maior frequência de dados disponíveis e por conta de sua representatividade na análise da qualidade de água. As informações do banco de dados de qualidade possuem uma frequência de amostragem de 2 a 3 meses dependendo do dado, considerando dados faltantes e assim, foram excluídos das análises. Os testes estatísticos para verificar a correlação dos dados foram testes de regressão linear. Os resultados preliminares para a bacia CRUM02050 (localizada na região rural do município de Analândia e que possui predominantemente ocupação de agricultura e pastagem) demonstram um R^2 de condutividade elétrica, *E. Coli*, oxigênio dissolvido (OD) e turbidez respectivamente de 0,0012, 0,0313, 0,0031 e 0,013, indicando baixa correlação para todos os parâmetros analisados. Tais resultados podem ser em decorrência do fator de sazonalidade nas quais os índices de qualidade apresentam respostas imediatas enquanto que o NDVI apresenta uma resposta tardia em relação aos dados primários. Isso é evidenciado na Figura 2 pela série temporal decomposta do NDVI a partir do seu *Singular Spectrum Analysis* (SSA) com tamanho de janela de um ano que apresenta seus picos no final da estação chuvosa/início da estação seca. As análises de ajuste de modelo permitem entender melhor a correlação entre as propriedades da vegetação ripária e sua influência na qualidade da água.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, vegetação ripária, qualidade de água.

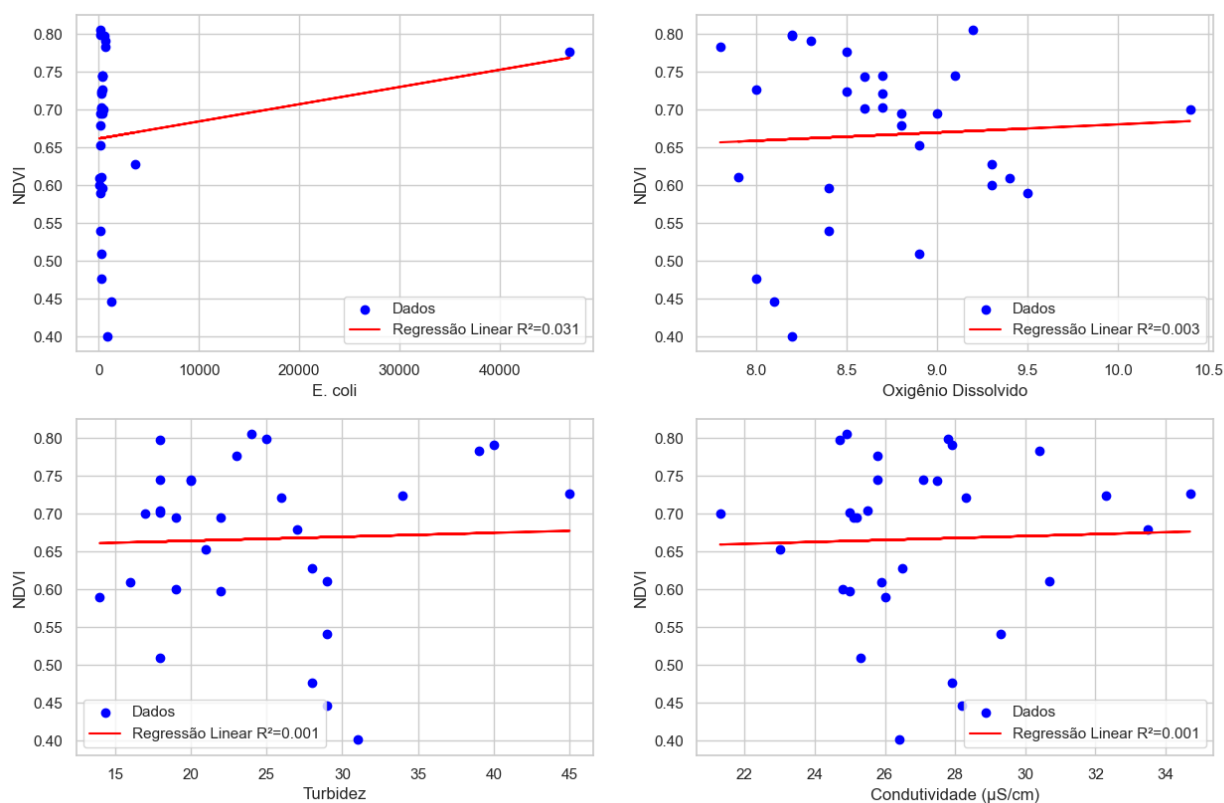


Figura 1: Relações de correlação por regressão para os dados de NDVI comparados às séries temporais de *E. Coli*, Oxigênio dissolvido, turbidex e condutividade.

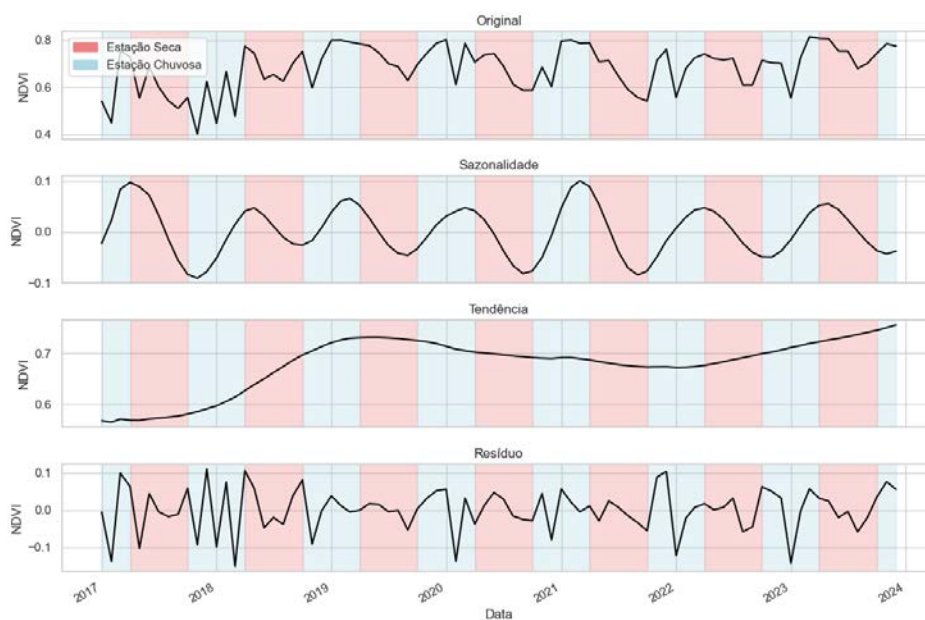


Figura 2: Decomposição do NDVI com SSA em variáveis de tendência e de sazonalidade comparadas às estações secas e chuvosas.

EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA LINHA DE COSTA DO LITORAL MÉDIO E SUL DO RIO GRANDE DO SUL: DINÂMICA ATUAL E PROGNÓSTICO

Vanessa Schmitzhaus¹, Joana Neukamp¹, Douglas Blauth¹, Luiz Felipe Bastos Sartor¹, Neimar Barronio¹, Hayslom Pinzon Pereira¹, Christie Engelmann de Oliveira¹, Renata Guimarães Netto¹

¹Universidade do Vale do Rio dos Sinos, e-mail: schmitzhausv@gmail.com, joananeukamp@gmail.com, blauthdouglas@gmail.com, ironius833@gmail.com, neimarbarronio@yahoo.com.br, hayslom@gmail.com, chelouise@unisinos.br, nettorg@unisinos.br

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) se formou a partir do acúmulo de quatro sistemas laguna-barreira (SLB I a IV) durante o Quaternário. Seus depósitos têm caráter predominantemente progradantes e foram influenciados por fenômenos de escala global que moldaram a morfologia das regiões litorâneas, dentre eles a tectônica de placas, as condições climáticas e as variações no nível do mar. Este trabalho teve como objetivo ampliar a compreensão da dinâmica e dos fatores que controlam a evolução dos sistemas deposicionais costeiros, além de elaborar um prognóstico para a evolução da região do litoral médio e sul do Rio Grande do Sul (RS), do município de Osório até o município de Chuí. Para isso, foi realizada a análise da evolução da linha de costa, paisagem e temperatura utilizando imagens de satélites Landsat e Sentinel. As análises consideraram intervalos de 10 anos, com imagens capturadas entre os meses de março e maio nos anos de 1984, 1994, 2004, 2014 e 2024, obtidas nos sites da United States Geological Survey (USGS) e do Copernicus. As imagens foram processadas no software QGIS® Desktop 3.34.3. A análise das variações na linha de costa revelou que, na região do litoral médio e sul do Rio Grande do Sul não há uma tendência única de evolução costeira. Em algumas áreas observa-se a retrogradação, caracterizada pelo recuo da linha de costa, enquanto em outras ocorre a progradação, marcada pelo avanço da linha de costa em direção ao mar. Essa variabilidade está diretamente relacionada às características geomorfológicas da região, influenciadas por uma complexa interação entre processos sedimentares e oceânicos. Além disso, foram calculados três índices e realizadas análises espectrais para caracterizar a paisagem. Entre eles, destaca-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), utilizado para representar as características da cobertura vegetal. A análise revelou um aumento significativo na vegetação entre 1984 e 2024. O Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI), segue os mesmos princípios do NDVI e permite identificar corpos d'água com base na curva de reflectância da água. A análise dos dados de 1984 a 2024 revelou um aumento tanto nas áreas classificadas como de seca moderada quanto nas regiões com inundações ou alta umidade, evidenciando uma dinâmica significativa na distribuição da água na região ao longo do tempo. E, por fim, a Análise de Temperatura da Superfície Terrestre foi realizada apenas nas imagens Landsat 8 do mês de abril de 2014 e de março de 2024, permitindo a medição da temperatura e auxiliando na interpretação de variações térmicas. Em 2014, a temperatura máxima registrada foi de 30 °C, enquanto em 2024 essa temperatura subiu para 40 °C, indicando um claro aumento no aquecimento da linha de costa ao longo de todo o litoral médio e sul do RS. Contudo, o prognóstico para a linha de costa da região nos próximos 50 anos a partir dos últimos 50 anos analisados neste trabalho, indica que as dinâmicas atuantes devem permanecer constantes, mas não uniformes, visto as oscilações cíclicas identificadas em algumas regiões ao longo da PCRS. Conforme a média anual quantitativa calculada, estima-se uma retrogradação de aproximadamente 25 m em algumas regiões e uma progradação aproximada de 77 m nas demais regiões.

Palavras chaves: Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Sensoriamento Remoto, Progradação e Retrogradação.

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOFÍSICA EM ZONA CRÍTICA URBANIZADA

Victoria Malta Pereira de Lima¹, Andrea Teixeira Ustra², Letícia Rangel Dantas³

¹Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, e-mail: victoriamaltadelima@usp.br

²Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, e-mail: andrea.ustra@iag.usp.br

³Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, e-mail: lrdantas@usp.br

A Zona Crítica (ZC) corresponde à camada mais superficial do planeta, essencial para a vida, é caracterizada por processos complexos que demandam abordagens interdisciplinares. A água desempenha papel fundamental na ZC, permeando todos os sistemas e funcionando como agente geológico. Este trabalho apresenta resultados preliminares sobre a caracterização da água subterrânea no Parque Ecológico do Tietê (PET). Localizado entre São Paulo e Guarulhos, região de intensa intervenção antrópica, incluindo a deposição de sedimentos resultantes da retificação do Rio Tietê, que foram dispostos na área. Isto torna a área heterogênea e complexa em termos de análises. A pesquisa integra o Observatório Piloto de Zona Crítica, composta também pelo campus Leste da Universidade de São Paulo e pelo Parque Natural Municipal Fazenda do Carmo. O objetivo do trabalho é compreender a dinâmica da água subterrânea no PET, com foco na influência do Rio Tietê e na variação espacial e temporal da resistividade elétrica. Foram realizadas campanhas de eletrorresistividade, utilizando a técnica de caminhamento elétrico com arranjo dipolo-dipolo, em três linhas de 110 metros: duas paralelas ao rio, separadas pelo lago, e uma perpendicular. As aquisições ocorreram em fevereiro e maio de 2025, com espaçamentos de 2 e 4 metros entre os eletrodos, corrente injetada por 1000 ms e equipamentos da IRIS Instruments. O processamento foi realizado no software RES2DINV, com exclusão de dados com erro superior a 5% ou resistividades negativas. O software utiliza Forward modeling e inversão para o modelo. Adicionalmente, foram coletados dados físico-químicos (condutividade elétrica, pH, potencial de oxirredução, oxigênio dissolvido, temperatura, salinidade e sólidos dissolvidos totais) nos poços de monitoramento próximos às linhas 1 e 2, além de medições no lago e no rio. Os modelos de resistividade revelam o meio verticalmente heterogêneo, com zonas de maior resistividade nos primeiros metros e valores mais baixos em maiores profundidades, interpretados como relacionados à zona saturada. A linha 1, próxima ao rio, apresentou valores de resistividades superficiais superiores a 150 ohms.m e redução abaixo de 60 ohms.m a partir de 4,30 m. A linha 2 revelou padrões semelhantes, porém com resistividades mais altas, destacando-se uma feição entre 200 e 350 ohms.m. A linha 3, mais heterogênea, apresentou zonas de baixa resistividade intercaladas com regiões mais resistivas. Em maio, observou-se aumento das resistividades superficiais em todas as linhas, com maior contraste nas feições identificadas anteriormente, sugerindo variações sazonais e fluxos de água com diferentes composições. O imageamento das três linhas sugere um caminho preferencial de fluxo subterrâneo, representado pelas resistividades inferiores a 30 ohms.m. Os parâmetros físico-químicos indicaram aumento gradual da condutividade elétrica do lago aos poços e ao Rio Tietê, coerente com a distribuição espacial dos modelos geofísicos. As variações significativas entre as campanhas indicam influência da sazonalidade e possível impacto da poluição do Rio Tietê na qualidade da água subterrânea. Este estudo, em andamento, destaca a importância de integrar métodos geofísicos e físico-químicos para entender a complexa dinâmica da ZC em ambientes urbanos e antropizados. As próximas campanhas ao longo do ano permitirão avaliar melhor a influência temporal do Rio Tietê sobre a água subterrânea na região.

Palavras-chave: Zona Crítica, Água Subterrânea, Eletrorresistividade.

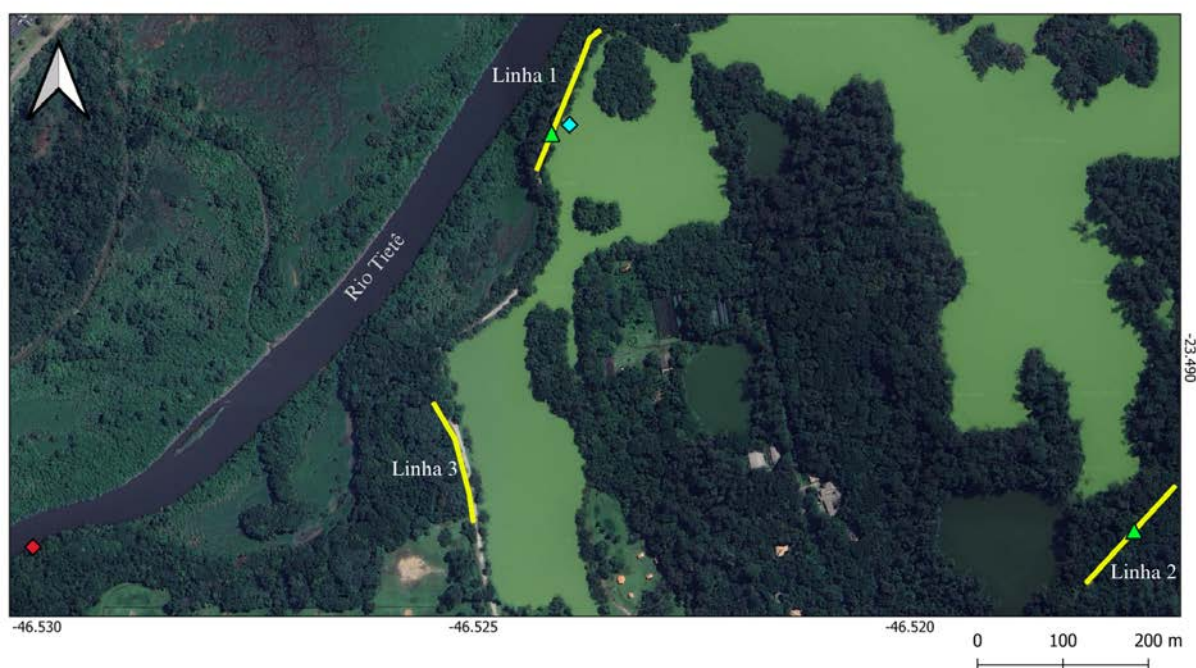


Figura 1: Mapa da área analisada do PET com a disposição espacial dos dados processados. As linhas amarelas indicam as linhas de CE, os pontos indicados com losangos e triângulos são os pontos de medidas dos parâmetros físico químicos. Os triângulos verdes indicam os poços, o losango vermelho indica o ponto do Rio Tietê e o losango azul indica o ponto do lago.

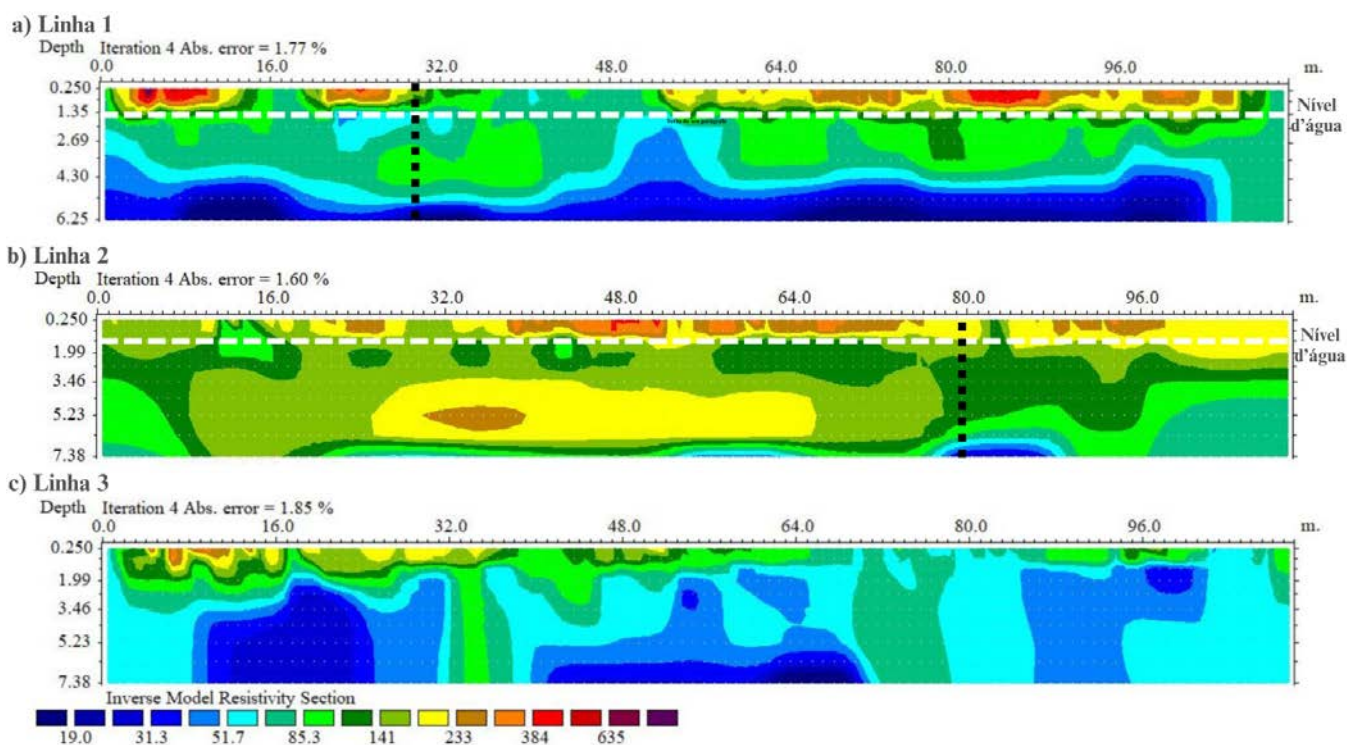


Figura 2: Modelo de resistividade estimado pelo Res2DInv das aquisições de fevereiro de 2025. Aquisições feitas com espaçamento de 2 e 4 metros. As linhas pretas pontilhadas representam os poços de monitoramento e a branca pontilhada representa o nível d'água. a) Linha 1, b) Linha 2 e c) Linha 3.



SESSÃO TEMÁTICA 03

ALGORITMOS E APLICATIVOS NAS GEOCIÊNCIAS

COORDENADORES:

Edenilson Roberto do Nascimento

Wagner Moreira Lupinacci

WE-ME: SISTEMA INTELIGENTE PARA PADRONIZAR E EXTRAIR DE FORMA AUTOMATIZADA DADOS DE POÇOS PARA WORKFLOWS DE INTERPRETAÇÃO SÍSMICA

Maria Eduarda Candida Francklim Francisco¹, Francisco Manoel Wohnrath Tognoli¹

¹Laboratório de Geologia Quantitativa (QG Lab | UFRJ), e-mail: mariaeduarda.francklim@gmail.com, franciscotognoli@igeo.ufrj.br

O Brasil abriga um dos maiores repositórios de dados de poços do mundo, gerenciado pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). As iniciativas REATE (Programa de Revitalização da Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural em Áreas Terrestres) e do PROMAR (Programa de Revitalização e Incentivo à Produção de Campos Marítimos) ampliaram o acesso a esses dados, abrindo novas possibilidades para exploração e pesquisa. No entanto, o grande volume e a diversidade de formatos tornam a preparação de dados um desafio para geocientistas, especialmente para análises avançadas em *softwares* de interpretação sísmica e modelagem geológica. A falta de padronização de registros históricos entre si mesmos e também entre registros contemporâneos torna o processo manual de análise, seleção e extração lento e suscetível a erros. Para enfrentar esses desafios, foi desenvolvido um sistema em Python que automatiza a extração, organização e o processamento dos dados provenientes da ANP, chamado de WE-ME (*Well data Extraction - Made Easy*). Ele filtra e estrutura informações essenciais, como coordenadas UTM e datum, dados direcionais (profundidade medida, profundidade vertical verdadeira, inclinação, azimuth) e interpretações sobre litologia, litoestratigrafia, cronoestratigrafia, *checkshots*, indícios (simples e detalhados) de hidrocarbonetos e o ano de término da perfuração de cada um dos poços de interesse. Os resultados são planilhas resumidas e arquivos detalhados prontos para integração com *softwares* de interpretação sísmica. Processos para extrair, transformar e carregar (ETL) dados, que antes levavam semanas, agora podem ser realizados em minutos. O sistema foi validado com dados de 343 dados das Bacia de Santos, Campos, Potiguar e do Acre, demonstrando integração bem-sucedida a um software de interpretação sísmica. WE-ME aproveita a flexibilidade do Python para criar *scripts* personalizados que agilizam tarefas repetitivas, melhoram a acessibilidade e incentivam a reprodutibilidade. Este trabalho destaca como a automatização pode simplificar a manipulação de *big data*, promovendo a utilização de grandes bancos de dados de poços em estudos exploratórios e contribuindo para a otimização de processos nas geociências e na indústria de energia.

Palavras-chave: geoinformática, ETL, poços.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
	Well	.txt	UTM	dados direcionais	Jas	dif	Jas	Info Crono	Info Lito	Litologia Interpretada	Checkshot	Info HC Simples	Info HC Complex	Fim da Perfuração		
1	1-BRSA-201-SPS	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes	No	No	No	2003		
2	1-BRSA-201A-SPS	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes	No	No	No	2003		
3	1-BRSA-38-SPS	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes	No	No	No	2001		
4	1-BRSA-707-SPS	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	No	Yes	Yes	No	No	No	2009		
5	1-SPS-15-SPS	Yes	Yes	No	No	Yes	No	No	Yes	Yes	No	No	No	1980		
6	3-BRSA-242A-SPS	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	2004		
7	3-BRSA-293D-SPS	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	2004		
8	3-BRSA-347-SPS	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	2005		
9	3-BRSA-371-SPS	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	No	Yes	Yes	Yes	No	No	2005		
10	3-BRSA-374D-SPS	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	2005		
11	3-BRSA-383DP-SPS	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	No	Yes	Yes	No	No	No	2005		
12	3-BRSA-391-SPS	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	2005		
13	3-BRSA-398-SPS	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	2006		
14	3-BRSA-185-SPS	Yes	Yes	No	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	2003		
15	4-BRSA-334D-SPS	Yes	Yes	No	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	2005		
16	4-BRSA-334D-SPS	Yes	Yes	No	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	2005		
17	4-BRSA-717-SPS	Yes	Yes	No	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	2009		
18	6-BRSA-701DP-SPS	Yes	Yes	No	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	2009		
19	7-MXL-11HP-SPS	Yes	No	Yes	No	Yes	No	No	No	No	No	No	No	?		
20	7-MXL-13H-SPS	Yes	No	Yes	No	Yes	No	No	No	No	No	No	No	?		
21	7-MXL-17HP-SPS	Yes	No	Yes	No	Yes	No	No	No	No	No	No	No	?		
22	7-MXL-17HPA-SPS	Yes	No	Yes	No	Yes	No	No	No	No	No	No	No	?		
23	7-MXL-18H-SPS	Yes	No	Yes	No	Yes	No	No	No	No	No	No	No	?		
24	7-MXL-18HA-SPS	Yes	No	Yes	No	Yes	No	No	No	No	No	No	No	?		
25	7-MXL-5HP-SPS	Yes	No	Yes	No	Yes	No	No	No	No	No	No	No	?		
26	7-MXL-7HP-SPS	Yes	No	Yes	No	Yes	No	No	No	No	No	No	No	?		
27	7-MXL-9HP-SPS	Yes	No	Yes	No	Yes	No	No	No	No	No	No	No	?		
28	9-MXL-10D-SPS	Yes	No	Yes	No	Yes	No	No	No	No	No	No	No	?		
29	9-MXL-14D-SPS	Yes	No	Yes	No	Yes	No	No	No	No	No	No	No	?		
30	9-MXL-10D-SPS	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	No	No	No	No	No	No	2005		
31	9-MXL-2HP-SPS	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	No	No	No	No	No	No	2005		
32	9-MXL-4D-SPS	Yes	Yes	Yes	No	No	No	No	No	No	No	No	No	2006		
33	9-MXL-6D-SPS	Yes	Yes	Yes	No	No	No	No	No	No	No	No	No	?		
34	9-MXL-6DA-SPS	Yes	Yes	Yes	No	No	No	No	No	No	No	No	No	2007		
35	9-MXL-8D-SPS	Yes	Yes	Yes	No	No	No	No	No	No	No	No	No	2007		

Figura 1: Exemplo de uma planilha gerada pelo WE-ME sobre poços do Campo de Mexilhão, Bacia de Santos.

UTM ALL.txt

Arquivo

Editar

Exibir

DIR-9-MXL-10-SPS.txt

Arquivo

Editar

Exibir

HCSimples-9-MXL-10-SPS.txt

Arquivo

Editar

Exibir

LITO-9-MXL-10-SPS.txt

Arquivo

Editar

Exibir

CRONO-9-MXL-10-SPS.txt

Arquivo

Editar

Exibir

CHECKSHOT-9-MXL-10-SPS.txt

Arquivo

Editar

Exibir

Well

E/Z

N/Y

DATUM

1-BRSA-201-SPS

567369.0

2286381.0

ARATU-BS

487.0

0.0

487.0

0.0

9-MXL-1D-SPS

1-BRSA-201A-SPS

567369.0

2286381.0

ARATU-BS

487.0

0.0

487.0

0.0

9-MXL-1D-SPS

1-BRSA-38-SPS

573455.0

2295531.0

ARATU-BS

575.0

0.81

575.0

21.43

9-MXL-1D-SPS

1-SPS-15-SPS

565072.0

2295531.0

ARATU-BS

661.0

0.97

661.99

272.48

9-MXL-1D-SPS

3-BRSA-242A-SPS

588346.0

2286969.0

ARATU-BS

661.0

0.99

660.99

261.49

9-MXL-1D-SPS

3-BRSA-293D-SPS

583036.0

2286969.0

ARATU-BS

699.0

1.02

699.98

279.84

9-MXL-1D-SPS

3-BRSA-347-SPS

559080.0

2298411.0

ARATU-BS

717.0

1.08

716.98

263.57

9-MXL-1D-SPS

3-BRSA-371-SPS

559080.0

2298411.0

ARATU-BS

787.0

0.88

786.97

272.48

9-MXL-1D-SPS

3-BRSA-374D-SPS

563728.0

2298411.0

ARATU-BS

776.0

0.59

775.97

266.36

9-MXL-1D-SPS

3-BRSA-383DP-SPS

559989.0

2298411.0

ARATU-BS

804.0

0.63

803.97

381.36

9-MXL-1D-SPS

3-BRSA-391-SPS

557811.0

2298411.0

ARATU-BS

831.0

0.40

832.97

381.36

9-MXL-1D-SPS

3-BRSA-398-SPS

560038.0

2298411.0

ARATU-BS

863.0

0.32

862.97

375.97

9-MXL-1D-SPS

4-BRSA-185-SPS

578262.0

2298411.0

ARATU-BS

890.0

0.53

889.97

293.51

9-MXL-1D-SPS

4-BRSA-334D-SPS

559423.0

2286381.0

ARATU-BS

947.0

0.2

946.97

28.38

9-MXL-1D-SPS

4-BRSA-717-SPS

569268.0

2286381.0

ARATU-BS

976.0

0.27

975.97

93.48

9-MXL-1D-SPS

6-BRSA-701DP-SPS

588511.0

2298411.0

ARATU-BS

1083.0

0.14

1082.97

315.58

9-MXL-1D-SPS

7-MXL-11HP-SPS

577752.0

2292338.0

ARATU-BS

1832.0

0.46

1831.96

335.57

9-MXL-1D-SPS

7-MXL-13H-SPS

577752.0

2292338.0

ARATU-BS

1841.0

0.4

1840.96

329.72

9-MXL-1D-SPS

7-MXL-17HP-SPS

580181.0

2292338.0

ARATU-BS

1890.0

0.63

1889.96

357.97

9-MXL-1D-SPS

7-MXL-17HPA-SPS

580181.0

2292338.0

ARATU-BS

1131.0

1.35

1130.95

265.44

9-MXL-1D-SPS

7-MXL-18H-SPS

581291.0

2292338.0

ARATU-BS

1176.0

1.55

1175.95

268.33

9-MXL-1D-SPS

7-MXL-18HA-SPS

581291.0

2292338.0

ARATU-BS

1246.0

1.88

1245.93

248.48

9-MXL-1D-SPS

7-MXL-5HP-SPS

580811.0

2298411.0

ARATU-BS

7-MXL-7HP-SPS

580811.0

2298411.0

ARATU-BS

7-MXL-9HP-SPS

580811.0

2298411.0

ARATU-BS

9-MXL-10D-SPS

580811.0

2298411.0

ARATU-BS

9-MXL-14D-SPS

580811.0

2298411.0

ARATU-BS

9-MXL-2HP-SPS

580811.0

2298411.0

ARATU-BS

9-MXL-4D-SPS

580811.0

2298411.0

ARATU-BS

9-MXL-6D-SPS

580811.0

2298411.0

ARATU-BS

9-MXL-6DA-SPS

580811.0

2298411.0

ARATU-BS

9-MXL-8D-SPS

580811.0

2298411.0

ARATU-BS

LITOLOGIA-9-MXL-10-SPS.txt

Arquivo

Editar

Exibir

HCSimples-9-MXL-10-SPS.txt

Arquivo

Editar

Exibir

CRONO-9-MXL-10-SPS.txt

Arquivo

Editar

Exibir

CHECKSHOT-9-MXL-10-SPS.txt

Arquivo

Editar

Exibir

TOPO

BASE

ROCHA

GRAMULOMETRIA

ARREDOONDAMENTO

Well

487.0

1115.0

ARGILA

NULO

NULO

9-MXL-1D-SPS

1135.0

1119.0

ARGILA

NULO

NULO

9-MXL-1D-SPS

1115.0

1128.0

ARGILA

NULO

NULO

9-MXL-1D-SPS

1128.0

1324.0

FOLHEMHO

NULO

NULO

9-MXL-1D-SPS

1324.0

1336.0

ARGILA

NULO

NULO

9-MXL-1D-SPS

1324.0

1394.0

FOLHEMHO

NULO

NULO

9-MXL-1D-SPS

1394.0

1396.0

ARENITO

NULO

SURANGULAR

9-MXL-1D-SPS

1396.0

1449.0

PANCA

NULO

NULO

9-MXL-1D-SPS

1449.0

1413.0

FOLHEMHO

NULO

NULO

9-MXL-1D-SPS

1413.0

1417.0

PANCA

NULO

NULO

9-MXL-1D-SPS

1417.0

1429.0

ARENITO

GRUSSO

SURANGULAR

9-MXL-1D-SPS

1429.0

1427.0

FOLHEMHO

NULO

NULO

9-MXL-1D-SPS

1427.0

1435.0

ARENITO

GRUSSO

SURANGULAR

9-MXL-1D-SPS

1435.0

1435.0

FOLHEMHO

NULO

NULO

9-MXL-1D-SPS

1435.0

1459.0

ARENITO

GRUSSO

SURANGULAR

9-MXL-1D-SPS

1459.0

1461.0

FOLHEMHO

NULO

NULO

9-MXL-1D-SPS

1461.0

1466.0

ARENITO

GRUSSO

SURANGULAR

9-MXL-1D-SPS

1466.0

1471.0

FOLHEMHO

NULO

NULO

9-MXL-1D-SPS

1471.0

1476.0

ARENITO

GRUSSO

SURANGULAR

9-MXL-1D-SPS

1476.0

1478.0

CAULICITTO

NULO

NULO

9-MXL-1D-SPS

1478.0

1483.0

NULO

NULO

NULO

9-MXL-1D-SPS

1483.0

1487.0

ARENITO

GRUSSO

SURANGULAR

9-MXL-1D-SPS

1487.0

1488.0

PANCA

NULO

NULO

9-MXL-1D-SPS

1488.0

1494.0

ARENITO

GRUSSO

SURANGULAR

9-MXL-1D-SPS

1494.0

1500.0

ARENITO

GRUSSO

SURANGULAR

9-MXL-1D-SPS

1500.0

1504.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1504.0

1504.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1504.0

1507.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1507.0

1507.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1507.0

1508.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1508.0

1508.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1508.0

1509.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1509.0

1509.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1509.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO

2

NU

9-MXL-1D-SPS

1510.0

1510.0

ETANO</

Figura 2: Exemplos de documentos gerados pelo WE-ME de todos os poços da pasta principal que possuem tais informações em um arquivo .txt: A) as coordenadas UTM e os data; B) os dados direcionais de um dos poços; C) as características das rochas de um dos poços; D) informações detalhadas sobre hidrocarbonetos identificados em um dos poços; E) informações simples sobre hidrocarbonetos identificados em um dos poços; F) as informações de litoestratigrafia de um dos poços; G) as informações de cronoestratigrafia de um dos poços; H) as informações de checkshot de um dos poços.

GEOMETRIC ALGORITHM FOR OPTIMIZED GRID SPACING DETERMINATION IN FRACTAL DIMENSION ANALYSES

Eros Kerouak Cordeiro Pereira¹, Saulo Pomponet Oliveira¹, Leonardo Uieda², Alessandra de Barros e Silva Bongioio¹, Tiago Lima Rodrigues³

¹Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geologia, Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada:
eroskerouak@ufpr.br, alebongioio@ufpr.br, saulopo@ufpr.br

²Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas: uieda@usp.br

³Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geomática: tiagorodrigues@ufpr.br

This study presents a method to define the ideal spatial resolution of the regular grid in the interpolation of irregularly distributed gravity data. In sparse gravity data, the heterogeneous spatial distribution of points can exacerbate interpolation errors if the grid spacing is not well-defined. Traditional methods rely on arbitrary choices or manual analyses, whereas the approach presented here automates the selection of the optimal resolution. Fractal dimension is a widely used tool to describe irregular and self-similar structures, proving useful in characterizing the density and homogeneity of gravity data networks. Based on the concepts described by Keating (1992) in "Determination of the Optimum Gridding Interval of a Gravity Data Set", the method applied here utilizes fractal dimension analysis via the Box-Counting geometric algorithm to identify the grid resolution that minimizes the distortion of interpolated data. The grid spacing (box size), δ , is related to the number of filled boxes, $N(\delta)$, by $N(\delta) \propto \delta^{-D}$, where D is the fractal dimension. The optimized grid interval is identified at the point where the distribution of points ceases to exhibit fractal characteristics and assumes a Euclidean behavior. This transition occurs when the slope of the $\log(\delta)$ - $\log(N(\delta))$ graph reaches -2 . The method was implemented in Python, using computational tools such as KD trees (k-d tree) for proximity calculations, log-log transformations for scale analysis, and numerical derivatives for inflection point identification. The workflow follows three main steps: computing box sizes, counting the number of boxes filled with at least one gravity station, and identifying the inflection point in the $\log(\delta)$ - $\log(N(\delta))$ graph. The box sizes are defined based on the planimetric distances between points and their nearest neighbors. These distances are calculated, compiled, and divided into percentiles (quartiles or deciles). Each interval is then subdivided into smaller sizes, with the number of subdivisions being proportional to the square root of the interval's range. The generated intervals are finally concatenated to form the final list of box sizes. For each value in this list, the space is divided, and the number of filled boxes is counted. In the inflection point identification step in the log-log graph, the values of δ and $N(\delta)$ are transformed into a logarithmic scale. Next, the slope between consecutive points on the curve is computed using the numerical derivative. The inflection point is defined as the first point where the curve's slope reaches or falls below the -2 threshold. Finally, the function returns the δ value corresponding to the inflection point, which represents the optimized grid interval. The method was tested on terrestrial gravity data from the south-central region of Brazil and on synthetic data. The results demonstrated its effectiveness, yielding consistent values for the grid interval, such as the 13,664 m value calculated for the south-central Brazil gravity network (Figure 1). However, some limitations were observed. When following an increasing sequence of box sizes, the inflection point tends to be reached earlier when a larger number of variations is tested. However, if the total number of variations is too high, the log-log graph may exhibit abrupt deviations at specific points, making the precise identification of the inflection point more challenging.

Keywords: Box-counting, gravimetry, interpolation

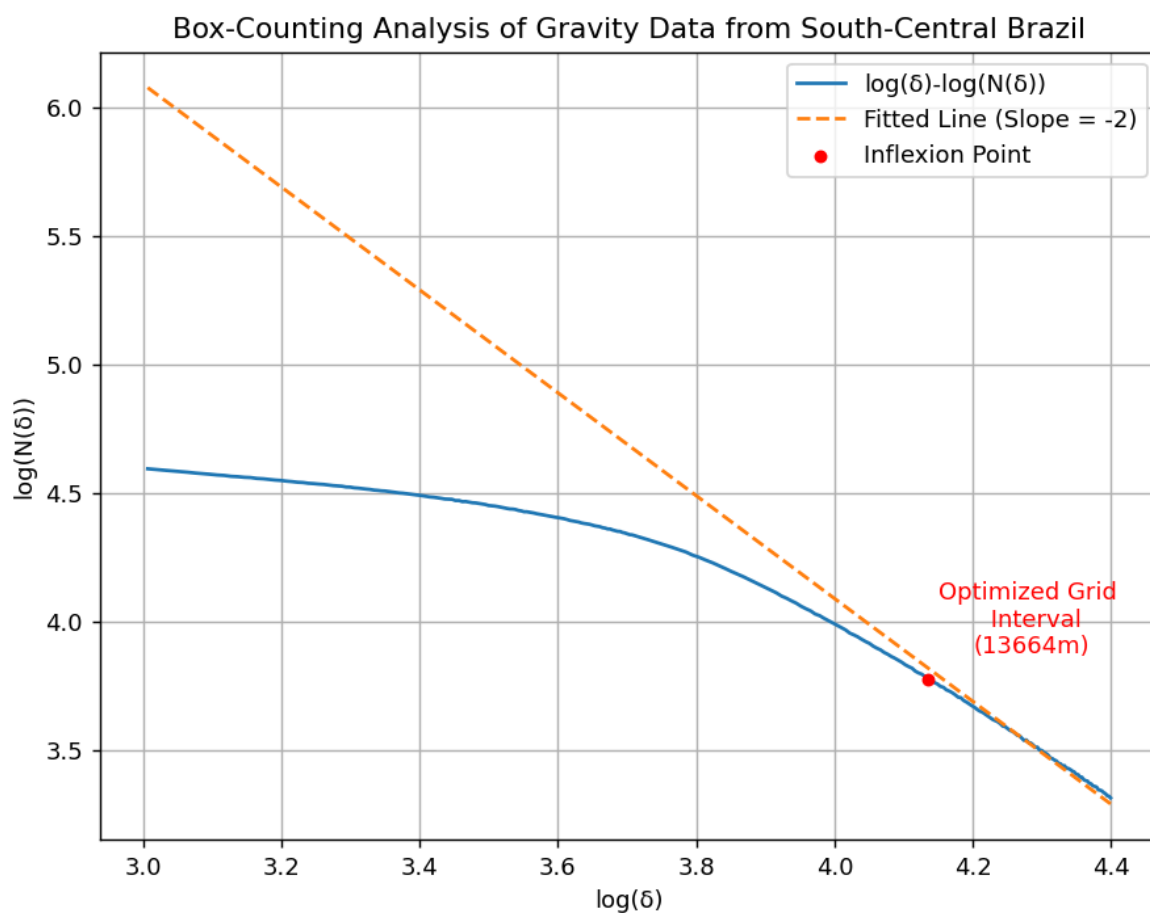


Figura 1: Gráfico log-log representando a análise de contagem de caixas aplicada a dados gravimétricos do centro-sul do Brasil. A curva azul $\log(\delta)$ - $\log(N(\delta))$ descreve a relação entre o tamanho das caixas δ e o número de caixas preenchidas $N(\delta)$. A linha tracejada laranja é o ajuste linear com inclinação aproximada de -2, enquanto o ponto vermelho indica o ponto de inflexão, onde o intervalo de grade otimizado foi identificado 13664m. Esse ponto marca a transição entre o comportamento fractal e euclidiano da distribuição dos dados.

DESENVOLVIMENTO PRELIMINAR DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO PARA RECONHECIMENTO DE PADRÕES TAFONÔMICOS EM MICROTOMOGRAFIAS DE COQUINAS GERADAS POR MODELAGEM FÍSICA

Vitor Mateus Lopes Vargas¹, Cristiano Fick², João Felipe Campanaro³, Julia Favoreto⁴, Fernando Neves⁵, Leonardo Borghi⁶, Eduardo Puhl⁷

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: vitor.lopes@ufrgs.br

²Universidade Federal do Rio de Janeiro, e-mail: cristiano.fick@geologia.ufrj.br

³Universidade Federal de Pelotas, e-mail: joaofelipecampanaro@hotmail.com

⁴Universidade Federal do Rio de Janeiro, e-mail: julia@geologia.ufrj.br

⁵Universidade Federal do Rio de Janeiro, e-mail: fneves@geologia.ufrj.br

⁶Universidade Federal do Rio de Janeiro, e-mail: lborghi@geologia.ufrj.br

⁷Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: eduardo.puhl@ufrgs.br

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma ferramenta automatizada para a segmentação e classificação de elementos tafonômicos em imagens de microtomografia (μ CT) de coquinas sintéticas geradas por modelagem física. O problema central da pesquisa reside na dificuldade de caracterizar quantitativamente conchas (valvas relativamente bem preservadas) e fragmentos de diferentes dimensões em imagens complexas, onde a sobreposição de elementos, formas irregulares e variações de contraste dificultam a análise manual. A metodologia propõe a aplicação de técnicas de processamento de imagem e visão computacional por meio de um algoritmo desenvolvido na linguagem Python, utilizando, além de módulos integrados próprios dessa linguagem de programação, bibliotecas open source como OpenCV, NumPy, SciPy e Matplotlib. O *pipeline* da automatização compreende no código etapas de entrada, pré-processamento, detecção de objetos, classificação e estruturação principal usando funções para obter parâmetros como circularidade, segmentação morfológica e realizar a extração de atributos. As imagens utilizadas foram obtidas a partir de plugs extraídos de depósitos gerados em modelagens físicas no IPH/UFRGS e analisadas por μ CT, resultando em seções bidimensionais representativas das amostras. A aplicação dessa abordagem em coquinas sintéticas é especialmente relevante para estudos voltados ao entendimento e caracterização de rochas do tipo reservatório do Pré-Sal, onde coquinas correspondem a importantes unidades produtoras de hidrocarbonetos, como observado nas bacias de Campos e Santos. Os resultados preliminares demonstraram que o algoritmo é capaz de recortar automaticamente a área útil da imagem, segmentar objetos mesmo em cenários de alta complexidade estrutural e classificá-los com boa precisão em três categorias principais: conchas (*shells*), fragmentos (*fragments*) e areia (*sand*). Foram analisadas imagens de dois conjuntos experimentais distintos, com variação nos padrões de deposição e densidade de bioclastos. Em ambos os casos, o sistema apresentou desempenho satisfatório, destacando a fidelidade na identificação das conchas preservadas e a eficiência na exclusão de ruídos e partículas irrelevantes. Como resultado esperado, pretende-se adicionar à ferramenta novas etapas e funções de processamento, com a finalidade de extrair informações como a orientação angular dos bioclastos, a posição relativa das concavidades (voltadas para cima ou para baixo) e a organização morfológica dos grupos populacionais dentro das amostras. A metodologia desenvolvida tem potencial para aprimorar significativamente a eficiência e a precisão da caracterização morfológica de rochas carbonáticas com potencial de reservatório, promovendo uma integração eficaz entre modelagem física, microtomografia e análise computacional em estudos tafonômicos. Dessa forma, a ferramenta contribui para o avanço de abordagens automatizadas aplicadas à caracterização de fácies e microfácies em rochas do tipo coquina, fortalecendo as bases para aplicações práticas em exploração e desenvolvimento de reservatórios do Pré-Sal.

Palavras-chave: Modelagem Física, Processamento de Imagem, Tafonomia.



MAPEAMENTO LITOFACIOLÓGICO DA PLATAFORMA CONTINENTAL CATARINENSE A PARTIR DA COMPILAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS GRANULOMÉTRICOS

Stévia Duarte Silva¹, José Gustavo Natorf de Abreu¹, Norberto Olmiro Horn Filho², Cristian Nunes Estevam³

¹Laboratório de Oceanografia Geológica, Escola Politécnica, Universidade do Vale do Itajaí, gabreu@univali.br

²Departamento de Geologia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina

³Universidade de São Paulo

O presente trabalho tem como objetivo apresentar a metodologia adotada para o mapeamento litofaciológico da plataforma continental catarinense, com base na compilação, sistematização e análise de dados granulométricos de sedimentos superficiais. A pesquisa foi estruturada em três fases principais: construção da base de dados, consolidação e tratamento do banco de dados, e análise e modelagem espacial dos dados. A base foi composta por 57 trabalhos produzidos entre 1972 e 2016, totalizando 2.699 amostras. Após procedimentos de verificação, filtragem, padronização e validação técnica, 1.125 amostras foram consideradas elegíveis. Os dados foram estruturados com base em parâmetros granulométricos (média, desvio padrão, assimetria), percentuais texturais (cascalho, areia, silte e argila), além de atributos como carbonato biodetrítico, matéria orgânica e coordenadas geográficas. A padronização seguiu a escala de Wentworth (1922) e os parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957), utilizando algoritmos condicionais para classificação nominal. A interpolação espacial foi realizada com o método do inverso da potência da distância (IDW), utilizando oito amostras no raio de busca e potência de 2,5. Os dados interpolados foram extraídos para uma malha regular de 2 km de resolução e classificados conforme o diagrama ternário de Shepard (1954), modificado por Schlee e Webster (1967), por meio do programa SEDCLASS (USGS). O resultado foi a delimitação de 13 unidades litofaciológicas: areia, areia siltosa, areia argilosa, silte, silte arenoso, silte argiloso, argila, argila arenosa, argila siltosa, areia-silte-argila, areia-silte-argila com cascalho <10%, sedimento cascalhoso e cascalho. As classes foram vetorizadas em escala 1:100.000, representando os domínios sedimentares com alta resolução espacial. O estudo destaca a importância da integração de dados históricos e de técnicas quantitativas na caracterização de ambientes marinhos, oferecendo suporte técnico e científico para ações de planejamento ambiental, gestão costeira e investigações geológicas na região sul do Brasil.

Palavras-chave: Granulometria, Plataforma Continental Catarinense, litofácies.

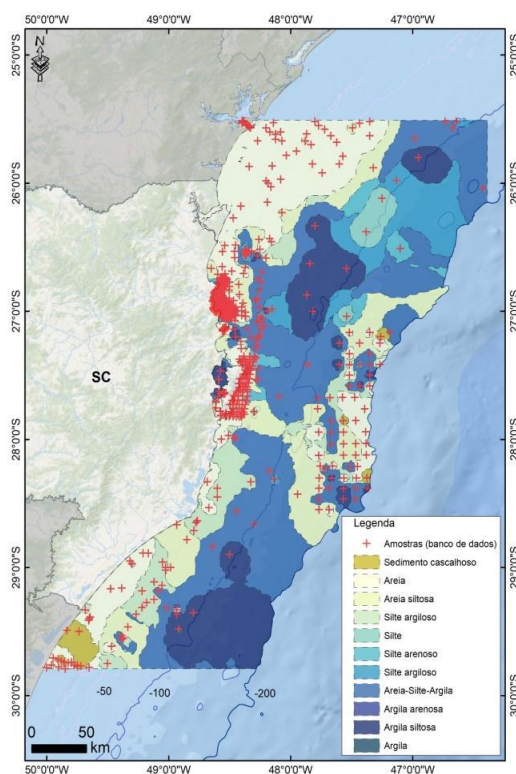


Figura 1 – Localização das amostras e distribuição das fácies sedimentares (cascalho, areia, silte e argila) da plataforma continental catarinense.

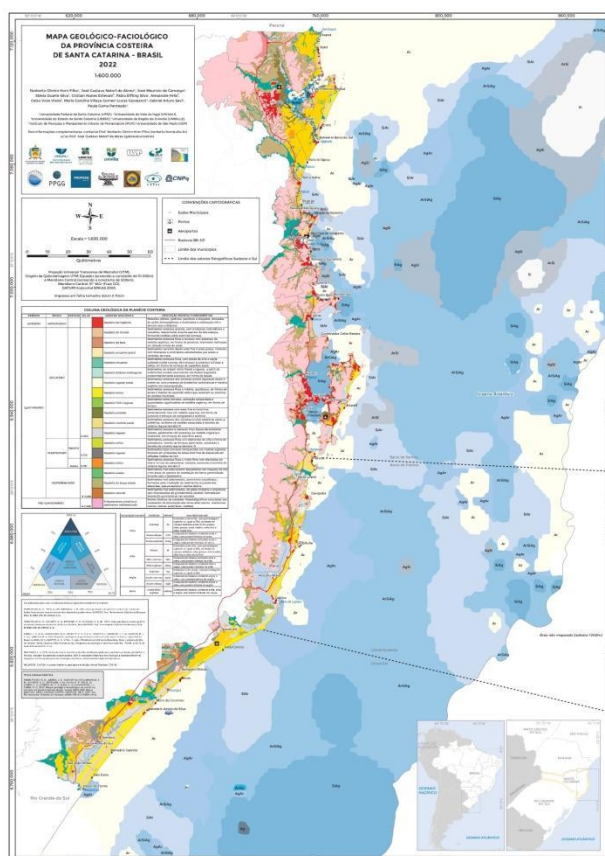


Figura 2 - Mapa Geológico-Faciológico da Província Costeira de Santa Catarina - Brasil 2022.

SCALABLE PYTHON PIPELINE FOR AUTOMATED BATCH PROCESSING AND STANDARDIZATION OF DLIS WELL LOGS FROM THE PARANÁ BASIN

Theresa Rocco Pereira Barbosa¹, Liliane Paiva Panetto², Edjane da Silva³, Luiz Felipe Franco Ferreira⁴,
Helena Saraiva Koenow Pinheiro⁵, Sérgio de Castro Valente⁶

¹Pesquisadora de Apoio Técnico, Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Evolução Geológica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, theresa.rocco@ufrj.br

²Pós-Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Evolução Geológica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, lilianepanetto@ufrj.br

³Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Evolução Geológica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, edjane@ufrj.br

⁴Graduando, Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Evolução Geológica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, luizfelipefferreira@gmail.com

⁵Docente e Pesquisadora, Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Evolução Geológica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, lenask@gmail.com

⁶Docente e Pesquisador, Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Evolução Geológica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, labmeg.gmail@gmail.com

Well log legacy data is commonly stored in DLIS (Digital Log Interchange Standard), a flexible yet structurally complex standard designed for sequential real-time acquisition. While DLIS preserves multi-dimensional depth/time-series measurements, its nested Logical Files and heterogeneous objects hinder modern petrophysical and machine learning approaches, limiting scalable reuse of historical datasets from the Paraná Sedimentary Basin. We developed a Python-based processing pipeline that automates large-scale DLIS conversion through three stages: (1) DLIS decomposition using `dlisio` to extract nested Logical Files (LFs) with metadata preservation; (2) Depth synchronization, including: (a) unit alignment—automatic feet-to-meters conversion when applicable, and (b) temporal alignment—resampling to regular 0.2 m intervals via NumPy's linear interpolation with NaN padding, anchored to a common depth reference; and (3) LAS generation with: (a) standardized headers (IEEE 754 NaN values), (b) depth-synchronized curves consolidated into a unified depth array, and (c) embedded provenance metadata. The implementation follows a reproducible architecture based on three main functions: (1) ``standardize_filename()`` for consistent naming; (2) ``batch_process_dlis()`` for parallelized execution; and (3) ``convert_dlis_to_las()`` for core transformation (preserving Logical File numbering via "LF#" suffixes to ensure traceability). The pipeline includes automated quality control reporting, summarizing global depth ranges, channel (curve) inventories per frame and LF, and toolstring metadata. It supports multi-well processing via isolated workflows, maintaining consistent traceability from raw DLIS input to final LAS output. This pipeline was applied to 93 DLIS files from wells drilled in the Paraná Basin (1953–1998), including 51 pioneer and 32 stratigraphic wells. Of these, 88 were successfully processed, yielding a 94.6% conversion rate. Failures were due to header corruption or index inconsistencies. All outputs follow FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) principles, with standardized naming conventions (`<well><run>`), SI unit conversions, and complete provenance records. While the current version standardizes data per well, enhancing reproducibility and processing efficiency, future improvements will: (1) implement human frame-level curation, (2) develop a Python-based mnemonic dictionary to consolidate all exploration wells into a unified basin-wide dataframe, (3) apply non-linear resampling methods for geologically consistent curves, and (4) enable integration with the Open Subsurface Data Universe (OSDU).

Key-words: CCUS, Drilling, Petrophysics

BUILDING TECTONIC SCENARIOS USING A COMPUTATIONAL GEODYNAMICS MODEL

João Paulo de Souza Bueno¹, Rafael Monteiro da Silva², Victor Sacek²

¹Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Brasil (jbueno@usp.br)

²Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, Brazil (sacek@usp.br, rafael.m.silva@alumni.usp.br)

Numerical models have been used across various geoscience fields for numerous purposes over the last four decades. Due to the inherent limitations of tectonic studies, such as the geological timescale and the inability to directly measure conditions within the Earth's interior, researchers have increasingly relied on numerical methods to study geodynamics. Geodynamic numerical models are codes that, generally, run simulations of Earth processes by integrating mechanics, rheology and thermodynamics using numerical methods (e.g., finite differences or finite elements) to discretize a domain in one, two, or three dimensions. A recent Brazilian program, MANDYOC, was developed by Sacek et al. (2022) as an alternative for simulating mantle thermochemical convection, reproducing mantle and crustal behaviors in two dimensions. This approach enables researchers to study different tectonic regimes, ranging from rifting and orogenic systems to the effects of a mantle plume ascending beneath the topography. The code is written in C-language and solves the equations for conservation of mass, energy and momentum using finite elements and Lagrangian particles. The rheological formulation considers a visco-plastic deformation for predefined materials, which can mimic the Earth's layers. In the MANDYOC initial setup, there are three types of parameters: domain geometry, rheology, and fields. The geometry is defined by interfaces between layers along the x-axis. The rheology is formulated using literature-based parameters that simplify the crustal mineralogy to the behavior of a predominant mineral (e.g., olivine to represent the mantle). The initial fields serve as the boundary conditions for the first simulation step. Examples of these fields include the initial lithospheric temperature and velocity. The simulation parameters define model features or control options during the simulations (e.g., solver type, time step size, etc.). The use of this software does not require extensive computational knowledge, since the initial setup can be created using existing scripts. The output files contain information on strain, strain rate, temperature, heat production, density, velocity, pressure, and viscosity information. The position and attributes of the Lagrangian particles can also be recorded. MANDYOC outputs allow users to visualize simulation conditions using existing scripts. This enables the study of various geological characteristics, such as the correlation between temperature, stress and strain (Figure 1 and Figure 2). The main objective of this work is to present the key features of this geodynamic tool and explain how to set up the initial conditions for different types of tectonic studies.

This project is funded by the Petrobras Process 2022/00157-6 and the Brazilian National Agency for Petroleum, Natural Gas and Biofuels (ANP) e project PHR43.1 (2024/10598-5).

Palavras-chave: computational geodynamic, tectonics, numerical models.

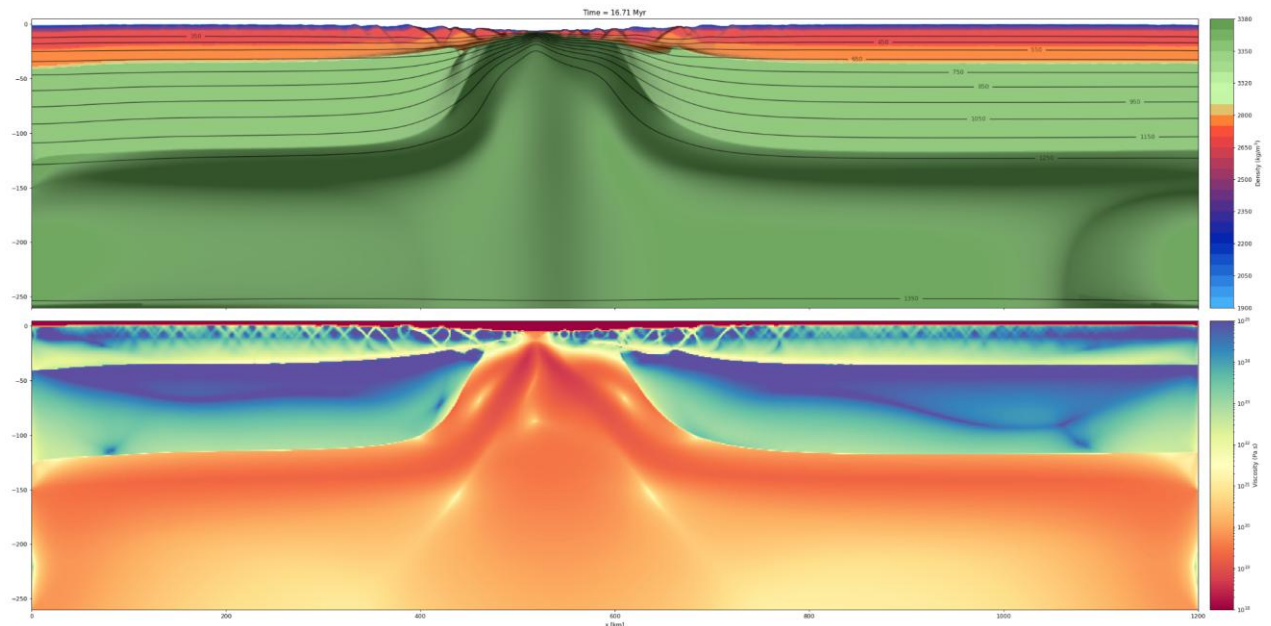


Figure 1: Examples of different outputs from the MANDYOC code. The upper panel shows model layers by density, representing each material, superimposed with strain indicated by gray shading and temperature by isotherms. The lower panel represents the logarithm of effective viscosity in each element. In both panels, it is possible to observe the physical structure of the asthenosphere, mantle, and crust.

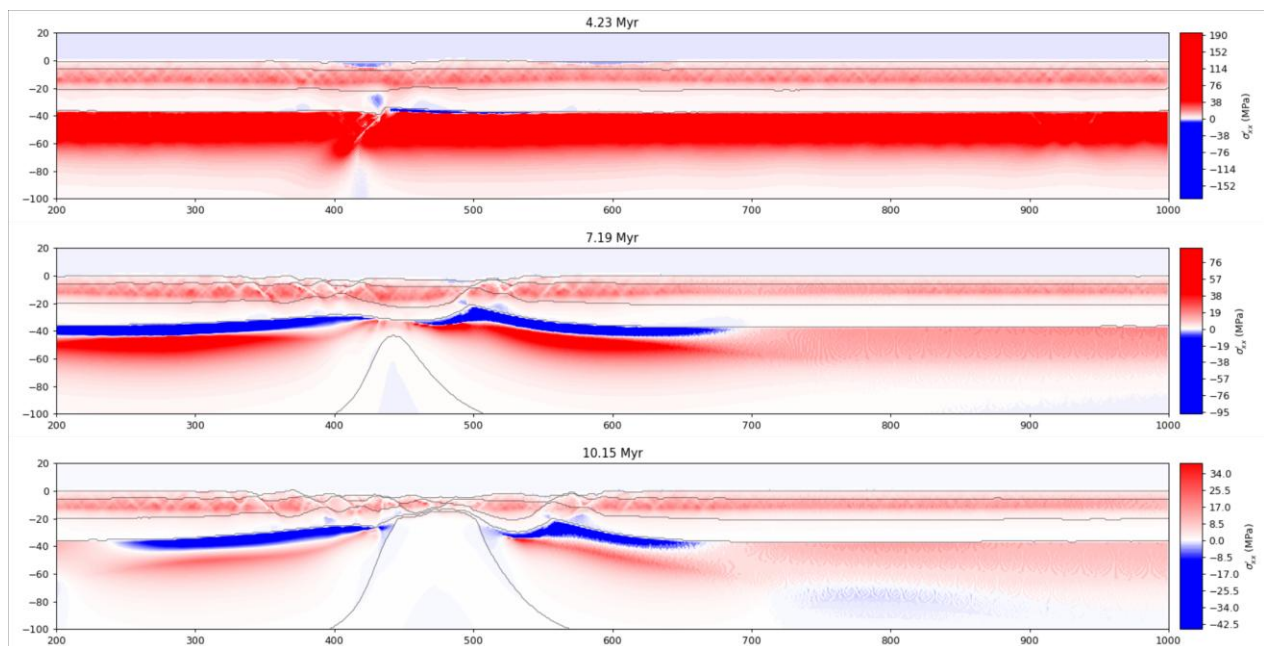


Figure 2: Example of stress analysis on the domain over geologic time using MANDYOC outputs. Red shades represent extensional stress, while blue represents compressional stress. Black lines indicate the interfaces between layers previously set up.

PROGRAMA PYTHON PARA CLASSIFICAÇÃO DE NÓS EM BANDAS DE DEFORMAÇÃO

Augusto Lauande Rodrigues¹, Francisco Manoel Wohnrath Tognoli¹

Laboratório de Geologia Quantitativa (QG Lab | UFRJ), augusto@lauande.rodrigues.nom.br,
franciscotognoli@igeo.ufrj.br

Com a emergência de tecnologias, como as do fraturamento hidráulico e das diversas aplicações de geração de eletricidade através da captação da energia geotermal, o uso da modelagem dinâmica de fluidos passa a ser parte do cotidiano dos profissionais dos setores mais lucrativos da indústria. Os fluidos de menos viscosidade, como água e CO₂, são particularmente suscetíveis à propagação, mesmo em porções de rocha onde uma análise superficial indicaria baixa transmissibilidade e amplas oportunidades para *trapping*. Neste contexto, torna-se mais que interessante o estudo adequado e entendimento da dinâmica de propagação desses fluidos num determinado meio, como modo de incentivar e possibilitar: a) amplas oportunidades de lucro em novas fronteiras, b) a viabilidade de projetos de amplitude nacional, c) evitar ou mitigar danos ambientais irreversíveis e d) falhas catastróficas de projetos de engenharia. As zonas com alta densidade de bandas de deformação são comumente a causa da modificação das características de poro-permeabilidade em rocha sedimentares porosas, desde aumentando a permeabilidade de fluidos até atenuando-a em diversos graus de magnitude. A presença e orientação destas bandas, portanto, é um dado fundamental na modelagem de fluxo de fluidos, como água, gás e óleo. A partir de trabalhos que estudaram e classificaram cuidadosamente as bandas no espaço geométrico, a proposta foi desenvolver uma ferramenta livre e gratuita que auxilie em tal trabalho. O objetivo é que o programa receba como *input* um sistema de pontos geográficos, previamente mapeados. Dentro desta nuvem de pontos, uma área é selecionada com o objetivo de classificar as interseções entre bandas, entre pontos de interseção X, Y e em pontos finais I. Estes dados são plotados em um diagrama ternário. A área de análise é definida por um polígono selecionado pelo usuário, permitindo realizar quantificação da direcionalidade no fluxo pelo usuário conforme a demanda. A intenção final é a distribuição gratuita do código e programa mediante regime *copyleft* permitindo uso em diversas áreas e segmentos da comunidade acadêmica, modificações, adaptações e outras contribuições que adicionem à utilidade do programa. O programa foi desenvolvido na linguagem Python para que, na sua ampla divulgação, seja mais permissível a modificação e adaptação pelos profissionais alvo, os pesquisadores de instituições e empresas, que cada vez mais apresentam proficiência nesta linguagem. O programa se encontra no estágio de desenvolvimento ativo com o objetivo de introduzir funções de qualidade e interface que tornem o seu uso e sua operação intuitivos. Como metas futuras, encontram-se a integração e intercomunicação com os programas e formatos de arquivos já estabelecidos no ecossistema de *software* para geociências, como QGIS, ArcMap e Leapfrog, com um enfoque maior nos projetos de software livre (FOSS) pela facilidade da obtenção de documentação e possibilidade de integração sem limitações devido à natureza comercial de outras soluções.

Palavras-chave: deformação, algoritmo, permeabilidade



DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS INTERATIVOS PARA O ENSINO DE GEOCIÊNCIAS COM IMPRESSÃO 3D E TECNOLOGIA DE BAIXO CUSTO

Davi da Rocha Machado Faria¹, Tiago B. Marino², Anderson C. Santos³

¹Graduando do Curso de Geologia/Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, Brasil,
davimachadofilm@gmail.com

²Departamento de Geografia/Instituto de Geociências, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ,
Brasil, tiagomarin@ufrj.br

³Faculdade de Geologia/Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, Brasil,
andersonsantos@dmpi.com.br

Este trabalho tem como objetivo desenvolver recursos interativos voltados ao ensino e divulgação científica no campo das Geociências, por meio da aplicação de tecnologias acessíveis, como impressão 3D e componentes eletrônicos de baixo custo. A iniciativa busca criar materiais educativos inovadores, como simuladores de processos geológicos e um mapa-múndi interativo, que promovam o aprendizado de conceitos complexos de maneira prática, lúdica e engajante. O mapa-múndi, um dos principais produtos do projeto, é impresso em 3D e incorpora LEDs e placas ESP32 para exibir dados em tempo real sobre aspectos climáticos, geográficos e geológicos. Esse modelo interativo permite ao público explorar informações de forma dinâmica, com representações visuais que facilitam a compreensão. Além disso, foram desenvolvidos protótipos de simuladores que representam processos geológicos, como atividades sísmicas e movimentos de massa, utilizando sensores para detecção de variações físicas, como vibração, temperatura e umidade. As etapas do projeto incluem a modelagem tridimensional dos objetos e a impressão 3D com filamentos e resinas adequados, garantindo precisão e durabilidade. A integração de sensores ambientais, como detectores de temperatura, umidade e gases, é realizada por meio de placas controladoras, como ESP32, programadas com plataformas de código aberto (open source). O uso de software de código aberto reduz custos e proporciona maior acessibilidade técnica, enquanto a modularidade dos dispositivos permite fácil manutenção e atualização. Após a montagem dos protótipos (em andamento), serão realizados testes de funcionalidade e resistência, verificando sua interatividade e adequação para diferentes públicos. Esses materiais foram projetados para serem utilizados em ambientes educacionais, como museus, escolas e eventos científicos, oferecendo suporte didático e estimulando o interesse pelas Geociências. O caráter interativo e acessível dos dispositivos reforça sua aplicabilidade em contextos variados, promovendo a democratização do acesso a ferramentas de ensino de alta qualidade. O projeto também documenta todas as etapas de desenvolvimento, com a produção de diagramas esquemáticos, relatórios técnicos e artigos científicos, que contribuem para a disseminação dos resultados em eventos acadêmicos. Adicionalmente, serão elaborados pôsteres e materiais visuais que ilustram o potencial didático dos protótipos, permitindo sua replicação e aprimoramento por outros grupos de pesquisa e instituições. Este trabalho representa uma contribuição significativa para a área de ensino de Geociências, ao combinar inovação tecnológica, baixo custo e aplicabilidade prática. A criação de recursos interativos como o mapa-múndi e os simuladores geológicos possibilita uma abordagem mais dinâmica e inclusiva ao aprendizado, conectando conceitos teóricos a experiências visuais e táteis que tornam o conhecimento mais acessível e atraente.

Palavras-chave: Ensino de Geociências, impressão 3D, Mapa Múndi.



Figura 1: Mapa-múndi interativo impresso em ABS, controlado por ESP32, com LEDs indicadores e display LCD para visualização dinâmica de localizações..

MITIGATION OF OUTLIERS IN GRAVITY INTERPOLATION USING WEIGHTED EQUIVALENT SOURCES

Eros Kerouak Cordeiro Pereira¹, Leonardo Uieda², Alessandra de Barros e Silva Bongioio^{1,4}, Luizemara Szameitat^{3,4}

¹Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geologia, Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada:
eroskerouak@ufpr.br, alebongioio@ufpr.br

²Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas: uieda@usp.br

³Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências: luizemara@usp.br

⁴Instituto GeoAtlantico

In a terrestrial gravity database, each data unit results from a field measurement conducted by an individual. Given the manual and labor-intensive nature of data acquisition, a high variability in measurement accuracy is assumed. Since these are geospatial data, filtering out discrepant values is a challenging process, as an anomalous value must be evaluated in relation to its neighbors but cannot be directly compared to areas with different geological contexts within the study region. The remaining alternative is to manually identify outlier points, a process analogous to the selective screening of impurities in a granular dataset. However, in large databases, the manual method, besides being laborious, does not ensure the effective removal of all anomalous values relative to their neighbors. Typically, the last outliers persist until the final processing stages, being identified only by the "spike" effect they produce in the interpolated grid. Ideally, a data analysis method should not only be automated but also allow control and traceability of the modifications, eliminating the subjectivity of manual selection. This study proposes an iterative weighting technique based on the equivalent source method to mitigate the effects of outliers in gravity data interpolation. The developed code implements an interpolation method based on equivalent sources (EquivalentSourcesGB), designed to reduce the impact of significantly discrepant data points. The function starts by receiving the coordinates and observed values of the data, along with parameters such as source depth, damping, and the maximum number of iterations. The process iteratively refines the interpolation by adjusting the estimated weights in each cycle. Based on misfit values—the difference between observed and predicted values—the weights are recalculated to minimize the influence of outlier points. Two methods are available for weight adjustment: the inverse of the absolute residual value or the inverse of its square. To prevent division by zero, only residuals above a defined tolerance are considered. In each iteration, the function also evaluates the stability of the process using a logarithmic analysis of the standard deviations of the residuals. If the derivative of the fitted logarithmic curve falls below a predefined threshold, the process is deemed stable, and the iterations are terminated. The loop stops when stability is achieved or when the maximum number of iterations is reached. At the end, the function returns the final adjusted weight vector, reflecting the reduced influence of outliers on the interpolation. This approach preserves most of the data while mitigating the negative effects of outliers, making the process more robust and reliable. Statistical data processing is an essential step in any scientific endeavor. In the case of geophysical data, an effective approach must consider the First Law of Geography: "Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things." The method presented in this study incorporates this perspective by handling outliers in an iterative and quantitative manner using the equivalent source method. The technique was tested with real gravity data from the south-central region of Brazil and demonstrated effectiveness in improving the quality of the interpolated grid.

Keywords: Gravity Interpolation, Equivalent Sources, Outlier Mitigation



SESSÃO TEMÁTICA 04

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NAS GEOCIÊNCIAS

COORDENADORES:
Francisco Manoel Wohnrath Tognoli
Camila Duelis Viana

ESTATÍSTICAS PARA DETERMINAÇÃO DE AMOSTRAS TÍPICAS EM AGRUPAMENTO DE DADOS MULTIVARIADOS OBTIDOS POR MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS E K-MÉDIAS

Gustavo Rodovalho Marques¹, Cleyton de Carvalho Carneiro¹

¹Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, e-mail: gustavorodvalho@usp.br, cleytoncarneiro@usp.br

Técnicas de agrupamento são amplamente utilizadas nas Geociências como suporte à tomada de decisão. Mapas auto-organizáveis (SOM), compreendidos como redes neurais artificiais com aprendizado competitivo não supervisionado, destacam-se nesse contexto pela capacidade de reduzir dimensionalidade e organizar dados complexos. No processo de quantização vetorial, uma rede treinada por SOM realiza agrupamentos associando cada neurônio a uma região do espaço dos dados. Devido ao treinamento por aprendizado competitivo, nem todos os neurônios do SOM são associados a um grupo de amostras, o que dificulta uma interpretação direta da estrutura de grupos dos dados. Uma alternativa comum para contornar essa limitação é a aplicação do algoritmo k-médias nos vetores de peso dos neurônios, atribuindo posteriormente cada amostra ao grupo de seu neurônio vencedor. Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma sistemática metodológica para análises estatísticas em agrupamentos de dados multivariados utilizando SOM e k-médias. As análises desenvolvidas foram baseadas em uma função de probabilidade de pertinência ao grupo, denominada em inglês como *Cluster Membership Probability Function* (CMPF), calculada a partir das similaridades dos neurônios para os centroides e do número de hits dos neurônios. As análises realizadas compreendem a ordenação dos grupos em termos de relevância para o agrupamento e, sequencialmente, a seleção da amostra típica de cada grupo a partir da CMPF e coeficiente de silhueta. Assim como nos métodos de agrupamento probabilísticos, na abordagem aqui apresentada os pesos de cada grupo são obtidos analisando a média dos valores de CMPF e normalizando para todos os grupos. A amostra típica é aqui definida como a mais representativa de um grupo, sendo sua análise feita em duas etapas: (i) seleção do neurônio típico de cada grupo a partir do maior valor de CMPF; e (ii) seleção da amostra com maior coeficiente de silhueta dentre as amostras associadas aos neurônios selecionados. O coeficiente de silhueta é uma medida calculada para cada amostra e representa o nível de compactação da amostra em relação ao seu respectivo grupo, além de ser uma medida de avaliação da qualidade do agrupamento. A metodologia foi testada em duas bases de dados sintéticas, a fim de comparar os resultados obtidos com parâmetros pré-definidos. As bases de dados foram geradas a partir de dois modelos de mistura gaussiana, sendo que o primeiro modelo possui quatro componentes e duas dimensões, enquanto o segundo modelo possui seis componentes e cinco dimensões. Dessa forma, após o treinamento do SOM e agrupamento dos neurônios pelo k-médias, foi possível ordenar os grupos com base na análise dos valores médios e máximos de CMPF (Figuras 1 e 2). Além disso, foi possível comparar os pesos das componentes obtidas com os *rankings* da mistura bem como as amostras típicas ideais com os centros de cada componente (Figura 3). Essas comparações se deram com a visualização da projeção das amostras, neurônios e centroides nas duas componentes principais de uma Análise de Componentes Principais (PCA) desenvolvida a partir dos dados normalizados. Amostras típicas obtidas por SOM e k-médias foram coerentes nos grupos com maior quantidade de amostras, ou grupos de maior peso. Isso demonstra um potencial relevante da sistemática aqui apresentada tanto na identificação da representatividade de agrupamentos, quanto nas respectivas amostras típicas.

Palavras-chave: avaliação de agrupamentos, amostras típicas, modelos de mistura gaussiana.

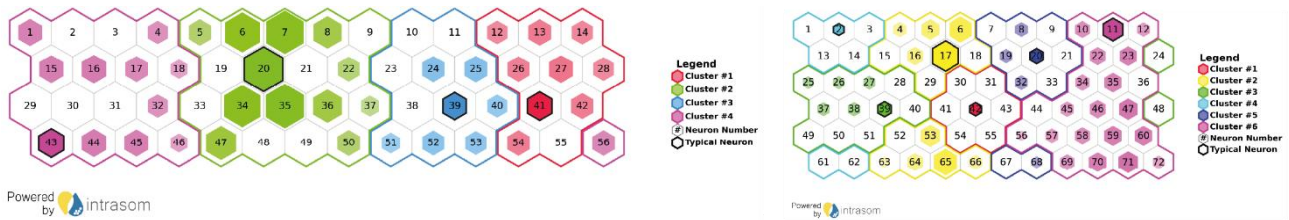


Figura 1: Resultado do agrupamento SOM e k-médias para as bases de dados com 4 grupos e 2 dimensões e com 6 grupos e 5 dimensões, à esquerda e direita, respectivamente. Tamanho e opacidade dos hexágonos representa a gradação do valor de CMPF para cada neurônio. O neurônio típico (typical neuron) destacado é o que apresenta maior valor de CMPF dentre todos os neurônios do grupo.

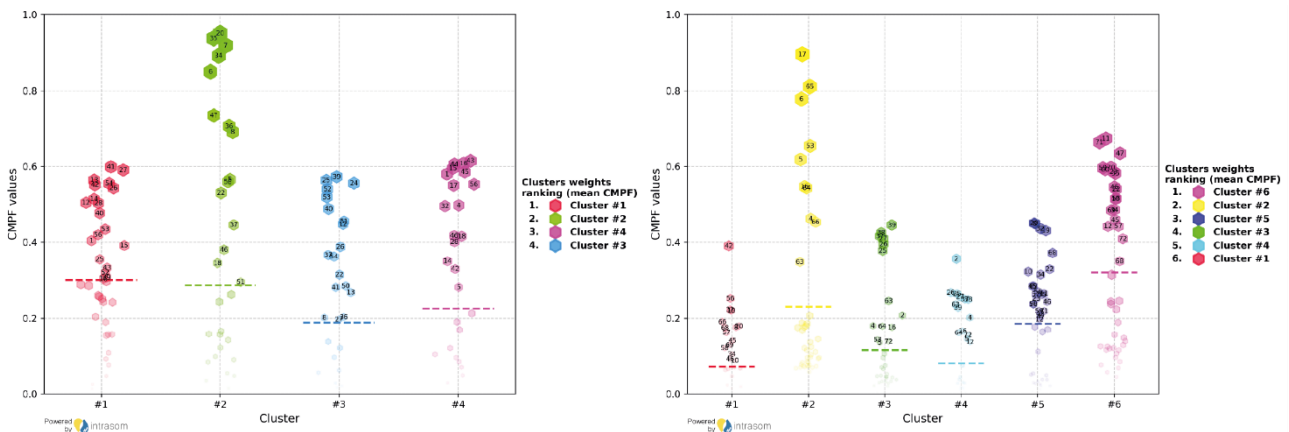


Figura 2: Diagrama de tiras trêmulas mostrando a distribuição dos valores de CMPF para as bases de dados com 4 grupos e 2 dimensões e com 6 grupos e 5 dimensões, à esquerda e direita, respectivamente. A partir dos valores médios de CMPF, é possível ordenar os grupos em termos de relevância. Em alguns casos, como no grupo #4 da primeira base de dados, os neurônios apresentam valores máximos de CMPF muito próximos, reforçando a importância de uma medida baseada em compactação, como o coeficiente de silhueta, para analisar as amostras associadas a cada neurônio.

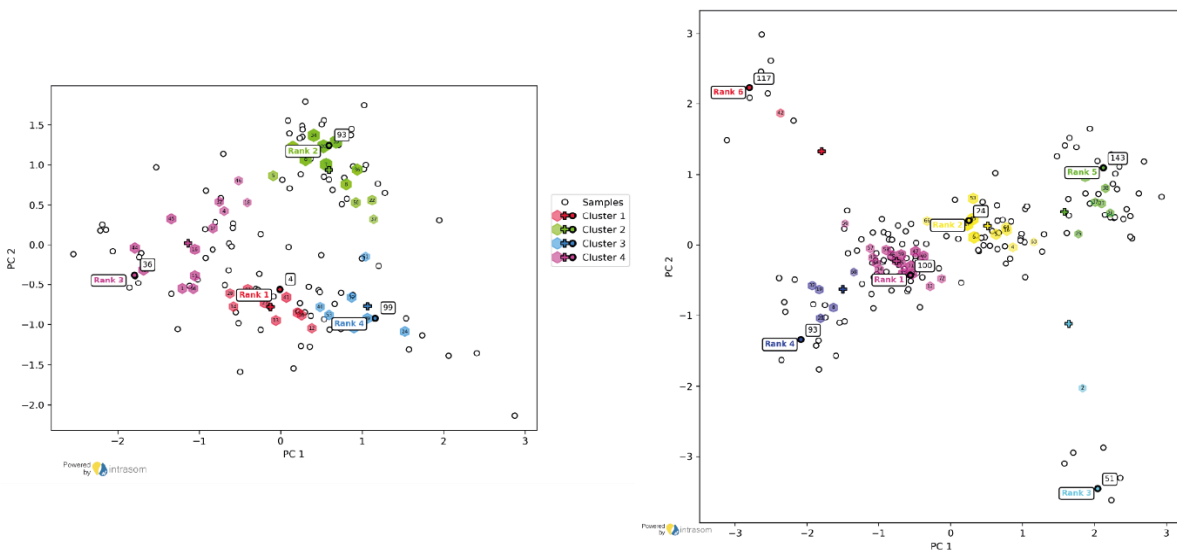


Figura 3. Gráfico de dispersão com amostras, neurônios e centroides projetados nas duas componentes principais (PC1 e PC2) das bases de dados com 4 grupos e 2 dimensões e com 6 grupos e 5 dimensões, à esquerda e direita, respectivamente. Em relação ao ranking original, o método acertou os grupos de rank 1 e 2 da primeira base de dados e os grupos de rank 1, 2, 4 e 6 da segunda base de dados, correspondendo aos grupos de maior peso dos modelos originais.



MLOPS APLICADO À GEOLOGIA E PERFIS DIGITAIS DE POÇO

Pedro de Lima Cavalcanti¹, José Adilson N. Santos², Mário de Lima Filho³

¹Monumento Software, pedrograxxa@gmail.com

²Universidade Federal de Pernambuco/PRH 47.1, joseadilson.santos@ufpe.br

³Universidade Federal de Pernambuco/PRH 47.1, mario.limafo@ufpe.br

A proposta consiste no desenvolvimento de um pipeline de MLOps (Machine Learning Operations) voltado para a ingestão, processamento e análise de dados digitais de poços e informações não estruturadas de geologia. Os dados, provenientes de perfis digitais (DLIS, LAS, LIS) e relatórios geológicos, são armazenados em um banco de dados centralizado, permitindo a criação de um repositório robusto e escalável para análise preditiva e treinamento de modelos de aprendizado de máquina. A abordagem adotada integra técnicas de MLOps para garantir a consistência e a rastreabilidade dos dados ao longo do ciclo de vida dos modelos, contemplando etapas de pré-processamento, anotação e versionamento dos datasets. A implementação envolve pipelines automatizados para ingestão e processamento em paralelo, utilizando tecnologias cloud-native¹ e frameworks especializados em manipulação de dados geológicos. Esse fluxo de trabalho promove a reprodutibilidade dos experimentos, facilita a identificação de outliers e anomalias em grandes volumes de dados e permite a implementação de modelos de machine learning orientados à detecção de padrões geológicos e previsão de comportamentos de poços. Dessa forma, a intenção é potencializar a capacidade analítica dos poços no contexto de exploração e produção, alinhando práticas de MLOps às demandas específicas da geologia aplicada.

Palavras-chave: Machine learning, Perfis digitais, comportamento de poços.

APLICAÇÃO DE ANÁLISE MULTIVARIADA PARA OTIMIZAR A INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE FRX PORTÁTIL

Letícia Lopes dos Santos¹, Josiane Branco Plantz¹, Laís de Oliveira Ferreira², Jeferson Santos²,
Héllisson Nascimento dos Santos², Leonardo Borghi²

¹Universidade Federal de Uberlândia (UFU), IGESC, e-mails: leticia.llopes@ufu.br, josiane.plantz@ufu.br.

²Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), IGEO, Laboratório de Geologia Sedimentar (Lagesed), e-mails: lais@geologia.ufrj.br, jeferson@geologia.ufrj.br, helisson@geologia.ufrj.br, lborghi@geologia.ufrj.br

Este estudo avalia a aplicação de análises multivariadas em dados químicos obtidos por FRX portátil, uma técnica vantajosa por ser não destrutiva, permitir a realização da análise diretamente na rocha, sem a necessidade de amostragem e envio de material para laboratório, mas limitada pela menor acurácia na quantificação química. O objetivo é testar e validar, por meio de comparações com dados geológicos, a aplicabilidade da análise multivariada de agrupamento como ferramenta capaz de diminuir o efeito quantitativo e ressaltar a tendência dos dados obtidos por FRX portátil, estabelecendo uma metodologia padrão de pré-processamento e processamento de dados químicos. Para este estudo de caso, foram selecionados dois poços (A e B) do Campo de Tupi, pré-sal da Bacia de Santos. Utilizando um analisador de FRX portátil modelo Olympus Vanta M-Series foram realizadas medições em intervalos regulares de 30cm, o que resultou em 261 leituras ao longo dos testemunhos do poço A e 766 ao longo dos testemunhos do poço B. Os dados foram exportados em óxidos e as etapas de pré-processamento e processamento dos dados químicos envolveram: (i) organização da base de dados e controle de qualidade; (ii) eliminação ou imputação de valores abaixo do limite de detecção ($<LD$) do equipamento; (iii) aplicação de transformações logarítmicas, sendo a *isometric log-ratio* (ILR) a mais indicada para reduzir a assimetria e dispersão de dados químicos; (iv) remoção de *outlier*; (v) realização de análise de componentes principais (PCA) para redução da dimensionalidade do banco de dados; e (vi) análise multivariada de agrupamento utilizando o algoritmo k-Means, um método de aprendizagem não supervisionada, que avalia e clusteriza os dados com base em suas características, considerando o valor médio ou centroide dos grupos. No poço A, o banco de dados organizado resultou em 14 variáveis com distribuição assimétrica e alta dispersão, exigindo a aplicação da ILR. O mesmo padrão foi observado no poço B. Os *outliers* foram removidos, reduzindo o número de medições de 261 para 235 no poço A e de 765 para 687 no poço B. A PCA, revelou que, para o poço A, quatro componentes principais (PCs) são suficientes para explicar ~70% da variabilidade do conjunto de dados. Já para o poço B, foram necessárias cinco PCs para alcançar uma representatividade similar. Os dados foram agrupados, resultando em cinco *clusters* para o poço A (C1-C5) e outros cinco para o poço B (E1-E5). A etapa subsequente envolveu a compreensão do seu significado químico e mineralógico. Para isso, optou-se por trabalhar com as correlações significativas de Pearson, estabelecendo um nível de confiança de 95%. Em seguida, foi feita a validação a partir de dados geológicos. Para o poço A (Fig.1), os *clusters* distinguiram níveis silicificados (C1), dolomitizados (C2 e C4) e características químicas deposicionais (C3 e C5), identificando a presença de argilominerais magnesianos e fragmentos vulcânicos. No poço B, os resultados foram similares (Fig.2), E1 e E4 marcam as modificações diagenéticas, enquanto E2 e E3 revelam a ocorrência de rochas carbonáticas com diferentes percentuais de impurezas e E5 a ocorrência de coquinas na base do poço. Os resultados demonstram a robustez da metodologia proposta, evidenciando boa correlação entre os *clusters* (ou fácies químicas) definidos e dados geológicos, além de mostrar o potencial de extração de informações significativas a partir de dados químicos quantitativos de baixa precisão.

Palavras-chave: Aprendizagem não supervisionada, Análise de agrupamento, Pré-processamento e processamento de dados químicos.

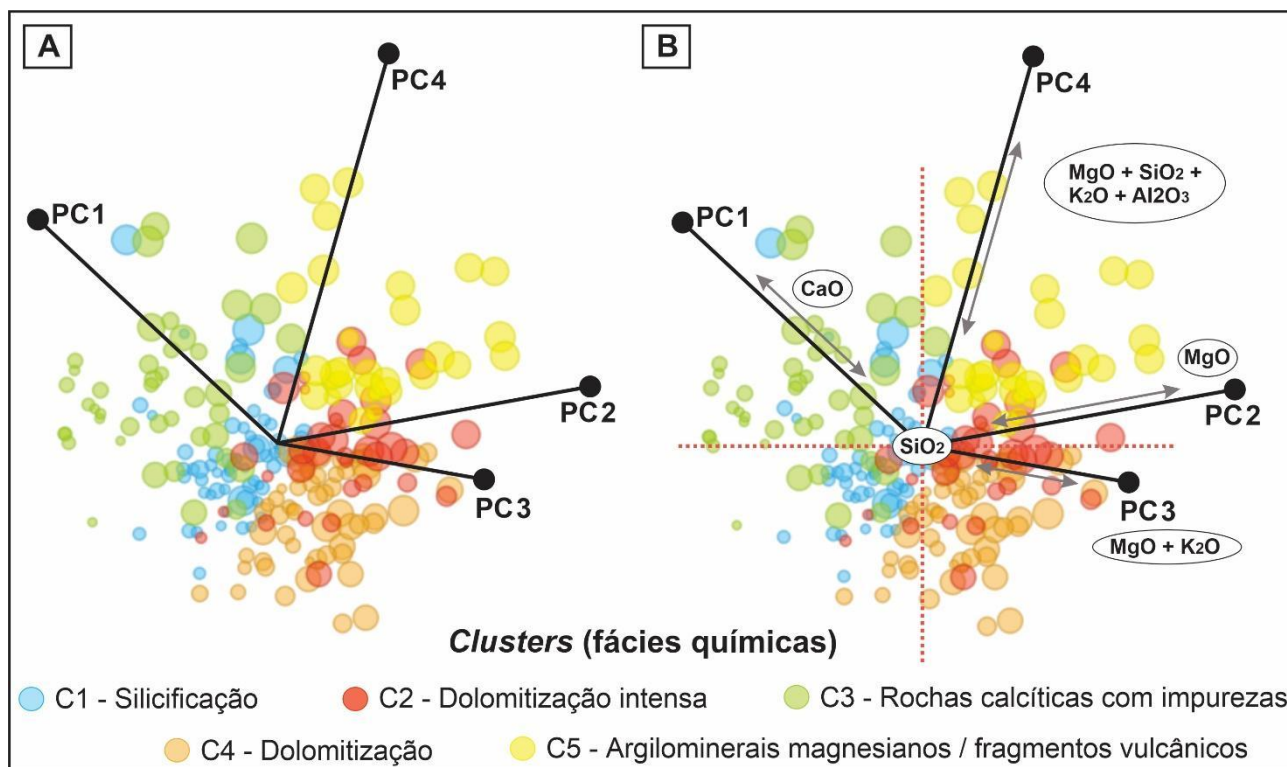


Figura 1: Gráfico de projeção linear com os dados do poço A. Observe em (B) a interpretação química feita por correlações significativas de Pearson e, na legenda, o significado geológico.

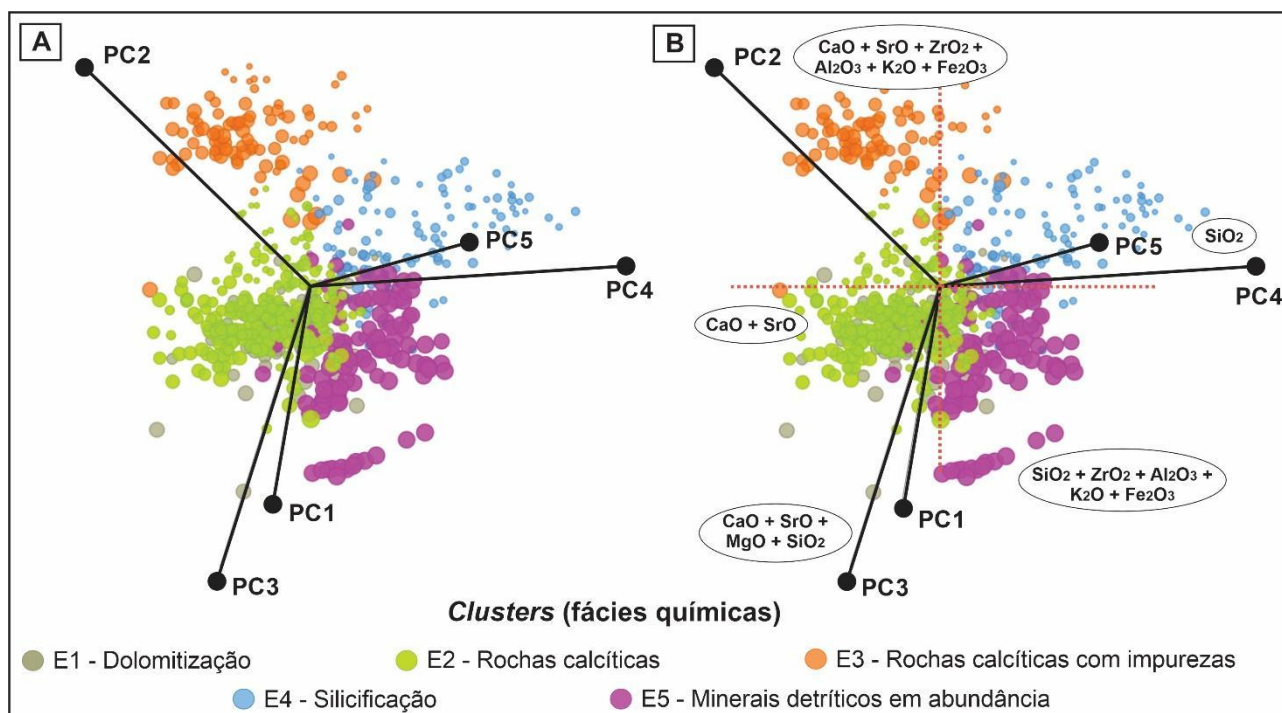


Figura 2: Gráfico de projeção linear com os dados do poço B. Observe em (B) a interpretação química feita por correlações significativas de Pearson e, na legenda, o significado geológico.

DETERMINAÇÃO DE CURVA DE PERFIL SÔNICO EM POÇO DA BACIA SERGIPE-ALAGOAS UTILIZANDO ALGORITMO SUPERVISIONADO XGBOOST REGRESSOR

Rodrigo Brunetta¹, Carolina Danielski Aquino²

¹ Laboratório de Análises de Bacia e Petrofísica (LABAP), Universidade Federal do Paraná, rodrigobrunetta@ufpr.br

² Laboratório de Análises de Bacia e Petrofísica (LABAP), Universidade Federal do Paraná, carolina.aquino@ufpr.br

Diversos setores vêm se beneficiando com a adoção generalizada de algoritmos de Machine Learning (ML) nos últimos anos. Geólogos e Geofísicos têm explorado ativamente o potencial dessas ferramentas para aprimorar modelos e desenvolver técnicas de predição e automação de processos. Uma aplicação particularmente relevante é a previsão de curvas de perfis geofísicos em poços de petróleo. Dentre os diversos perfis, destaca-se o perfil sônico de onda compressiva, cuja importância reside na capacidade de integração com dados sísmicos, além de extrair informações cruciais e características das rochas por meio de sua relação com outros perfis. Entretanto, seja por motivos técnicos ou operacionais, nem sempre o perfil sônico é realizado em poços de petróleo. Este trabalho tem como objetivo abordar a previsão do perfil sônico (DT) em poços de petróleo da porção offshore Bacia Sergipe-Alagoas, utilizando o algoritmo XGBoost Regressor. Foram utilizados 28 poços contendo os perfis geofísicos de Raios Gama (GR), Resistividade (RT90), Densidade (RHOB), Porosidade (NPHI), Sônico (DT) e Caliper (CAL). Este conjunto de dados totalizou 231.831 amostras, sendo que o treinamento e validação utilizou 27 poços com validação cruzada, e apenas 1 poço para teste cego, sendo este selecionado aleatoriamente. Todo o trabalho foi desenvolvido em linguagem Python, utilizando bibliotecas como LasIO para leitura dos dados, Pandas para manipulação, Plotly para visualização e RandomizedSearchCV para obtenção de valores de hiperparâmetros do XGBoost Regressor. A metodologia adotada envolveu a conversão dos dados DLIS para LAS, controle de qualidade através do Caliper, seleção dos intervalos de interesse, análise exploratória dos dados, determinação dos hiperparâmetros e por fim a predição do perfil sônico. O desempenho do XGBoost Regressor depende muito da escolha e valores dos seus hiperparâmetros. Foram escolhidos os mais robustos para contornar problemas de overfitting e outliers. Já os valores foram determinados pelo RandomizedSearchCV, que se baseia em uma amostragem aleatória para identificar as melhores combinações de hiperparâmetros. O resultado foi bem satisfatório, onde a curva prevista segue a tendência da curva original. As métricas obtidas foram MAE=2,1735, MSE=8,8013 e R²Score=0,9186, o que reforça o bom desempenho do modelo. Também foram feitas avaliações analisando a distribuição de resíduos, que acusou uma distribuição normal, e uma análise de distribuição de pontos previstos versus real, onde se observou a acurácia do modelo. Ao analisar os resíduos em função da profundidade, foram observados que houveram dois pontos em que a predição não foi bem realizada, onde um dos pontos foi devido à ausência de dados, retirados devido ao Caliper, e outro ponto foi a um valor detectado como outlier. Foram descartadas hipóteses de variação litológica ou presença de gás/fluido, pois estes dois pontos não eram coincidentes com as características geológicas observadas no poço. De maneira geral, o estudo se demonstrou bem sólido em relação a previsão da curva de perfil sônico e acredita-se que este método pode ser replicado para prever outras curvas de perfis geofísicos. Acredita-se também que este modelo pode ser aplicado a poços de outras bacias, desde que se aumente a quantidade de dados para alimentar o modelo preditivo. Apoio: Programa de Pós Graduação em Geologia (PPGEOL) da UFPR, Laboratório de Análises de Bacias e Petrofísica (LABAP), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – processo: 88887.860529/2023-00

Palavras-chave: Machine Learning, Petrofísica, Bacia Offshore.

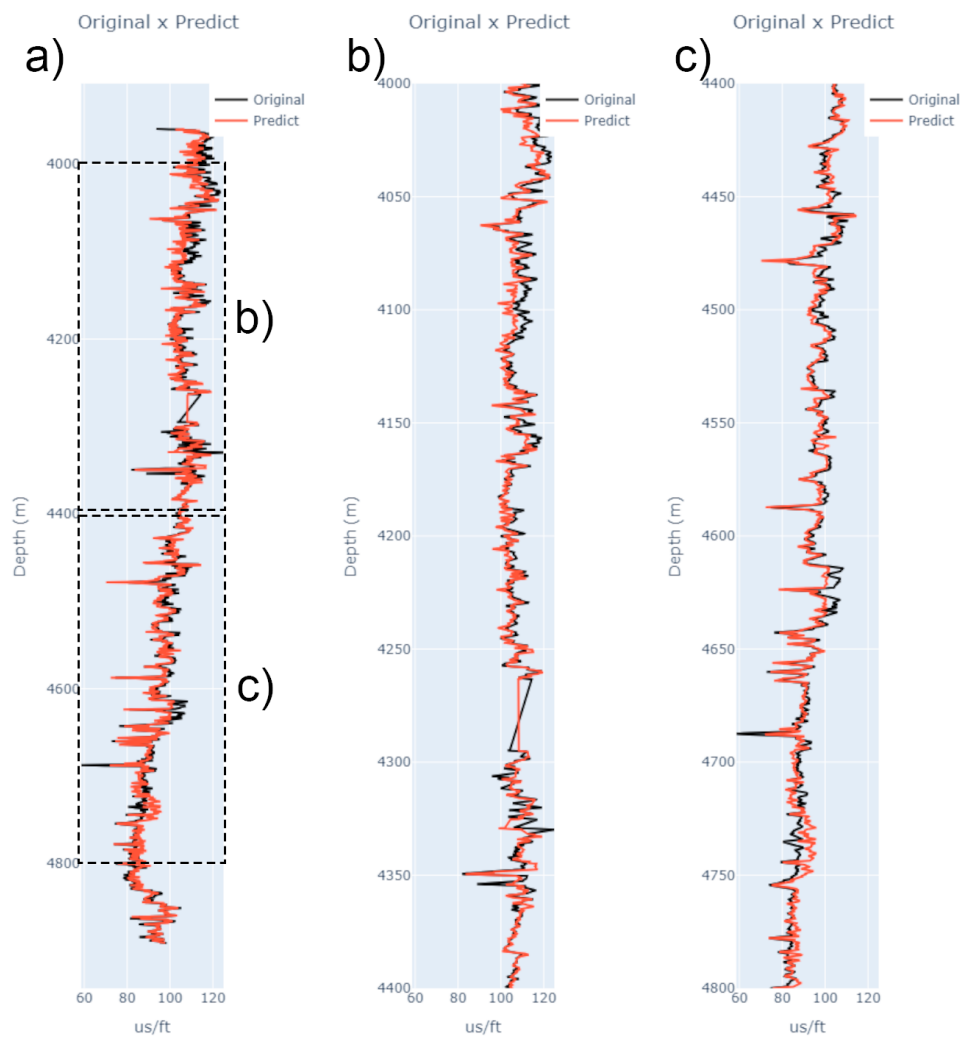


Figura 1: curvas DT prevista (linha vermelha) e original (linha preta). Em a) curva DT de todo o poço 3-BRSA-1163-SES. Em b) detalhe da curva DT da porção mais rasa do poço. Em c) detalhe da curva DT da porção mais profunda do poço.

REDES GENERATIVAS ADVERSÁRIAS (GANS) APLICADAS À MODELAGEM GEOLÓGICA DE FÁCIES

Carlos Eduardo Corrêa Medeiros¹, Lindaura Maria Steffens², Ana Paula Soares³

^{1,2,3} Departamento de Engenharia de Petróleo, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), e-mail: carlos.medeiros@udesc.br, lindaura.steffens@udesc.br, ana.soares77@udesc.br

A modelagem geológica de fácies busca compreender a distribuição e a natureza das fácies sedimentares e é fundamental para analisar a heterogeneidade dos reservatórios de petróleo. Métodos convencionais, como Simulação Indicadora Sequencial (SIS), Simulação Gaussiana Truncada (TGS), Modelagem Baseada em Objetos (OBM) e Estatística de Múltiplos Pontos (MPS), embora amplamente utilizados, enfrentam limitações na representação de geometrias complexas e na geração de múltiplos cenários realistas com base em dados escassos. Com o avanço do aprendizado de máquina, as Redes Generativas Adversárias (GANs) surgem como uma alternativa promissora, sendo capazes de aprender padrões espaciais a partir de imagens de treinamento e gerar novas realizações de fácies geológicas visual e estatisticamente coerentes com dados reais. Neste trabalho, foi reproduzido um estudo de caso utilizando redes GANs aplicadas à modelagem de fácies de canais fluviais, a partir da metodologia proposta por Song, Mukerji e Hou (2021b), com foco na comparação entre duas arquiteturas: a Pro-GAN, que utiliza uma abordagem não condicionada, e o GANSim, que permite incorporar dados externos, como fácies observadas em poços e tendências globais, ao processo de geração. Utilizando as redes treinadas com imagens sintéticas, avaliou-se o desempenho das arquiteturas quanto à fidelidade visual, à conectividade dos canais e à capacidade de honrar condicionantes como dados de poço e proporção de lama. A arquitetura Pro-GAN gerou modelos visualmente coerentes com os padrões do conjunto de treinamento, mas apresentou limitações como canais desconexos, ruído espacial e dificuldade de ajuste a dados observados. Já o GANSim, com modificações na arquitetura do gerador e inclusão de funções de perda específicas, demonstrou capacidade de gerar modelos condicionados, respeitando informações pontuais e globais, sem necessidade de pós-processamento. A avaliação dos modelos gerados foi feita de forma visual qualitativamente, e de forma quantitativa, incluindo a verificação da conectividade dos canais, a fidelidade na distribuição das fácies e a compatibilidade com os dados de poços. Os resultados indicam que o GANSim apresentou desempenho superior na geração de modelos condicionados, mantendo padrões geométricos realistas e respeitando as proporções esperadas. Foram observadas melhorias na continuidade dos canais e maior controle sobre os parâmetros geológicos representados. A integração de GANs condicionadas a fluxos de trabalho geoestatísticos representa avanço relevante na modelagem de reservatórios. Além de reduzir o tempo de geração de múltiplos cenários, a técnica amplia a incorporação de incertezas espaciais e dados multidisciplinares, favorecendo decisões em projetos de exploração, produção e armazenamento geológico de CO₂. A abordagem também abre caminho para aplicações em áreas onde a representação espacial de geometrias complexas é fundamental.

Palavras-chave: modelagem de fácies, inteligência artificial, redes generativas adversárias.

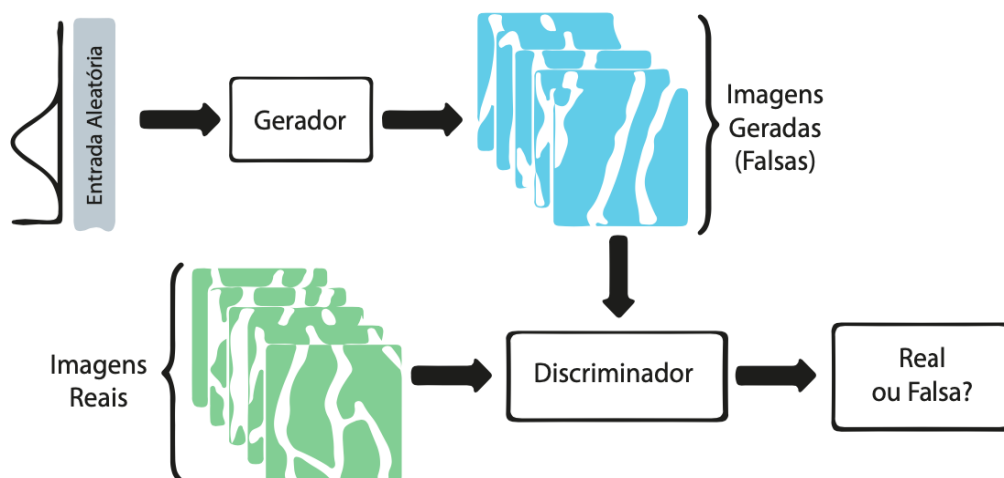


Figura 1: Arquitetura esquemática do funcionamento das GANs em que o Gerador e o Discriminador são treinados.

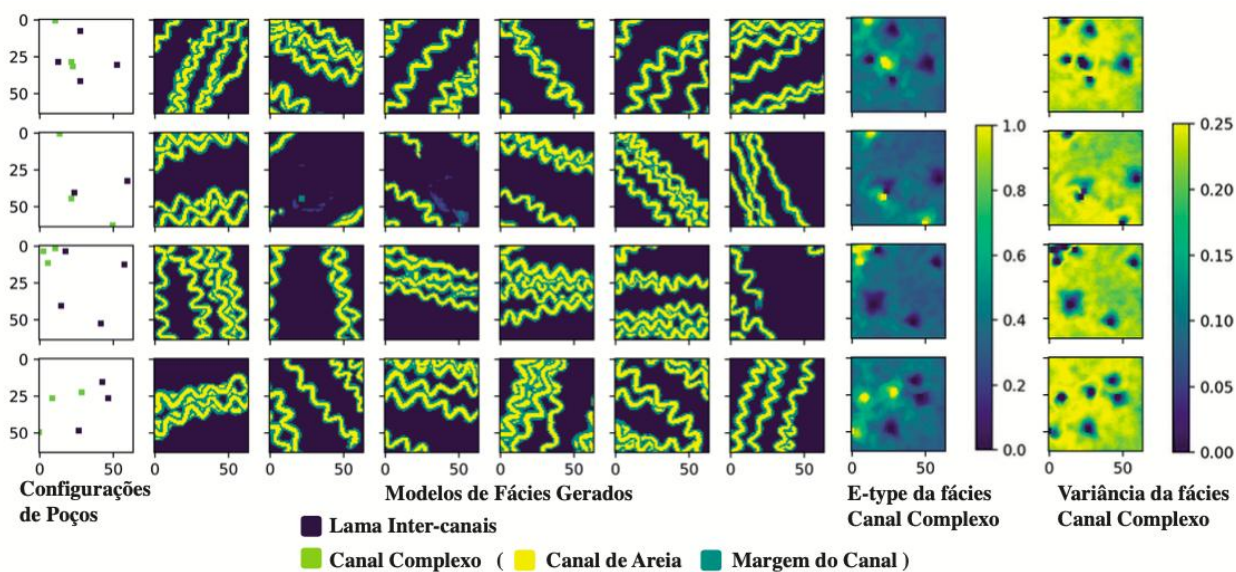


Figura 2: Resultados dos modelos gerados ajustados às configurações de poços definidas utilizando GANSim.

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CO₂ EM ÁREAS EXPLORATÓRIAS: DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO MULTIDISCIPLINAR E DA UTILIZAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Alexandre Cruz Sanchetta¹, Ana Paula Soares¹, Farid Shecaira¹, Vitor Bento de Sousa¹, Marcelo Blauth¹, Mauro Becker¹, Marcos Sebastião dos Santos¹, Abdigal Gabriel Camargo Barra¹, Manoela Koehler¹, Alexander Leonardo Lique Lamas¹, Marco Aurélio Pacheco¹, Fernanda Silva Lourenço², Isabela Oliveira Carmo², Mario Neto Cavalcanti de Araujo²

¹Pontifícia Universidade Católica – PUC-Rio/ ICA- Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada, e-mail: a_p_soares@yahoo

²Petróleo Brasileiro S.A.

A utilização de Inteligência Artificial (IA) nas geociências tem revolucionado a análise e interpretação de dados, destacando a importância do entendimento colaborativo entre especialistas de diferentes nichos. Neste trabalho, realiza-se um esforço para a determinação do teor de CO₂ de origem geológica, numa bacia sedimentar brasileira offshore, através de IA, adotando-se como variáveis explicadoras diversos atributos geológicos e geofísicos quantitativos. O CO₂ é indesejável, sendo considerado um “contaminante” no processo de produção de petróleo, elevando, portanto, o custo operacional, daí a importância de sua previsão ainda na fase exploratória. A partir de dados geológicos e geofísicos, foram utilizadas técnicas de estatística, geoestatística e modelos de IA baseados em redes neurais para modelar e estimar a distribuição de CO₂, visando reduzir os riscos em novas áreas adjacentes. Primeiramente foi realizado um vasto estudo bibliográfico e levantamento de dados relevantes do campo de estudo, incluindo medidas de teor de CO₂ em 44 poços e diferentes mapas geológicos, estruturais e geofísicos. Os dados foram digitalizados, georreferenciados e transformados em mapas numéricos e planilhas para análise como atributos geológicos condicionantes. As variáveis consideradas no estudo foram: localização das falhas normais; o posicionamento de lineamentos estruturais profundos; o posicionamento de lineamentos estruturais transcorrentes; o mapa de espessura crustal; o mapa de domínios crustais; o mapa de ocorrência de rochas ígneas; o mapa de profundidade do topo do embasamento; os mapas indicativos do fluxo e do gradiente térmico; e mapas magnetométricos e gravimétricos. Nesse processo, destaca-se o rigor na validação dos dados de entrada e reconhecimento das limitações de precisão de cada dado, pois são de diferentes fontes, formatos e escalas. A análise exploratória de dados utilizou técnicas estatísticas para entender a distribuição dos dados, identificar outliers, explorar relações entre variáveis e avaliar quantitativamente a significância de cada atributo geológico e geofísico na distribuição de CO₂. Esta etapa é relevante pois o uso de dados inadequados e interpretações errôneas dos dados induz a erros de estimativa. Outro ponto importante refere-se a forma como o dado é transformado e processado podendo trazer melhorias significativas nos resultados, se considerado discreto ou contínuo, normalizado, etc. Para isso, especialistas em geociências e ciência de dados trabalharam colaborativamente para garantir que as correlações identificadas representem causalidade real. Modelos preditivos foram desenvolvidos considerando os atributos de entrada em formato tabular e mapas, foram usados modelos de IA supervisionados utilizando métodos de classificação e regressão. A análise geoestatística complementa com a variabilidade espacial dos dados e ganham robustez quando combinada com os modelos estimados por IA. Os modelos tabulares alcançaram desempenhos variados. Na maioria dos modelos resultantes as variáveis mais importantes no processo de IA usado para explicar as variações de CO₂ foram os lineamentos estruturais profundos, alguns cruzamentos de falhas e intrusões ígneas, corroborando com o modelo geológico conceitual, gerando estimativas confiáveis e úteis para a tomada de decisão.

Palavras-chave: estimativa CO₂, integração multidisciplinar, Inteligência Artificial.

MEGAPORE: AN ACADEMIC WEB APP FOR QUANTIFICATION OF MEGA AND GIGA POROUS FROM BOREHOLE IMAGES

Smith Arauco¹, Mattoso, V.¹, Sinimbu, L.¹, De Jesus, I.L.¹, Blauth, M.¹, Ana Paula Soares¹, Becker, M.¹, Cruz, P.S.¹, Sanchetta, A.¹, Pacheco, M.A.¹, Tedeschi, L.², Roseinberg C.², Gandini L. G.², Zhao, J.³

¹Applied Computational intelligence Laboratory (ICA) - Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro

²PETROBRAS/LIBRA

³CNPC/LIBRA

Karst porosity is typically characterized by "not fabric selective" pores, such as vugs, caves, and enlarged fractures resulting from dissolution, as well as collapsed breccia interclast pores. Quantifying these features using conventional well log tools, even NMR, is highly challenging, if not impossible, due to resolution limitations. Identifying these large-scale Mega and Giga pore structures plays a crucial role in fluid flow dynamics, as they often serve as a preferential path for fluid migration during production. To enhance the identification and quantification of vugular and cave regions, this research focused on developing a web-based application tool that utilizes Acoustic Borehole Images (BHI), informally named MegaPore. The use of BHI data is relevant due to its high-resolution acquisition. Besides, it enables visual validation of the Megapore and Giga pore proportion curve generated through the MegaPore tool. The methodology implemented involves numerical magnitude processing of image logs to generate a segmented/binarized representation through an amplitude cut-off definition. Megapore incorporates image processing techniques to eliminate intervals containing artifacts that could compromise the analysis, thereby preventing misinterpretation between vug regions and breakout areas. Additionally, filters are applied to constrain the maximum amplitude used in the binarization process. Some unwanted artifacts, such as breakouts, are removed through a preliminary breakout identification process using unsupervised learning networks, followed by refinement through specialist/petrophysicist analysis. Breakout is an artifact resulting from stress acting on the wellbore surface, leading to ovalization. This deformation process affects image acquisition in regions farthest from the wellbore center, producing dark-colored (low amplitude) areas around the wellbore that resemble vugular or cave regions. Consequently, distinguishing between true vugular porosity and artifacts is essential for accurate evaluation. As a result, the development of the Web App stands out, along with the generation of a binarized image highlighting the megapore and giga pore at well intervals distinct from the others. Additionally, a curve is produced to represent the proportion of megapores and giga pores throughout the entire well domain, effectively disregarding unnecessary artifact regions. Furthermore, the tool allows users to upload custom masks to specify regions for analysis, enhancing flexibility and adaptability. By leveraging high-resolution borehole imaging and image processing techniques, this study offers a framework for the accurate identification and quantification of complex karstic pore structures.

Key words: Automated pore identification, Borehole image, Karst, Mega/Giga pore, Web App

U-NET APLICADA AO RECONHECIMENTO DE SISMOFÁCIES NA BACIA DE SERGIPE-ALAGOAS

Robson Wants¹, Carolina Danielski Aquino², Hideo Araki³

¹Universidade Federal do Paraná, e-mail: robsonwants@gmail.com

²Programa de Pós-Graduação em Geologia - UFPR, e-mail: carolina.aquino@ufpr.br

³Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, e-mail: haraki@ufpr.br

A caracterização de sismofácies é necessária na investigação de componentes deposicionais em subsuperfície, contribuindo para a idealização de modelos deposicionais em Bacias Sedimentares. Tradicionalmente, o processo de interpretação de dados sísmicos para a identificação de sismofácies é predominantemente manual e interpretativo, demandando tempo considerável para o detalhamento das áreas de interesse. Entretanto, diante do volume crescente de dados sísmicos, a extração manual se torna ineficiente e inviabiliza a quantificação de incertezas associadas, sobrecarregando a capacidade de processamento de um intérprete humano em tempo hábil. Por outro lado, técnicas de classificação do âmbito das ferramentas de inteligência artificial e visão computacional visam auxiliar a análise e interpretação de grande volume de dados. Na perspectiva de otimizar o reconhecimento dessas estruturas sísmicas, este trabalho se propõe a implementar uma técnica de aprendizado profundo no reconhecimento automático de feições de interesse, permitindo que o intérprete direcione sua atenção para as zonas de interesse específicas do projeto. Para a consecução deste estudo, foi utilizado dados de um levantamento sísmico 3D da Bacia de Sergipe-Alagoas, situada na porção *offshore* do nordeste brasileiro. Neste trabalho, uma rede neural convolucional para realizar segmentação semântica mediante uma arquitetura do tipo *encoder-decoder*, foi adaptada para executar a tarefa de classificação e reconhecimento de padrões de erosão e preenchimento de canal em imagens sísmicas, recorrentes da bacia de estudo. A rede foi treinada utilizando máscaras de 1000x400 *pixels*, redimensionada para 256x256 *pixels* durante o processo de treinamento, que ocorreu ao longo de 150 épocas, utilizando convoluções 3x3, gerando 64 mapas de características em quatro etapas de *downsampling* e *upsampling* respectivamente. Na etapa de predição, o código segmenta a imagem em mosaicos menores, para que cada parte seja analisada e prevista separadamente. O código foi desenvolvido em Python e a análise sísmica foi realizada com o programa livre OpendTect. Métricas estatísticas como o Dice Loss foram adotadas na avaliação das saídas da rede neural profunda durante as fases de treinamento e validação. Os resultados utilizando diferentes linhas sísmicas se mostraram satisfatórios, sendo a rede U-Net capaz de identificar e diferenciar regiões de erosão e preenchimento ao longo da extensão da bacia sedimentar, indicando a eficácia do algoritmo para a classificação de sismofácies.

Palavras-chave: Aprendizado profundo, Rede Neural Convolucional, Inteligência Artificial

geoML: UMA BIBLIOTECA EM PYTHON PARA MODELAGEM ESPACIAL ATRAVÉS DE APRENDIZAGEM DE MÁQUINA

Ítalo Gomes Gonçalves¹, Felipe Guadagnin¹, Ezequiel Galvão de Souza¹, Everton Frigo², Marcus Vinicius Aparecido Gomes de Lima², Leugim Corteze Romio², Diogo Peixoto Cordova³

¹Laboratório de Modelagem Geológica, Universidade Federal do Pampa, italogoncalves@unipampa.edu.br

²Laboratório de Análise de Sinas Geofísicos, Universidade Federal do Pampa

³Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

A aprendizagem de máquina está rapidamente se tornando presente em todos os aspectos da vida cotidiana, principalmente com a recente popularização dos modelos de linguagem natural de larga escala. Nas geociências a adoção de métodos mais recentes é crescente porém de forma mais lenta, possivelmente devido a uma tendência tradicionalista entre os profissionais da área e à complexidade inerente aos dados espaciais. A geoestatística já conta com cerca de 100 anos de história e hoje é aplicada em muitos campos além das geociências. Aprimoramentos baseados em aprendizagem de máquina vêm sendo aplicados à geoestatística de forma tímida, em geral na forma de etapas de pré- ou pós-processamento de dados, definição de parâmetros, etc., enquanto o paradigma principal desta disciplina permanece o mesmo das últimas décadas. Uma das principais limitações é a forte dependência da modelagem variográfica, que, apesar de consolidada, exige considerável intervenção manual e nem sempre se adapta bem a conjuntos de dados complexos, multivariados ou ruidosos. Recentemente a comunidade científica da aprendizagem de máquina desenvolveu o processo Gaussiano, um método bastante semelhante à krigagem – normalmente empregada nas geociências – porém com raízes na estatística Bayesiana. Isto possibilita que o modelo efetivamente aprenda a partir dos dados georreferenciados disponíveis, extrapolando padrões e, mais importante, fornecendo uma medida calibrada de incerteza para as suas previsões. Ao contrário da krigagem clássica, o processo Gaussiano não exige modelagem explícita de variogramas e se ajusta automaticamente aos dados, o que representa um avanço importante, principalmente em contextos de alta dimensionalidade ou com variáveis de diferentes naturezas. A biblioteca geoML implementa o processo Gaussiano e a sua generalização baseada em inferência variacional. Esta generalização possibilita a modelagem de relações não lineares entre variáveis, inclusive categóricas, anamorfose automática e correlogramas não estacionários. Avanços recentes possibilitam a criação de uma espécie de rede neural baseada no processo Gaussiano, capaz de propagar a incerteza das variáveis aleatórias em cada camada de forma analítica. O geoML também é capaz de trabalhar com dados composicionais, estatística robusta (sem a necessidade de truncagem manual de teores, por exemplo) e modelagem geológica implícita. A sua aplicabilidade alcança além da avaliação de depósitos minerais, incluindo a prospecção mineral em áreas extensas, integração de dados geofísicos e predição de séries temporais. O paradigma da aprendizagem de máquina possibilita agrupar todas as etapas da modelagem espacial – antes separadas – em um único e coeso modelo capaz de extrair o máximo de informação dos dados espaciais que muitas vezes são escassos. O geoML possui licença GPL v3 e está disponível em <https://github.com/italo-goncalves/geoML>.

Palavras-chave: processo Gaussiano, inferência variacional, propagação da incerteza

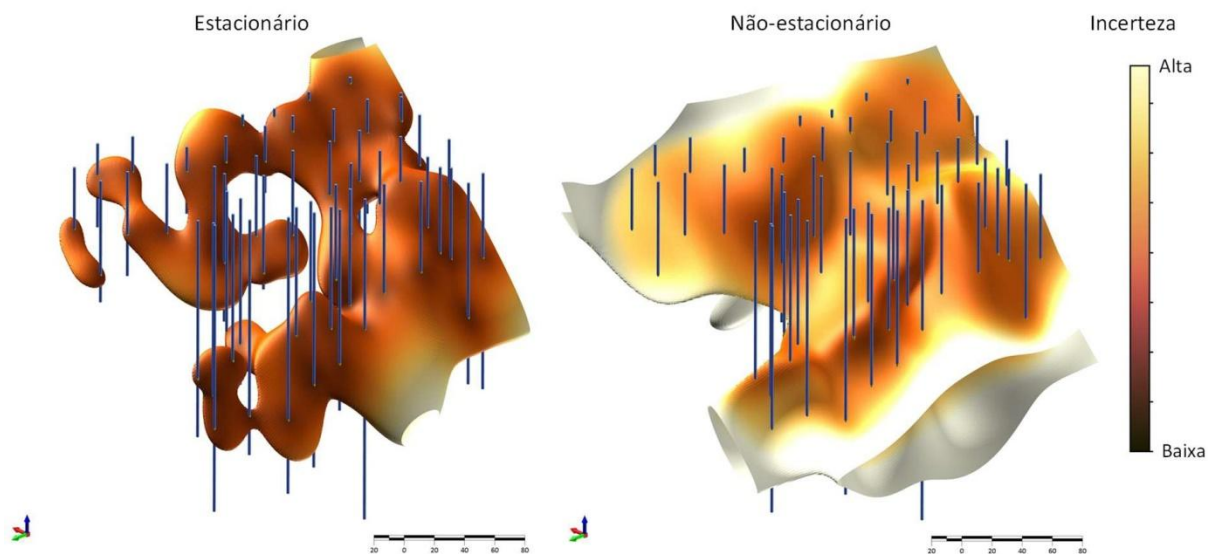


Figura 1: Exemplo de modelagem implícita com o geoML a partir de testemunhos de sondagem.

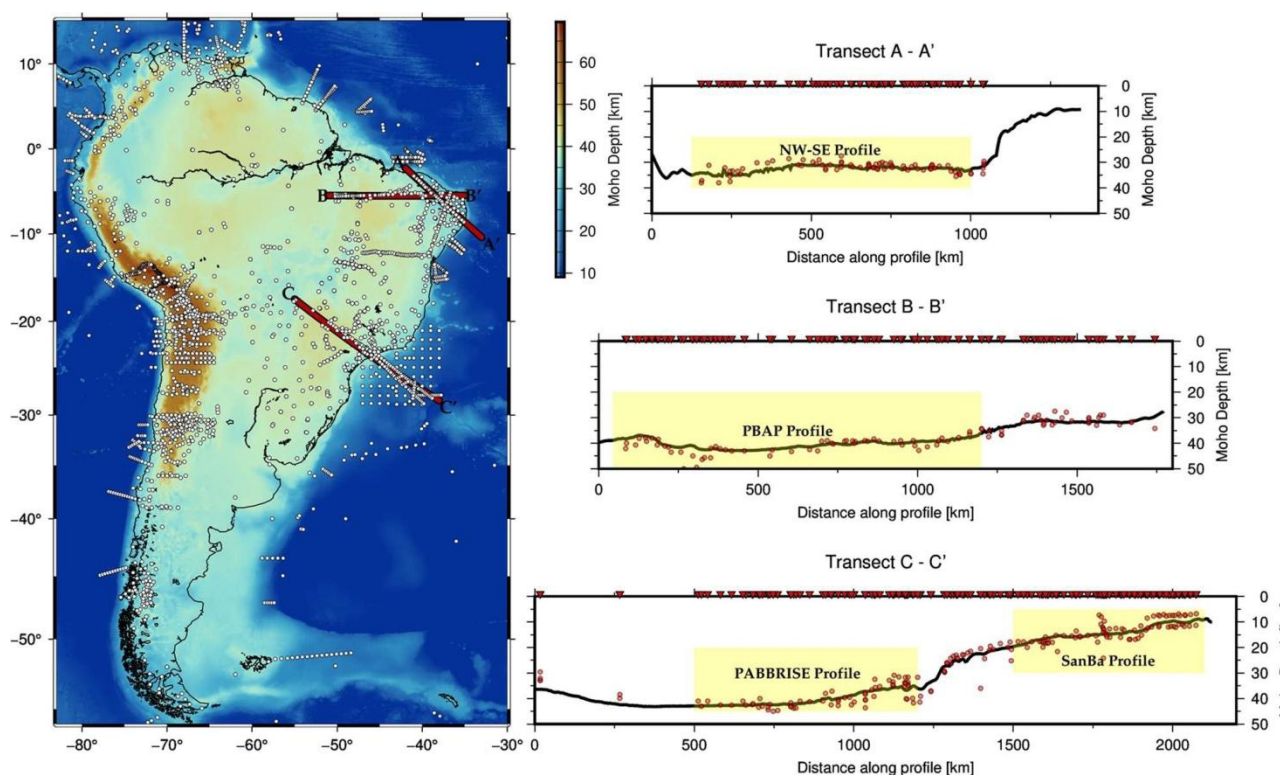


Figura 2: Modelagem da profundidade da interface crosta/manto com o geoML, integrando dados sísmicos e de gravidade.

APLICAÇÃO DE APRENDIZADO DE MÁQUINA SUPERVISIONADO PARA MAPEAMENTO GEOLÓGICO PREDITIVO NA REGIÃO DE LAVRAS DO SUL, RIO GRANDE DO SUL

Matias Valladão Silva¹

¹USP, e-mail: matiasvalladao@gmail.com.

O mapeamento geológico preciso é fundamental para a compreensão de áreas geologicamente complexas, como o Escudo Sul-Rio-Grandense. Este trabalho objetivou aplicar aprendizado de máquina supervisionado para gerar um mapa geológico preditivo na região de Lavras do Sul, RS. Integrou-se dados geológicos, aerogeofísicos, gamaespectrométricos e de sensoriamento remoto (Landsat 8 e MDT) em um Sistema de Informação Geográfica. Realizou-se o pré-processamento destes dados, incluindo tratamento de valores ausentes, agregação de classes litológicas minoritárias e balanceamento amostral via SMOTE. Treinou-se um modelo Random Forest otimizado, que foi avaliado utilizando métricas como acurácia balanceada e análise da matriz de confusão. O modelo alcançou desempenho satisfatório na classificação geral, com acurácia balanceada de 82,31%, embora tenha apresentado dificuldades na distinção de classes específicas com assinaturas de feições similares. Constatou-se que variáveis espaciais, topográficas e espectrais foram as mais importantes para a predição. Gerou-se um mapa preditivo final e mapas de confiança que auxiliaram na interpretação da distribuição espacial das litologias e na identificação de áreas de maior ou menor certeza. O estudo demonstrou a viabilidade da metodologia empregada para o mapeamento geológico preditivo assistido por inteligência artificial.

Palavras-chave: Random Forest; Aprendizagem de Máquina; Predição Litológica; Grupo Passo Feio; Sensoriamento Remoto.

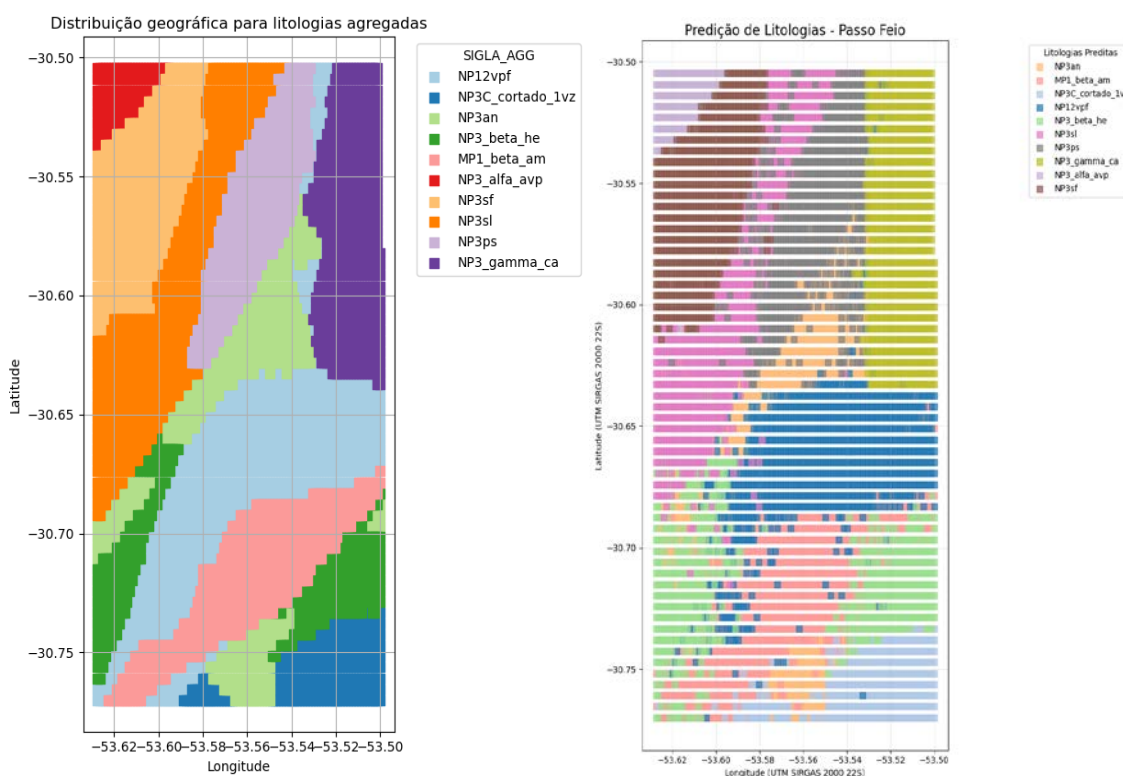


Figura 1: A direita temos o mapa litológico da região do Passo Feio e à esquerda temos o mapa preditivo das litologias da região do Passo Feio, gerado pelo RF.

AUTOMATED BOREHOLE BREAKOUT RECOGNITION USING AI AND PSEUDO-LABELS

Arauco, S.¹, Mattoso, V.¹, Sinimbu, L.¹, De Jesus, I.L.¹, Blauth, M.¹, Ana Paula Soares¹, Becker, M.¹, Cruz, P.S.¹, Sanchetta, A.¹, Mendoza, L.A.F.¹, Pacheco, M.A.¹, Tedeschi, L.², Zhao, J.³

¹Applied Computational intelligence Laboratory (ICA) - Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro
²PETROBRAS/LIBRA
³CNPC/LIBRA

In the past decade, the Barra Velha Formation became the most expressive hydrocarbon producing reservoir of the Pre-salt section of Santos Basin, Brazil. The characterization of these carbonate rocks is challenging as their permo-porosity heterogeneity is complex and controlled by several depositional and diagenetic aspects. To enhance the accuracy of geological features interpretation, several technologies have been applied such as acoustic borehole image (BHI) and Magnetic Resonance Logs. Although BHI presents an efficient response for non-matrix structure identification due to their high-resolution data and complete borehole wall coverage, drilling artifact's presence in the wells walls is a common obstacle to interpretations, as these spurious data do not correspond to geological attributes. Thus, the first mandatory step for a reliable acoustic borehole image interpretation is the recognition and characterization of these artifacts. Usual artifacts classes are acquisition noise, “key seat” (associated to directional wells), bit scratch marks and breakout, which is one of the most common artifacts observed in Pre-salt wells. Borehole breakout is defined as a compressive failure in a well's wall due to stress-induced deformation of a borehole cross section in a preferential direction, generating an elliptical shape in cross-section. Breakouts have a great importance to determine the orientation of in-situ stress and geomechanical analysis. In the acoustic borehole image, breakout intervals are identified as bright massive marks, without structure appearance or lack of internal layering. The borehole wall rugosity is very discrete, indicating very low visual porosity. To facilitate the breakout feature identification in the borehole with BHI, this research developed a workflow to automate the process. The approach leveraging unsupervised learning techniques to address the challenge of limited labeled data. To achieve this goal, the analysis encompasses three steps: (1) Criteria identification (labeling) of a few breakout feature intervals using BHI data and annotation as breakout label and non-breakout intervals; (2) Automate the breakout feature characterization identification process through unsupervised learning generating two clusters; and (3) Based on these clusters, a Pseudo-Labeling Auto-Encoder is applied for unsupervised image classification, enabling more accurate and automated identification of breakout features. To test the presented methodology, data from all wells, from Barra Velha Formation of a selected Santos Basin petroleum field, were used for the machine learning training process and the application test results demonstrated high levels of accuracy.

Key words: Acoustic Borehole image, unsupervised learning, computer vision, breakout, artifacts identification.

APRENDIZADO PROFUNDO APLICADO À INTERPRETAÇÃO DE FÁCIES A PARTIR DE PERFIS DE IMAGEM ACÚSTICA

Lenita de Souza Fioriti¹, Rodrigo César Teixeira de Gouvêa², Cleyton de Carvalho Carneiro³

¹Petróleo Brasileiro S.A., lenita.fioriti@petrobras.com.br

²Universidade de São Paulo, rodrigotgouvea@usp.br

³Universidade de São Paulo, cleytoncarneiro@usp.br

A classificação de fácies a partir de perfis de imagem acústica de alta resolução, ou *image facies*, calibrados com dados de testemunhos e perfis tomográficos, baseia-se na análise das variações texturais, estruturas sedimentares e heterogeneidades presentes nas rochas e detectadas no perfil. O conhecimento geológico da área e a experiência do intérprete permitem associar visualmente as litofácies e a *image facies*, identificando padrões típicos. Devido ao alto custo para a extração de testemunhos, a interpretação de fácies baseada em perfis de imagem tem se tornado cada vez mais comum. Porém, essa análise pode demandar semanas a meses, conforme a qualidade do perfil e a disponibilidade dos dados. Com o crescimento do uso de inteligência artificial em aplicações geológicas, modelos de aprendizado profundo que extraem padrões em imagem têm facilitado a correlação entre rochas e perfis. Este estudo tem como objetivo desenvolver uma ferramenta para classificar litologias em subsuperfície usando aprendizado profundo e avaliar a sua aplicabilidade para a indústria de óleo e gás. A base de dados inclui perfis de imagens acústicas estática e dinâmica provenientes de seis poços exploratórios perfurados no Pré-Sal da Bacia de Santos. A metodologia inclui rotulação, padronização e limpeza dos dados, determinação do tamanho e sobreposição dos patches, bem como expansão horizontal da imagem. A partição dos dados foi inovadora, separando os conjuntos de treinamento, validação e teste a partir de distintos subconjuntos ao longo do poço. Técnicas de data augmentation e subamostragem foram aplicadas para balanceamento. A base de dados foi dividida em 77,83% para o treinamento do modelo, 11,085% para validação e 11,085% para teste. A etapa de rotulação dos dados foi conduzida por especialista e estruturada em duas abordagens: uma classificação mais ampla com quatro fácies e uma classificação mais detalhada, com nove fácies. Considerando a complexidade das rochas carbonáticas e sua heterogeneidade textural, foi necessário desenvolver um pré-processamento específico às imagens acústicas, a fim de capturar adequadamente a diversidade geológica registrada. Doze arquiteturas de redes neurais convolucionais (CNNs) foram testadas, com variações em termos de complexidade e estrutura. O modelo VGG16 com transferência de aprendizado obteve o melhor desempenho, alcançando acurácia de 62% na classificação detalhada e 78% na classificação geral. A análise dos erros revelou os principais fatores que afetaram o desempenho dos modelos, entre os quais tem-se o viés associado à interpretação e rotulação dos dados e a presença de artefatos nos perfis de imagem acústica. Os resultados demonstram que a eficácia da aplicação de aprendizado profundo para a classificação automatizada de *image facies*, alcançando acurácias de até 95,33% para classes abrangentes e 82,03% para classes específicas. Ressalta-se que o bom desempenho obtido está diretamente relacionado à etapa de pré-processamento, que respeitou critérios estratigráficos e texturais rigorosos. Portanto, a metodologia proposta configura-se como uma ferramenta promissora para superar os desafios técnicos na exploração e desenvolvimento de reservatórios, com forte potencial de aplicação na indústria de óleo e gás.

Palavras-chave: *image facies*, perfil de imagem acústica, rede neural convolucional.

INVERSÃO SÍSMICA GUIADA POR DEEP LEARNING APLICADA EM RESERVATÓRIOS CARBONÁTICOS DO PRÉ-SAL

Fábio Júnior Damasceno Fernandes¹, Eberton Rodrigues de Oliveira Neto^{1,2}, Leonardo Teixeira², Wagner Moreira Lupinacci¹

¹Grupo de Interpretação Exploratório e Caracterização de Reservatórios (GIECAR), Departamento de Geologia e Geofísica, Universidade Federal Fluminense

²Petrobras

A quantificação de informações na caracterização sísmica de reservatórios desempenha um papel fundamental devido, principalmente, à natureza de banda limitada dos dados sísmicos. A sísmica convencional registra apenas uma fração do conteúdo espectral da subsuperfície, limitando a resolução vertical e dificultando a identificação precisa de interfaces geológicas. A inversão sísmica acústica surge como uma rotina importante para a interpretação sísmica quantitativa, promovendo a passagem de um atributo de interface (amplitude) para uma propriedade de camada (impedância acústica – IP). Ao se realizar a integração com dados de poços, a inversão sísmica sofre um aumento da largura de banda, reduzindo ambiguidades inerentes à interpretação qualitativa. Recentemente, a indústria Brasileira de O&G aumentou os investimentos de capital em aquisições sísmicas usando *ocean-bottom nodes* (OBN) e em fontes de baixa frequência. Apesar de trazer vantagens como um espectro de frequências amplo, azimuth completo e *offsets* longos, a presença de baixas frequências no dado sísmico traz desafios para a inversão sísmica usando métodos convencionais. Isto ocorre, pois a estimativa de *wavelets* contendo baixas frequências (3 – 6 Hz) é desafiadora devido ao comprimento limitado dos perfis de IP no pré-sal. A ausência destas frequências na *wavelet* ocasiona um aumento nos resíduos e uma maior instabilidade do problema inverso. Para superar isso, autores tipicamente filtram as informações entre 3 – 6 Hz da amplitude e posteriormente realizam a inversão sísmica. Uma desvantagem desta estratégia é a perda de informações úteis para a interpretação quantitativa de reservatórios complexos como os do pré-sal. Redes neurais convolucionais (CNNs) podem ser adotadas para a solução de problemas inversos altamente não-lineares guiadas pelo dado. Ao se treinar redes neurais com dados com complexidade suficiente e alta capacidade de generalização, utilizamos todo o potencial de modelos profundos para o aprendizado de padrões. Nós propomos o uso de CNNs para a realização da inversão sísmica acústica em dados com ampla largura de banda do pré-sal utilizando todo o espectro do dado sísmico, sem a necessidade de filtragens prévias. Devido à falta de dados anotados nas geociências para o treinamento da CNN, optamos por uma abordagem integralmente feita com dados sísmicos sintéticos 3D. A geração dos dados sintéticos é aleatória e se inicia com a criação do *framework* estrutural com dobras e falhas. Este modelo é usado para deformar uma simulação estocástica 3D baseada em geoestatística de IP. Por fim, realizamos a modelagem direta com *point-spread functions* (PSFs) com características de frequência e velocidade análogas às do pré-sal. A arquitetura escolhida foi a U-Net com função de perda perceptual consistindo em um *auto-encoder*. O conjunto de dados de treinamento consiste em 10.000 seções 2D de amplitude sísmica (entrada) e as respectivas anotações de IP (saída). A Figura 1 ilustra os resultados da inversão sísmica na vizinhança do Poço A. Destaca-se a alta correlação do resultado da inversão sísmica com o perfil do poço, além da presença das baixas frequências com amplitude equalizada no espectro da inversão sísmica. Portanto, a metodologia proposta de inversão gerou um modelo de IP que captura toda a largura de banda do dado sísmico de forma coerente e reduz as incertezas na quantificação da interpretação sísmica dos reservatórios do pré-sal.

Palavras-chave: pré-sal, inversão, deep-learning.

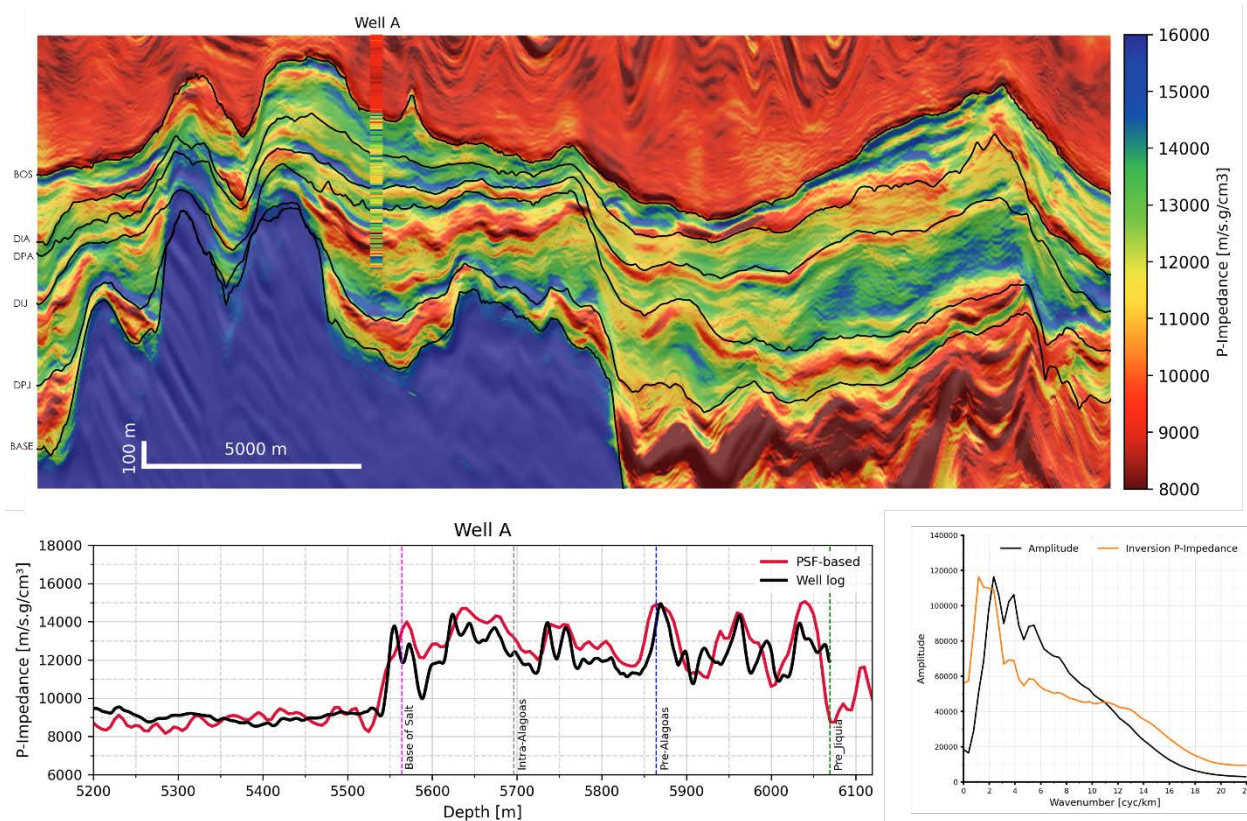


Figura 1: Inversão sísmica acústica em reservatórios carbonáticos de um campo do pré-sal brasileiro, mostrando: seção sísmica com o resultado da inversão (acima); comparação do perfil de impedância acústica do poço com o resultado da inversão sísmica em sua respectiva posição (esquerda inferior); espectros de frequência da amplitude sísmica e da inversão sísmica acústica removendo o modelo de baixa frequência entre 0 – 1 ciclos/km (direita inferior). O resultado evidencia a boa correlação entre a estimativa e o dado medido. Nos espectros de frequência, destacamos um ganho de informações nas altas e nas baixas frequências, auxiliando na quantificação de informações no reservatório.

ANÁLISE DE ERROS DE CLASSIFICAÇÃO EM MODELOS DE APRENDIZADO DE MÁQUINA: UM ESTUDO DE CASO NO INTERVALO PERMOCARBONÍFERO DA BACIA DO PARANÁ

Francisco Manoel Wohnrath Tognoli^{1,2}

¹Laboratório de Geologia Quantitativa (QG Lab | UFRJ), e-mail: franciscotognoli@igeo.ufrj.br

²Laboratório de Geologia Sedimentar (LAGESED | UFRJ)

A aplicação de técnicas de aprendizado de máquina (ou *machine learning*, ML) na estratigrafia representa uma abordagem promissora para refinar identificar unidades litológicas e superfícies estratigráficas, refinando correlações e reduzindo a subjetividade inerente à análise geológica tradicional, que até atualmente baseia-se no conhecimento e experiência do intérprete. Este estudo utilizou dados gamaespectrométricos (contagem total, K, eU e eTh) provenientes de testemunhos de sondagens realizadas nas décadas de 1970 e 1980 na borda sul da Bacia do Paraná (Brasil) para classificar associações de fácies (AFs) previamente mapeadas com base em critérios de campo. Três associações foram reconhecidas: AF1, ligada a sucessões glaciais e glacialmente influenciadas; AF2, relacionada a ambientes parálicos, especialmente estuarinos; e AF3, representada por depósitos arenosos a conglomeráticos de depósitos litorâneos e marinho raso. Um modelo supervisionado que empregou o algoritmo KNN alcançou 86% de exatidão na classificação das associações de fácies com base nos dados gamaespectrométrico, com *f1-score* de 90%, 73% e 91% para as classes AF1, AF2 e AF3, respectivamente. A validade estratigráfica dos resultados foi verificada por meio de padrões regionais em perfis espectrométricos, como o pico triplo no perfil (K+Th)/U, interpretado como superfície de inundação regional e adotado como *datum* em seções estratigráficas. A coerência geológica observada entre poços distantes reforça a aplicabilidade da abordagem. Erros de classificação foram analisados considerando medidas de probabilidade. Casos com diferenças inferiores a 20% entre classes indicam limites interpretativos que podem ser ajustados com base em evidências geológicas. Por exemplo, a ausência de AF3 em certos poços foi coerente com interpretações prévias de erosão da parte superior da sucessão. Este comportamento reforça o potencial dos modelos de aprendizado de máquina em análises estratigráficas ao mesmo tempo em que aponta para a necessidade permanente de refinamento e validação a partir do conhecimento geológico. Os erros de classificação com padrões bem definidos estão relacionados à presença de superfícies estratigráficas ou a depósitos derivados de retrabalhamento de depósitos prévios. Estratégias metodológicas futuras incluem o reconhecimento das características de superfícies estratigráficas e depósitos retrabalhados como objetivo final a ser obtido pelos algoritmos de classificação, além da definição de rotinas específicas para a detecção de superfícies estratigráficas e a ampliação da base de dados incluindo elementos químicos que servem como *proxies* paleoambientais. Este estudo demonstra que, além de acelerar o processamento de grandes volumes de dados, a aplicação de ML oferece novas perspectivas para a estratigrafia quantitativa, fortalecendo interpretações geológicas e promovendo correlações mais robustas e replicáveis em contextos sedimentares complexos.

Palavras-chave: Estratigrafia, Probabilidade, Gamaespectrometria.

PREDIÇÃO DA PROFUNDIDADE DO HORIZONTE R NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO COM RANDOM FOREST, VALIDAÇÃO LEAVE-ONE-BLOCK-OUT E PRÉ-PROCESSAMENTO BASEADO EM LLM

Johann Canuto Waterkemper¹, Francisco Tognoli², Elias M. G. Prado³

¹Laboratório de Geologia Quantitativa (QG Lab | UFRJ), jcw.kemper@gmail.com

²Laboratório de Geologia Quantitativa (QG Lab | UFRJ), franciscotognoli@igeo.ufrj.br

³Centro de Geociências Aplicados (CGA | SGB), elias.prado@sgb.gov.br

A interface saprolito-rocha sã (Horizonte R) condiciona estabilidade de encostas, recarga aquífera e planejamento de obras em terrenos tropicais, mas quase sempre é mapeada de forma pontual devido ao alto custo de sondagens. Este estudo apresenta um fluxo totalmente em nuvem, executado no Google Earth Engine (GEE), capaz de estimar a profundidade do Horizonte R em $\approx 25\,000\text{ km}^2$ do Quadrilátero Ferrífero (MG) com mínima dependência de dados de campo. Empregaram-se 2 060 amostras de treino: (i) 730 profundidades de poços cadastrados no SIAGAS, categorizadas por few-shot learning com o modelo ‘gpt-4o-mini’ (OpenAI), o que permitiu generalizar descrições litológicas heterogêneas; e (ii) 1 330 pontos de afloramento de quartzito (profundidade = 0 m). Entre as 42 variáveis preditoras testadas estavam: (a) compósito Sentinel-2 da estação seca 2020–2021, complementado com cenas 2018–2024 ($\leq 35\%$ de nuvem), além de índices espectrais; (b) variáveis topográficas derivadas do SRTM e do MERIT-Hydro; e (c) estoques de carbono e granulometria 0–30 cm do MapBiomass-Soil v2. Para futuros modelos de deep learning avaliou-se a multicolinearidade (correlação de Spearman e $VIF < 10$), reduzindo-se o conjunto a 26 covariáveis; ainda assim, todas as 42 variáveis foram usadas para treinar o modelo Random Forest, utilizando busca de hiperparâmetros (100, 200 ou 300 árvores; $mtry = \sqrt{p}$, 5 ou 10). O desempenho foi avaliado por validação Leave-One-Block-Out (LOBO) usando cinco blocos regulares de 10 km, o que evitou vazamento espacial. A melhor configuração alcançou $RMSE \approx 15\text{ m}$, com R^2 ainda modestos; os maiores erros ocorreram em profundidades $> 50\text{ m}$, os motivos que levaram erros ainda estão sendo investigados. Dentre fatores estudados estão escassez de amostras ou falta de covariáveis sensíveis às porções mais profundas do regolito. As variáveis mais relevantes foram: elevação (z_{dem}), que evidencia superfícies de peneplanização; Topographic Position Index a 500 m (tpi_{500m}), que separa topos convexos de depressões côncavas; área de contribuição upslope ($flow_{acc}$), proxy de convergência de fluxo subsuperficial; *Height Above Nearest Drainage* (HAND), indicador do potencial gravitacional de remoção de regolito; e *Topographic Wetness Index* (TWI), relacionado à umidade persistente. O mapa preditivo, gerado a 30 m e disponibilizado como asset no GEE, já pode ser integrado às atividades da equipe de pesquisa. Próximos passos incluem incorporar dados magnetométricos e radiometria gama como proxies de litologias máficas e lateríticas, testar Redes Neurais Convolucionais (CNNs) espaciais e quantificar a incerteza pixel a pixel. O trabalho demonstra que a combinação de ciência de dados espacial e Large Language Models (LLMs) pode gerar produtos de alto valor agregado a baixo custo.

Palavras-chave: Horizonte R; Random Forest; validação espacial; modelos de linguagem; derivadas topográficas.

SEGURANÇA EM ATIVIDADE DE CAMPO E BUSCA DE DESAPARECIDOS EM TRILHAS: UMA ABORDAGEM BASEADA EM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Johann Canuto Waterkemper^{1,3}, Maysa Pereira Tomé²

¹USP/Esalq, e-mail: jcw.kemper@gmail.com

²Pecege, e-mail: maysatome@gmail.com

³Laboratório de Geologia Quantitativa (QG Lab | UFRJ), jcw.kemper@gmail.com

Os trabalhos de campo em Geologia e a expansão do ecoturismo em ambientes montanhosos impõe novos desafios logísticos às operações de busca e resgate (SAR). Apenas em 2021, o Brasil registrou 65225 desaparecimentos, parcela relevante deles em trilhas. Propomos um fluxo de trabalho geoespacial que integra aprendizado profundo e análise de custo de deslocamento para estimar, em minutos, corredores preferenciais percorridos por indivíduos perdidos, fornecendo às equipes de campo um mapa de probabilidade que reduz a área de varredura inicial. A predição de trilhas utiliza uma Rede Neural Convolucional U-Net treinada durante 200 épocas sobre 12 variáveis: declividade e MDT ALOS/PALSAR (12,5 m); dez bandas Sentinel-2 SR (10–20 m) e densidade de trilhas derivada de 21 vetores Wikiloc (Fig. 1). O conjunto de treinamento (78 amostras com trilha; 1 476 sem trilha) gerou acurácia 0,93 (atualmente trabalhando nas métricas de IoU), generalizando para regiões não-supervisionadas. O raster de probabilidade é invertido, normalizado (0–1) e ponderado pelo gradiente de declividade, originando uma superfície de fricção que penaliza encostas íngremes e vegetação densa. A partir do último ponto GPS conhecido, rotas de menor custo são traçadas via algoritmo de Dijkstra, produzindo leques radiais que convergem em “hotspots” de maior verossimilhança. Em um estudo de caso no Pico dos Marins (2018), o sistema identificou três confluências principais em menos de 30 segundos; a mais densa localizou-se a 60 m do ponto onde o montanhista Eric Welterlin foi encontrado, demonstrando utilidade operacional. Os ganhos obtidos incluem: (i) detecção automática de trilhas não mapeadas, inclusive sob copa fechada; (ii) filtragem de corredores inviáveis, reduzindo falsas rotas face a *Least Cost Path* (LCP), baseado apenas em declividade; (iii) replicabilidade em qualquer área com dados abertos, sem necessidade de informações sensíveis de telecomunicações. Aplicações derivadas incluem planejamento da acessibilidade em parques, modelagem de rotas de fauna, evacuação de emergência e simulação de propagação de incêndios. Os próximos passos envolvem incorporar trilhas globais, treinar modelos fundacionais geoespaciais para segmentar feições lineares < 1 m e disponibilizar um painel web de atualização quase em tempo real via plataformas geoespaciais. A abordagem exemplifica como técnicas de Inteligência Artificial, apoiam decisões críticas nas primeiras 24 horas de desaparecimento. O algoritmo encontra-se registrado como Programa de Computador no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), Processo Nº BR512024003441-2, assegurando proteção de propriedade intelectual por 50 anos.

Palavras-chave: Segurança em campo, Busca e resgate; CNN-UNet; Serra da Mantiqueira.

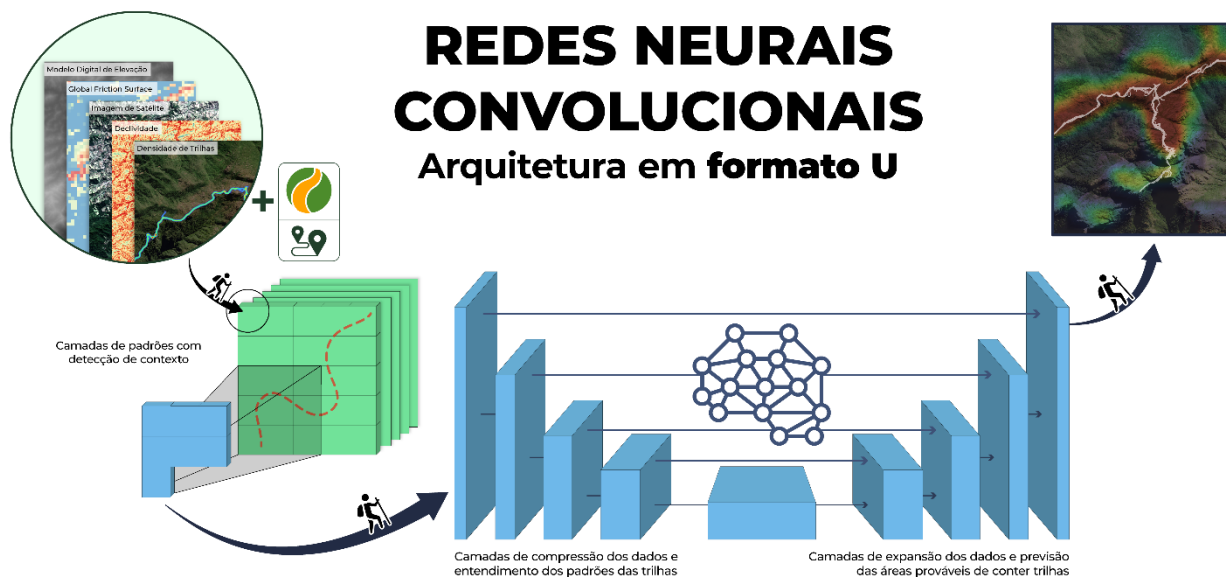


Figura 1: Infográfico representando a modelagem de geração do raster de probabilidade de conter trilha. O resultado no quadro superior direito mostra a abrangência de áreas prováveis de deslocamento.

CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE MODELOS VIRTUAIS DE AFLORAMENTO EM 3D ATRAVÉS DE REDES NEURAI CONVOLUCIONAIS

Ítalo Gomes Gonçalves¹, Felipe Guadagnin¹, Eduardo Roemers-Oliveira², Ezequiel Galvão de Souza¹, Tiago Rafael Gregory¹, Ana Clara Freccia¹, Guilherme de Godoy Rangel¹

¹Laboratório de Modelagem Geológica, Universidade Federal do Pampa, italogoncalves@unipampa.edu.br

²Petrobras – Petróleo Brasileiro S/A

Nuvens de pontos 3D de afloramentos são representações digitais de rochas expostas à superfície, usualmente obtidas a partir de fotogrametria ou LiDAR. Esses objetos digitais são amplamente utilizados em levantamentos geológicos e podem apresentar densidades espaciais elevadas, com até mil pontos por metro quadrado. Dados georreferenciados adicionais podem ser integrados às nuvens de pontos 3D e, combinados com técnicas de interpretação geológica por sensoriamento remoto, permitem a extração de objetos geológicos para a construção de modelos 3D. Apesar da alta resolução e quantidade de dados disponíveis, a interpretação geológica dessas nuvens ainda depende predominantemente do trabalho manual de especialistas — um processo demorado, pouco reproduzível e sujeito à subjetividade. Para mitigar essas limitações, métodos de aprendizagem profunda, em especial as redes neurais convolucionais (CNNs), têm sido cada vez mais empregados. Essas redes são eficazes na análise automática de imagens e volumes de dados espaciais, pois conseguem aprender padrões locais e hierárquicos a partir de exemplos rotulados, permitindo segmentar grandes conjuntos de dados com base em subconjuntos reduzidos de treinamento. Este trabalho utilizou uma arquitetura de rede codificadora-decodificadora U-Net para segmentar imagens de um afloramento de elementos arquitetônicos turbidíticos na região de La Jardinera, Bacia de Neuquén, Argentina. De todo o conjunto de dados, aproximadamente 10% das imagens foram rotuladas por um intérprete especialista. Metade das imagens rotuladas foi usada para treinamento e a outra metade para testar a acurácia do modelo, alcançando uma acurácia geral de 82%. Posteriormente, todos os subconjuntos rotulados foram usados para retreinar o modelo e aplicá-lo às imagens não rotuladas. As imagens segmentadas finais foram processadas pelo pipeline de fotogrametria para obter nuvens de pontos 3D classificadas, representando a distribuição espacial de cada elemento arquitetônico no registro geológico exposto.

Palavras-chave: modelos virtuais de afloramento, fotogrametria, redes neurais convolucionais

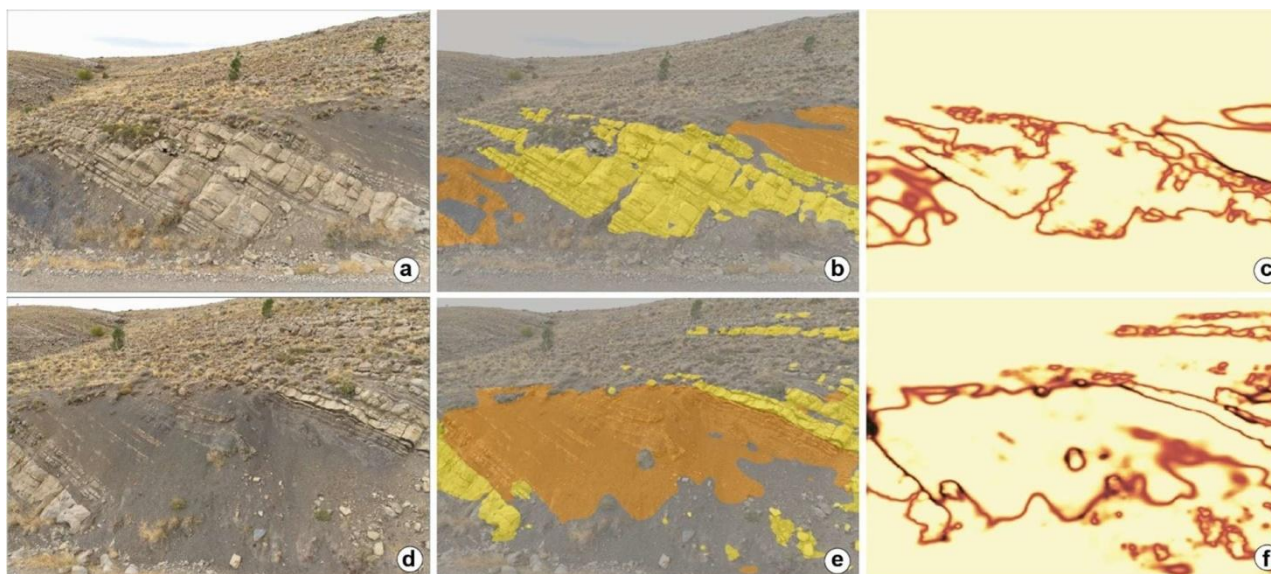


Figura 1: Rotulação automática de imagens de um afloramento. (a), (d): imagens originais. (b), (e): imagens rotuladas destacando os elementos arquiteturais lóbulos-interlóbulos (amarelo) e franjas (laranja). (c), (f): mapas de entropia, destacando regiões de incerteza nas previsões.

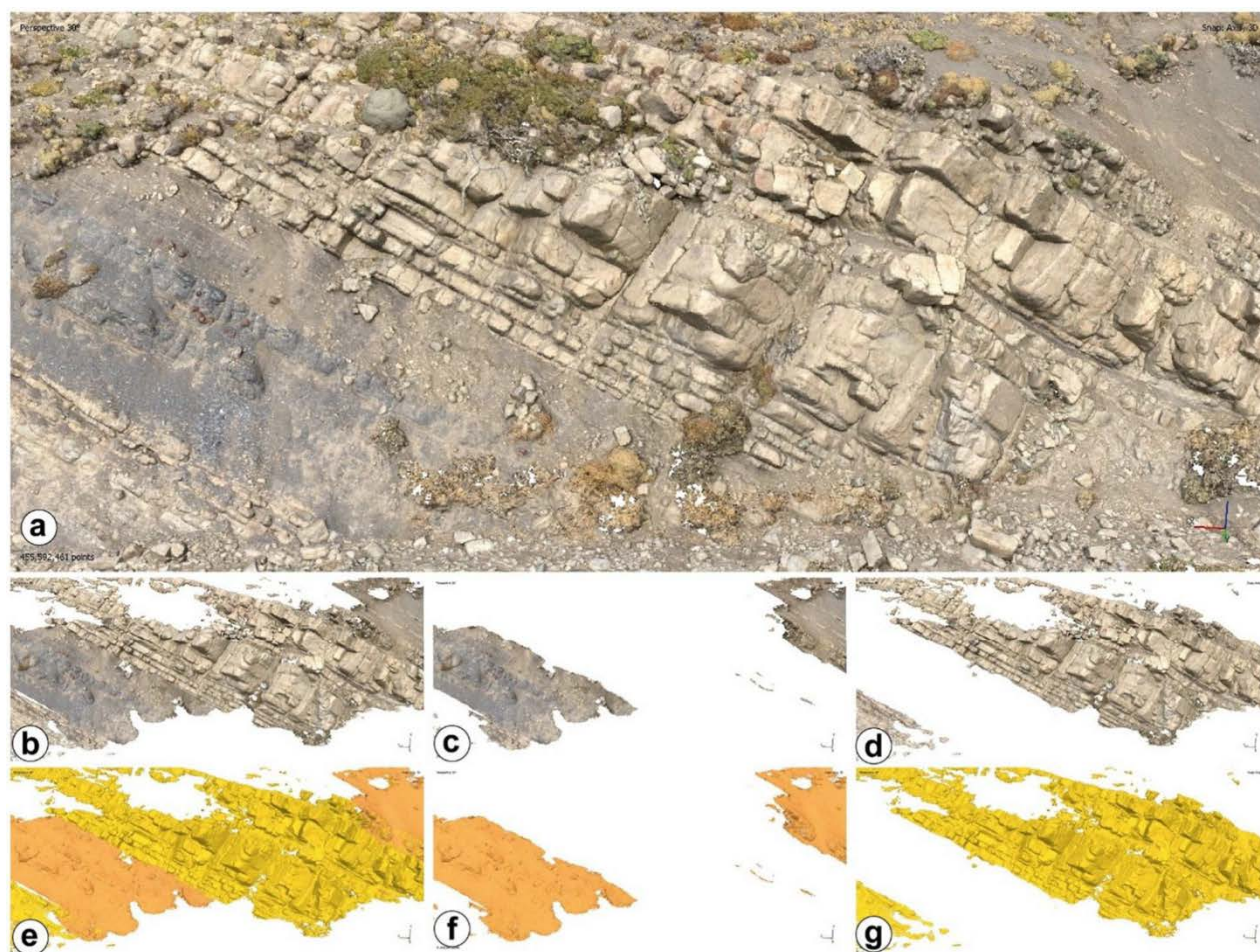


Figura 2: Nuvem de pontos 3D (a) com a rocha sã isolada em (b-d) e destacando os lóbulos-interlóbulos (amarelo) e franjas (laranja) em (e-g).

UNSUPERVISED MACHINE LEARNING APPROACHES FOR THE LITHOGEOCHEMICAL CLASSIFICATION OF BASALTS IN THE PARANÁ MAGMATIC PROVINCE

Giovana Medeiros Rosa¹, Julio Lopes da Silva², Theresa Rocco Pereira Barbosa³, Helena Saraiva Koenow Pinheiro⁴, Artur Corval⁵, Sérgio Castro Valente⁶

¹Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Evolução Geológica, UFRRJ, Seropédica, RJ, Brazil, giovanamedeirosrosa@ufrj.com; juliogeo@ufrj.br; theresa.rocco@ufrj.br; lenask@gmail.com; corvalgeo@ufrj.br; labmeg.ufrj@gmail.com

The basalts of the Paraná Magmatic Province (PMP) are traditionally divided into six types: Esmeralda, Gramado (low-Ti) Pitanga, Paranapanema, Ribeira, and Urubici (high-Ti). This classification is based on the TiO₂ content, immobile incompatible trace element ratios (*e.g.*, Ba, Zr, Y), and the ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr isotopic ratio. However, the flaw of this classification is the overlapping of geochemical threshold limits among discriminating parameters. This study proposes the application of an unsupervised machine learning approach to refine the discrimination of the PMP basalt types. A robust database comprising 3.774 samples was compiled from 62 published studies on the lithogeochemistry of the PMP basalts. This dataset was standardized, recalculating the major elements to 100% on a volatile-free base and calculating total iron content as Fe₂O_{3t}, using the normalizing method MinMaxScaler from scikit-learn, supplemented with geographic variables. The samples selected for modeling were those with SiO₂ contents below 55 wt%, LOI values below 2.5 wt%, and non-null Nb concentrations since this is an important petrogenetic marker. The final variables were SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O_{3t}, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, Ti/Y, Ti/Zr, Zr/Y, Sr/Y, Ba/Y, Ba, Rb, Sr, Y, Zr, Nb and Ce. The remaining missing values in the dataset were imputed using the median. The final dataset comprises 1.512 samples. The unsupervised clustering algorithms applied in this study were *k*-means and the Gaussian Mixture Model (GMM), both from the library scikit-learn. The optimal number of seven clusters was determined using the silhouette method for the *k*-means algorithm. The most remarkable characteristics of the classes are: i) Class 1 shows high SiO₂ content and low TiO₂, Ti/Y, Zr/Y, Nb, Ce and Ba; ii) Class 2 has low TiO₂, is rich in CaO, with low Y, Rb, Nb and Ce; iii) Class 3 is enriched in TiO₂, K₂O, P₂O₅, Rb, Zr, Ce and Zr/Y; iv) Class 4 has high TiO₂ and Fe₂O_{3t} and low levels of K₂O, P₂O₅ and incompatible elements; v) Class 5 combines high TiO₂, Y, and SiO₂ contents with medium to high Ti/Zr and Rb values; vi) Class 6 has high TiO₂ and MnO and with Al₂O₃ and Fe₂O_{3t} contents; vii) Class 7 is enriched in TiO₂ and Fe₂O_{3t}, with elevated Rb and Ba/Y and reduced Nb. The optimal number of clusters for GMM was determined using the Bayesian Information Criterion and the Akaike Information Criterion, both of which indicated seven clusters as suitable. The most remarkable characteristics of the classes are: i) Class 1 has high SiO₂ and low TiO₂ and Ti/Zr; ii) Class 2 has low TiO₂, K₂O, P₂O₅ and incompatible elements; iii) Class 3 has high TiO₂, K, P, Ba, Rb, and Ce; iv) Class 4 has high levels of TiO₂, Al₂O₃, and Fe₂O_{3t}, without extremes; v) Class 5 has high values of TiO₂, Ti/Zr, Y and low Sr/Y and Zr; vi) Class 6 has high TiO₂ and MnO and low Al₂O₃ and MgO contents; vii) Class 7 has high TiO₂, with enrichment in Rb and slight depletion in Ce. The proposed approach successfully captured underlying data structures within the dataset. In the final stage of the analysis, the performance of both algorithms will be evaluated and the resulting classifications will be compared with those derived from the conventional geochemical classification framework. This comparison aims to determine whether the algorithms provide complementary insights or have the potential to uncover previously unrecognized patterns within the dataset.

Key-words: Data mining, Geochemical Classification, Clustering tools.

AValiação DO DESEMPENHO DE REDES NEURais NA INTERPRETAÇÃO DE NUVENS DE PONTOS

Eliel Jessé Morais de Jesus Junior¹, Jorge Antonio Silva Centeno¹

¹ UFPR, e-mail: elieljesse2012@gmail.com, centeno@ufpr.br

Nas últimas décadas, a aquisição de dados tridimensionais passou por transformações profundas em razão da adoção de sensores avançados capazes de capturar o ambiente real com alta fidelidade (GAO et al., 2024; QUAN et al., 2024; ROYEN et al., 2024). Apesar dos custos associados, tais tecnologias reduziram significativamente o risco de omissões e erros típicos de métodos manuais (planilhas, croquis e tabelas), ampliando seu uso em engenharia civil, geociências, arquitetura, arqueologia, agricultura de precisão e veículos autônomos (LI et al., 2020; HUANG et al., 2022). Entretanto, as nuvens de pontos enfrentam desafios como ruído, oclusão de superfícies, alta demanda computacional e carência de algoritmos robustos para filtragem, segmentação e interpretação automática (HUANG et al., 2022). Diante dessa complexidade, torna-se necessário o desenvolvimento de soluções baseadas em aprendizado profundo que permitam refinar e adequar os dados ao propósito específico de cada aplicação. Este trabalho propõe avaliar redes neurais para identificação, filtragem e reconstrução de objetos em nuvens de pontos. Para isso, escanearam-se três esferas de diferentes diâmetros a várias distâncias (Fig. 1). Na etapa inicial, isolou-se cada esfera na nuvem filtrada e, por meio de um código em Python, estimou-se o raio, comparando-o com medidas obtidas por paquímetro. Na fase seguinte, treinar-se-á uma rede neural para reconhecer automaticamente as esferas e preencher lacunas decorrentes de oclusões ou ruído. Caso os resultados sejam promissores, o método será aplicado a nuvens mais complexas contendo objetos sobrepostos, avaliando-se sua capacidade de segmentação e reconstrução em cenários reais. Na etapa preliminar, já foram iniciados testes de reconhecimento de objetos simples (por exemplo, uma cadeira) a diferentes distâncias, com vistas a mapear o estágio atual da pesquisa e orientar aprimoramentos subsequentes.

Palavras-chave: Nuvem de Pontos, Redes Neurais, Segmentação



Figura 1: Esferas – Levantamento para Testes.

MODELAGEM DE RESERVATÓRIOS CARBONÁTICOS A PARTIR DE AGRUPAMENTOS EM SISMOFÁCIES: UM ESTUDO DE CASO NO PRÉ-SAL DA BACIA DE SANTOS

Felipe Ferreira Luiz Gorla^{1,2}, Julia Campos Guerrero¹; Gabriella Tálamo Fontaneta¹; Marco Antonio Carlotto¹; André de Gasperi¹; Ednilson Bento Freire¹; Rodrigo César Teixeira de Gouvêa²; Cleyton de Carvalho Carneiro²

¹Petrobras – Petróleo Brasileiro S.A., e-mail: felipegorla@petrobras.com.br

²Universidade de São Paulo, USP

A classificação de atributos sísmicos em sismofácies por meio de algoritmos não supervisionados configura-se como uma ferramenta eficiente para a análise e interpretação de dados sísmicos, permitindo a identificação de feições geológicas de interesse de forma rápida e objetiva. Esse tipo de abordagem oferece vantagens significativas, especialmente em contextos exploratórios, uma vez que auxilia na caracterização de áreas sem controle de poços, contribuindo para a redução de incertezas nas etapas iniciais de desenvolvimento de projetos. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo propor um procedimento metodológico para a classificação semiautomatizada de sismofácies a partir de atributos sísmicos aplicada a sistemas carbonáticos do pré-sal. Para isso, foram utilizados dados sísmicos reprocessados da porção *offshore* da Bacia de Santos, na margem continental sudeste brasileira. A metodologia foi aplicada sobre cubos de atributos sísmicos reamostrados para a escala de modelo geológico. O agrupamento das sismofácies foi conduzido por meio dos algoritmos mapas auto-organizáveis (SOM) e *k-means* e visou à diferenciação de domínios deposicionais de um reservatório pré-sal. Quatro atributos sísmicos foram selecionados para compor a base de análise: amplitude (traço sísmico original), impedância acústica relativa, intensidade de reflexão e mergulho estrutural local, cuja combinação visou capturar tanto propriedades físicas das rochas quanto padrões geométricos das reflexões. A rotina analítica envolveu as seguintes etapas sequenciais: (i) extração dos atributos sísmicos; (ii) reamostragem dos atributos para uma malha 3D (arquivo .gslib); (iii) análise de correlação entre as variáveis selecionadas; (iv) aplicação do algoritmo SOM; (v) segmentação dos neurônios do SOM pelo algoritmo *k-means*; e (vi) interpretação geológica das sismofácies resultantes. Os próprios cubos desses atributos constituíram as variáveis de entrada para o processo de agrupamento. A interpretação das sismofácies foi conduzida com base em princípios de sismoestratigrafia, informações litológicas provenientes de perfis de poço e modelos conceituais de sistemas deposicionais carbonáticos. A aplicação dos métodos SOM e *k-means* na classificação sísmica permitiu individualizar sismofácies (SFs) que destacam importantes elementos deposicionais do reservatório estudado. As SFs 1, 2 e 3 estão associadas ao domínio deposicional de Bacia Mista Profunda, caracterizado por depósitos tabulares de baixa energia, e, em áreas centrais, a ambientes protegidos como sublitoral. A SF3 ainda indica a presença de depósitos gravitacionais episódicos. A SF5 está relacionada ao domínio de Plataforma Carbonática Isolada Progradacional, representando *foresets* de clinoformas desenvolvidas sob forte controle estrutural e alta produtividade biogênica, além de leques subaquosos nas porções distais. Por sua vez, a SF4 corresponde ao domínio de Plataforma Carbonática Isolada Agradacional, que reflete um padrão de empilhamento menos progradante, associado ao aprofundamento do lago. Domínios como Plataforma Mista de Margem Continental e Planície Carbonática não foram identificados na seção estudada. A aplicação de algoritmos não-supervisionados demonstrou ser uma ferramenta eficiente na classificação expedita dos principais elementos deposicionais, oferecendo suporte técnico relevante para a avaliação de sistemas petrolíferos, particularmente em cenários exploratórios com maior grau de incerteza.

Palavras-chave: Sismofácies; Algoritmos não-supervisionados; Atributos sísmicos

MAPA PREDITIVO DO BLOCO SÃO GABRIEL-RS, COM MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS

Gabriel Monaco

Escola Politécnica, USP, e-mail: monaco.geo@gmail.com

Mapeamentos são a base para o desenvolvimento do conhecimento geológico em uma determinada localidade. Apesar de indispensáveis, campanhas de mapeamento apresentam alta complexidade logística, demandando considerável tempo e investimento financeiro. Recentemente, metodologias baseadas em dados têm sido empregadas para potencializar resultados e otimizar recursos humanos e financeiros, como o uso de mapas preditivos com diferentes tipos de algoritmos de aprendizado de máquina. Neste trabalho, foi utilizada metodologia de mapas auto-organizáveis, rede neural não-supervisionada, para construção de um mapa preditivo do Bloco São Gabriel no Escudo Sul-riograndense. Este trabalho utilizou mapas auto-organizáveis, uma rede neural não supervisionada, com o objetivo de desenvolver um mapa preditivo para o Bloco São Gabriel, no Escudo Sul-riograndense. A seleção da área de estudo se justifica pela grande geodiversidade e complexidade geológica, estratigráfica e tectônica, além de ser amplamente mapeada pelo serviço geológico brasileiro (CPRM) em escala 1:100.000. Como dados de entrada, foram utilizados os dados geofísicos indiretos de espectrometria raio-gama de aerolevantamentos em escala 1:100.000, disponibilizados pela CPRM. Os dados de contagem total, equivalentes de tório e urânio, porcentagem de potássio e mapas das razões U/K, U/Th e Th/K foram interpolados pelo método IDW para gerar mapas geofísicos. Estes rasters foram empilhados junto do modelo digital de elevação para compor as feições de entrada da rede, com amostragem dos pixels. O método de mapas auto-organizáveis reduz a dimensionalidade dos dados buscando as similaridades entre as amostras no espaço n-dimensional. Utilizando, então, o método k-means para agrupar os dados, com número de *clusters* determinado pelo método Davies-Boudin. Os resultados obtidos com 11 *clusters* litológicos foram comparados com os mapas geológicos disponíveis, e o modelo preditivo foi capaz de traçar limites de diversas unidades já cartografadas. Além da grande semelhança entre mapa preditivo e os mapas da CPRM, houve um detalhamento de certas unidades geológicas que não estão cartografadas na escala dos dados (1:100.000), apenas quando mapeadas em escalas maiores. O mapa preditivo evidencia variações e contradições e também auxilia na definição de contatos geológicos e limites entre as folhas cartográficas. A similaridade com os mapeamentos geológicos do Bloco São Gabriel, bem como o detalhamento e as variações observados em certas unidades, demonstram o grande potencial da técnica de mapas auto-organizáveis. Ao utilizar metodologia não-supervisionada com dados densos, indiretos e disponíveis, é possível gerar produtos sofisticados com grande correlação com a geologia e com baixo custo. Portanto, trata-se de uma ferramenta de mapeamento essencial para otimizar a logística de campo em diversas etapas, demandando pouco tempo e poucos recursos humanos e financeiros. O uso dessas metodologias no início dos projetos auxilia no delineamento das principais unidades, variações e anomalias que devem ser verificadas *in loco*. São também especialmente úteis em mapeamentos de áreas remotas, de difícil acesso e/ou com poucas exposições de rocha, tornando o mapeamento mais assertivo e econômico.

Palavras-chave: Mapa Preditivo, Mapas Auto-organizáveis, Escudo Sul-riograndense.

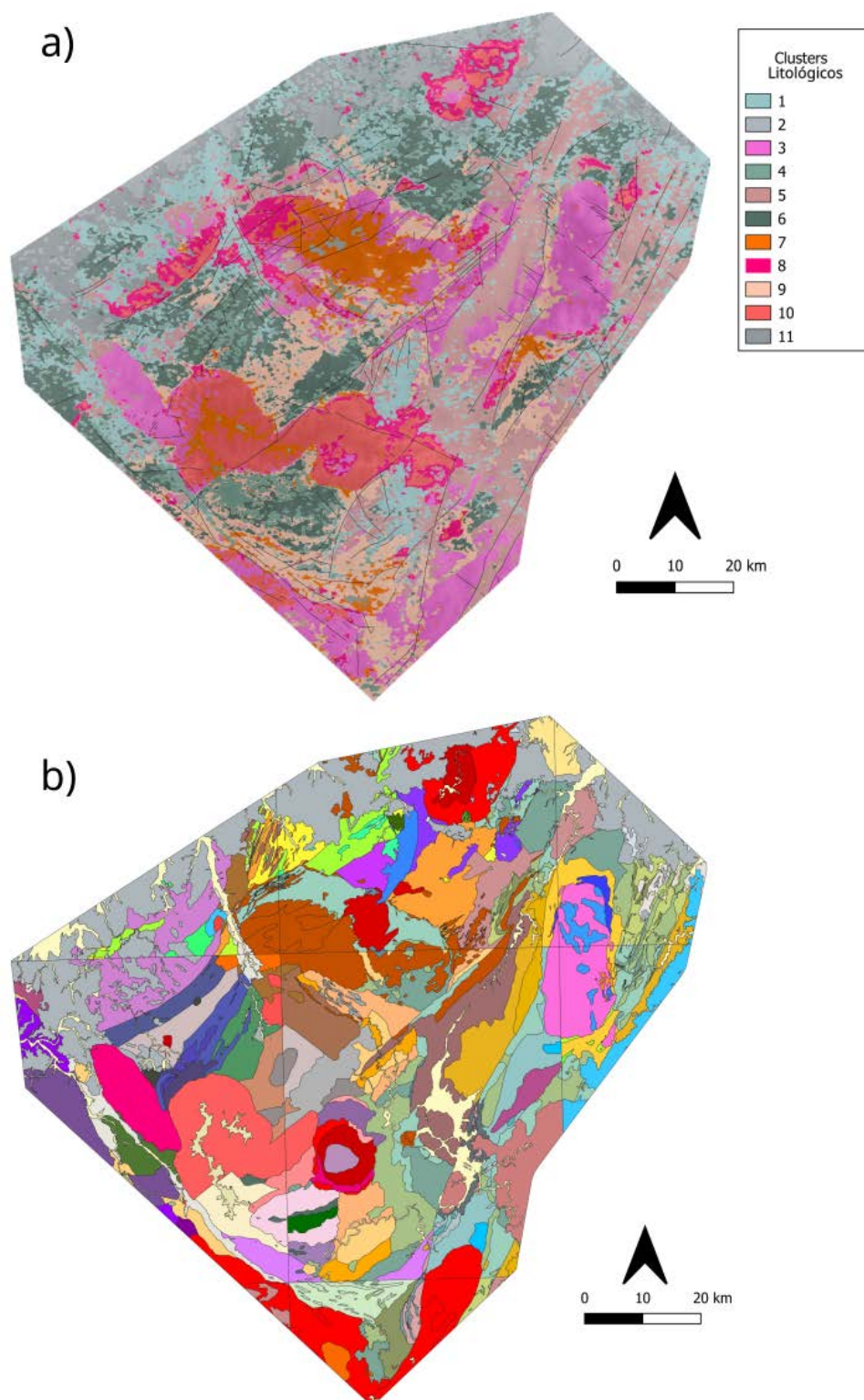


Figura 1: a) Mapa preditivo com 11 clusters litológicos. b) Mapa litoestratigráfico 1:100.000 da CPRM

APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE FOTOMICROGRAFIAS DE ROCHAS CARBONÁTICAS

Matos, G.B.B.¹, Michelin, C.R.L.², Jung, C.R.³, Bencke, L.R.³, Moreira, V.P.³

¹Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre - RS, Brasil, Gabriele.braatz@ufrgs.br

²Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre - RS, Brasil, Cassiana.michelin@ufrgs.br

³Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre - RS, Brasil

A análise petrográfica de rochas carbonáticas é fundamental para a caracterização de reservatórios em sistemas petrolíferos. No entanto, este processo tradicionalmente depende de observação e interpretação humanas, sendo intensivo em tempo, sujeito à subjetividade e difícil de escalar frente à crescente quantidade de dados gerados por lâminas petrográficas digitalizadas. Com o avanço das tecnologias de inteligência artificial (IA) e visão computacional, surge a possibilidade de automatizar parcialmente essas interpretações, promovendo agilidade e padronização. Este projeto investiga a aplicação de modelos multimodais de IA, com destaque para o modelo CLIP (Contrastive Language–Image Pre-training), na geração automatizada de descrições petrográficas a partir de fotomicrografias de rochas carbonáticas. A base utilizada inclui cerca de mais de 1.500 imagens de lâminas delgadas provenientes do banco Prolab (Petrobras), acompanhadas de descrições petrográficas previamente elaboradas por geólogos. A metodologia adotada consiste na segmentação semântica dessas descrições em três categorias essenciais: textura (e.g., arranjo de grãos, presença de matriz ou fosséis), porosidade (e.g., intergranular, moldica, poros de fratura) e diagênese (e.g., cimentação calcítica, recristalização, dolomitização). Com base nessas categorias, realiza-se o treinamento supervisionado do modelo, buscando refinar sua capacidade de correlacionar atributos visuais com interpretações geológicas confiáveis. Adicionalmente, o processo de validação das respostas é realizado por comparação direta com interpretações petrográficas manuais, respeitando as classificações adotadas pela Petrobras e literatura especializada. Resultados preliminares obtidos antes desse refinamento indicaram que o modelo já era capaz de captar padrões visuais mais amplos nas fotomicrografias, como a predominância de grãos versus matriz ou a granulação da rocha. Contudo, ainda foram observadas inconsistências interpretativas, como confusões entre tipos específicos de porosidade e diagnósticos imprecisos de fases diagenéticas. A proposta do trabalho é, portanto, aprimorar a capacidade do modelo por meio do treinamento com dados validados, de modo que ele aprenda a realizar uma leitura geologicamente coerente e adaptável a diferentes fotomicrografias. Espera-se, ao final, obter um sistema capaz de gerar descrições petrográficas com grau elevado de acurácia, permitindo sua aplicação na caracterização automatizada de seções delgadas, especialmente em ambientes carbonáticos de alta heterogeneidade textural e diagenética. Além disso, busca-se contribuir para o avanço metodológico da petrografia digital, otimizando a integração entre análise automatizada e validação geológica especializada, com impactos diretos na eficiência operacional e tomada de decisão na indústria de óleo e gás.

Palavras-chave: Inteligência Artificial, Petrografia, Fotomicrografias.



SESSÃO TEMÁTICA 05

GEOESTATÍSTICA, MODELAGEM E SIMULAÇÃO

COORDENADORES:
Ana Paula Soares
Holden Robson Amorim

MODELAGEM 1D DE DISPERSÃO DE CALOR POR CONDUÇÃO EM MÚLTIPLAS SOLEIRAS – ESTUDO DE CASO NA BACIA DO PARANÁ

Giovani Matte Cioccarì¹, Marcelo Schramm¹

¹Centro de Engenharias – UFPEL, e-mail: giovani.cioccari@ufpel.edu.br

As soleiras ígneas têm papel fundamental para geração de hidrocarbonetos em rochas geradoras de bacias sedimentares que não alcançaram a geração por soterramento. Nas bacias intraplaca brasileiras é fundamental o estudo do impacto da dispersão de calor proveniente de soleiras ígneas nas rochas geradoras, uma vez que as reservas exploradas atualmente nas bacias do Solimões, Amazonas e Parnaíba são provenientes deste tipo de efeito térmico. A modelagem 1D de dispersão de calor por condução é uma técnica importante no entendimento de como o calor proveniente da intrusão ígnea afeta termicamente a rocha geradora, caracterizando os intervalos de rocha em que podem ter gerado óleo e/ou gás, sendo uma importante ferramenta para quantificando dos volumes de hidrocarbonetos gerados. O objetivo deste trabalho é aplicar a modelagem em 1D para dispersão de calor por condução proveniente de múltiplas soleiras na Bacia do Paraná, quantificando a auréola de contato gerada. Utilizou-se para controle da transferência unidimensional de calor, as equações de difusão térmica que governam as variações de temperatura (T), no tempo (t) e no espaço (Z), considerando o calor latente consumido pelas reações de devolatilização (desidratação e decarbonatação) e evaporação da água do poro. A solução numérica da equação de transferência de calor foi resolvida em linguagem Python, considerando os mecanismos intrusão instantânea e tempo finito, e utilizando o método de diferenças finitas para solução numérica. A simulação numérica foi simplificada e realizada com algumas suposições relativas a parâmetros físicos e geológicos, tais como: (1) a única forma de transferência de calor considerada no modelo foi por condução; (2) a geometria e a posição das soleiras ígneas são regulares; (3) as únicas fontes de calor consideradas são a temperatura do magma e da rocha hospedeira durante a intrusão; (4) a litologia da rocha hospedeira é assumida como homogênea; (5) o paleogradiente geotérmico da bacia foi constante ao longo do processo, uma vez que o resfriamento é assumido “rápido” do ponto de vista geológico. Para calibragem das temperaturas e dimensionamento da auréola de contato foram utilizados parâmetros de índice de coloração de esporos. Os dados de poço e parâmetros petrofísicos para abastecer o modelo e para calibragem térmica foram obtidos na literatura. Os resultados mostram que quanto mais espessa a intrusão ígnea, maior será o tempo necessário para resfriamento total da soleira, consequentemente influenciando no tamanho da auréola de contato e no tempo em que a rocha geradora ficará exposta as condições térmicas impostas. As simulações numéricas mostraram que os parâmetros orgânicos de calibragem térmica são essenciais para o exato dimensionamento da auréola de contato e do dimensionamento do tempo de dispersão de calor, sem os mesmos o controle sobre real influência térmica da soleira torna-se desafiador e impreciso. As modelagens demonstram que o intervalo de rocha afetada termicamente, e correspondente a auréola de contato, possui tamanho entre 1 e 2 vezes a espessura da soleira ígnea tanto acima quanto abaixo, aumentando em até 30% o tamanho da auréola em intervalos de rochas com múltiplas soleiras ígneas. A técnica de modelagem unidimensional mostrou-se eficiente para determinar a auréola de contato decorrente da dispersão de calor de corpos ígneos, bem como definir o tamanho e volume de rocha geradora dentro da janela de óleo e de gás.

Palavras-chave: Bacia do Paraná, Soleiras, Modelagem 1D.

SISTEMÁTICA BASEADA EM *GEOESPATIAL DATA CUBES* PARA MODELAGEM PREDITIVA DE SUBSUPERFÍCIE

Cleyton de Carvalho Carneiro¹; Rodrigo César Teixeira de Gouvêa²; Isabela de Oliveira Carmo³; Fernanda Silva Lourenço⁴; Gabriel do Nascimento Freitas⁵; Gabriel Monaco Ribeiro da Silva⁶; Ivan Silva Carvalho⁷

¹Escola Politécnica, USP, e-mail: cleytoncarneiro@usp.br

²Escola Politécnica, USP, e-mail: rodrigoctgouvea@usp.br

³Petrobras, e-mail: icarmo@petrobras.com.br

⁴Petrobras, e-mail: fernandalourenco@petrobras.com.br

⁵Petrobras, e-mail: gabrielnf@petrobras.com.br

⁶Escola Politécnica, USP, e-mail: monaco.geo@gmail.com

⁷Escola Politécnica, USP, e-mail: ivan_carvalho@usp.br

A modelagem de subsuperfície impõe desafios significativos à integração de dados, decorrentes de suas particularidades espaciais, temporais ou da própria natureza dos dados. Nesse contexto, os *Geoespatial Data Cubes* (GDC) emergem como uma abordagem estruturada para organização e análise dos dados, utilizando células regulares e/ou irregulares para representar volumes de informação georreferenciada (Figura 1). Com isso, GDC permitem a assimilação de incertezas e vieses amostrais espaciais na integração de múltiplas variáveis geológicas e estruturais em diferentes escalas. Na modelagem de bacias sedimentares, por exemplo, os GDC favorecem a convergência entre dados com diferentes distribuições espaciais. Assim, é possível integrar em um GDC, com ganhos em resolução e eficácia, dados com distribuições densas e homogêneas, como a sísmica 3D, e dados com distribuições espaciais esparsas e heterogêneas, como aqueles obtidos por perfilagem de poços. Além da capacidade de integração, os GDC promovem a reprodutibilidade e a rastreabilidade das etapas de processamento e modelagem, estabelecendo uma base sistemática para o desenvolvimento de modelos preditivos. Esta pesquisa propõe o desenvolvimento de uma sistemática de GDC voltada ao aprimoramento de tarefas de aprendizado de máquina em modelagens geológicas 2D e 3D, com ênfase na preservação da representatividade amostral e da complexidade estatística e geológica das variáveis envolvidas. O projeto contempla a construção de uma sistemática multiescala de discretização espacial, o uso de técnicas geoestatísticas para análise e mitigação de incertezas, e a integração com algoritmos supervisionados e não supervisionados de aprendizado de máquina. Os dados utilizados incluem desde perfis elétricos e geofísicos convencionais até perfis especiais e volumes de sísmica 3D. Modelos mineralógicos e de outros fenômenos de interesse, desenvolvidos em escala de poço, constituem a base de partida para interpolações e extrapolações em todo o GDC. Estas etapas partem de avaliações geoestatísticas entre os dados sísmicos e de poços e chegam aos consequentes desenvolvimentos envolvendo aprendizado de máquina. Os resultados parciais incluem uma sistemática desenvolvida em Python, com funcionalidades para a construção de bases de dados multiescalares, n-dimensionais e integrativas, incluindo módulos interativos de visualização e edição de dados via biblioteca *Streamlit*. Os próximos passos envolvem a aplicação do GDC em modelos preditivos para tarefas de classificação, imputação e extrapolação de dados, com foco na geração de perfis sintéticos e na modelagem de fenômenos geológicos. A abordagem proposta demonstra potencial para aplicações em setores estratégicos como exploração mineral, petróleo e gás, bem como tecnologias emergentes voltadas ao armazenamento geológico de carbono.

Palavras-chave: *Geoespacial Data Cubes*, Aprendizado de máquina, Geoestatística.

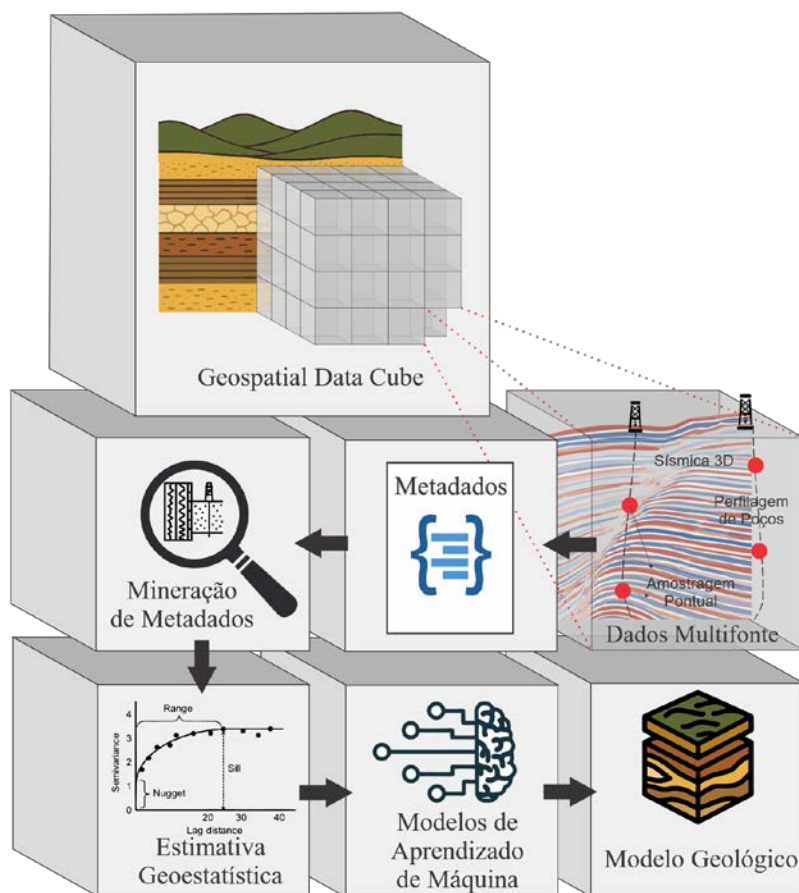


Figura 1: Fluxograma metodológico do *Geospatial Data Cube* (GDC), destacando as etapas de integração de dados multifonte, padronização e organização de metadados, mineração de metadados para seleção de dados, modelagem geoestatística, acoplamento com algoritmos de aprendizado de máquina e modelagem geológica.

ESTUDOS DE MALHAS PARA UMA CLASSIFICAÇÃO CONFIÁVEL DE RECURSOS MINERAIS

Joao P. G. Lague¹, Orlando Rojas², Sergio Salinas³, Rocio Faúndez⁴, Talita C. de O. Ferreira⁵

¹Geoestima, e-mail: joao.lague@geoestima.cl

²Geoestima, e-mail: orlando.rojas@geoestima.cl

³Geoestima, e-mail: sergio.salinas@geoestima.cl

⁴Geoestima, e-mail: rocio.faundez@geoestima.cl

⁵Geoestima, e-mail: talita.ferreira@geoestima.cl

Os modelos de Recursos Minerais são construídos com base em informações limitadas em relação ao volume modelado. Por isso, é necessário atribuir a cada bloco estimado uma categoria que reflita o nível de confiança ou incerteza. Essas categorias — Medidos, Indicados e Inferidos — variam do maior ao menor grau de certeza e são definidas com base na qualidade, quantidade e distribuição dos dados, além da natureza do depósito, que influencia a variabilidade geológica e de teores. Na prática, diversas técnicas são utilizadas para quantificar essa incerteza. As mais comuns são métodos geométricos baseados no espaçamento entre sondagens e na vizinhança de busca do estimador. Outra técnica bastante aplicada é a variância de krigagem, que estima a incerteza a partir da minimização da variância do erro. Embora populares, essas abordagens apresentam limitações, como a incapacidade de representar adequadamente a continuidade espacial dos dados ou incorporar a variabilidade geológica e os efeitos de corte econômico. Nesse contexto, destacam-se as simulações estocásticas como uma ferramenta capaz de quantificar a incerteza de forma robusta, ao reproduzir fielmente o modelo de variabilidade espacial e a distribuição do fenômeno, independentemente da configuração dos dados. Estudos de malhas baseados em simulações permitem investigar quantitativamente a relação entre espaçamento amostral e incerteza, por meio da construção de malhas fictícias com diferentes espaçamentos regulares. O processo (Figura1) envolve simular inicialmente a geologia e os teores com as sondagens disponíveis, começando pela modelagem dos contatos geológicos e posterior cálculo das probabilidades de pertencimento de cada bloco aos domínios mineralizados. A simulação dos teores é então realizada nos blocos com probabilidade maior que zero, refletindo assim a variabilidade geológica. Essas simulações geram diferentes cenários da realidade. Para comparar o impacto do espaçamento amostral, são criadas malhas fictícias regulares e amostradas com uma realização representativa do modelo. Geologia e teores são ressimulados para cada malha, mantendo os modelos variográficos. Como resultado, obtêm-se 100 cenários equiprováveis para diferentes litotipos e teores. Observa-se que a redução da densidade amostral gera modelos mais distantes da realidade, com menor nível de detalhe e maior variabilidade. A incerteza é avaliada em volumes representativos da produção (anuais e trimestrais), calculando-se o erro das realizações em relação à média das simulações. A condição adotada é um erro de até 15% com 90% de confiança. Os resultados mostram que a malha 100x100m cumpre esse critério para painéis anuais, enquanto a 150x150m falha em mais de 25% dos casos. Para recursos indicados, recomenda-se uma malha intermediária. Para recursos medidos (painéis trimestrais), a malha 100x100m já não atende à condição, sendo necessário um espaçamento de 80x80m. Assim, o estudo de malhas permite quantificar a incerteza geológica e estatística, contribuindo para uma classificação de recursos mais confiável.

Palavras-chave: Análise de incerteza; Simulações condicionais; Classificação de Recursos

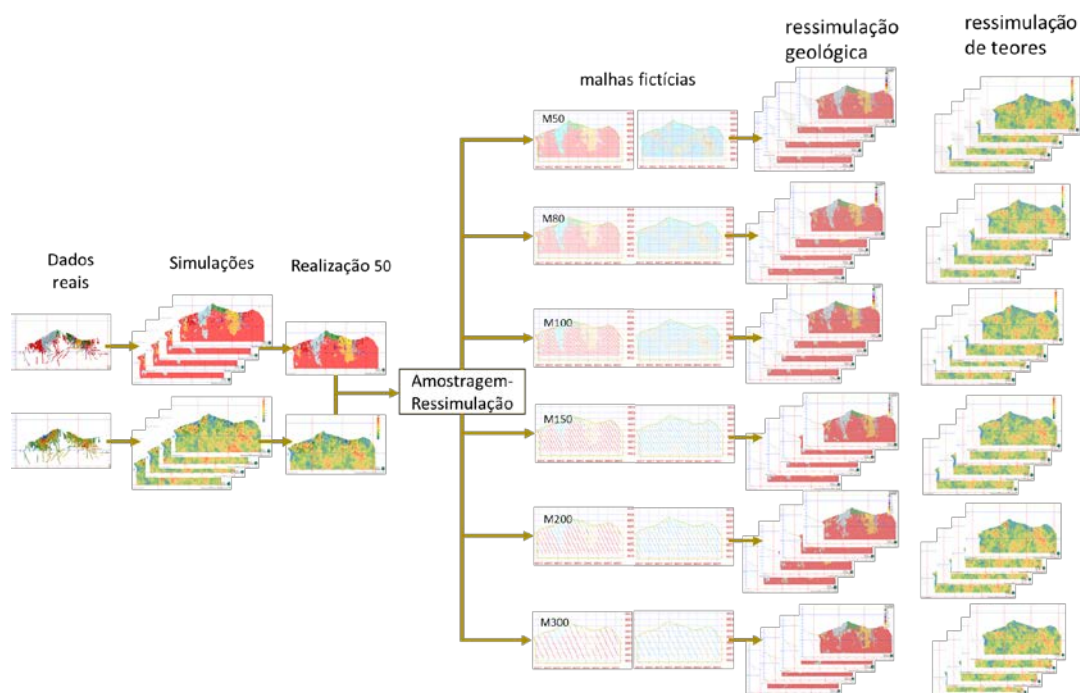


Figura 1: Fluxo de trabalho de estudos de malhas a partir de simulações da geologia e dos teores envolvidos.

POR QUE NÃO USAMOS MÉTODOS NÃO LINEARES?

Orlando Rojas¹, Rodrigo Barra², Javier Olivares³, Rocío Faúndez⁴, Sergio Salinas⁵, João P. G. Lague⁶, Talita C. de O. Ferreira⁷

GeoEstima, e-mail: ¹orlando.rojas@geoestima.cl, ²rodrigo.barra@geoestima.cl, ³javier.olivares@geoestima.cl, ⁴rocio.faundez@geoestima.cl, ⁵sergio.salinas@geoestima.cl, ⁶joao.lague@geoestima.cl, ⁷talita.ferreira@geoestima.cl

O uso de ferramentas geoestatísticas na estimativa de recursos minerais é amplamente difundido na indústria, com os métodos de krigagem ordinária (OK) e do inverso da distância representando mais de 90% das abordagens empregadas. Ambos constituem técnicas de interpolação linear, sendo a krigagem ordinária reconhecida como o melhor estimador linear não viesado. Embora a OK proporcione estimativas globais não viesadas sob teor de corte zero, sua aplicação em teores de corte superiores pode comprometer a acurácia, devido à tendência de suavização dos valores estimados, o que limita sua eficácia em contextos mais complexos. A OK baseia-se em uma média ponderada que minimiza a variância do erro de estimativa, exigindo a consideração do efeito volume-variância entre amostras pontuais e blocos estimados. Na prática, os modelos resultantes frequentemente superestimam a proporção de blocos de baixo teor e subestimam os de alto teor. Esse viés se reflete nas curvas teor-tonelagem, comprometendo a assertividade dos resultados. Como consequência, pode haver distorções na movimentação de material, com aumento artificial dos custos de lavra e beneficiamento. Além disso, em cenários com teores de corte elevados, o modelo pode subestimar volumes economicamente relevantes de alto teor, impactando negativamente a viabilidade do projeto. Essas questões estão se tornando cada vez mais relevantes, dado que atualmente se exige maior precisão nas estimativas devido aos desafios financeiros dos projetos. Os métodos não-lineares permitem lidar com essas particularidades. Para fins de comparação, realizou-se a estimativa utilizando vários métodos lineares e não lineares, incluindo OK, MIK (Multiple Indicator Kriging), LUC (Localized Uniform Conditioning) e simulação em um domínio de teor de ouro caracterizado por uma distribuição de teores altamente assimétrica, conforme refletido em um coeficiente de variação elevado ($CV=14$). Variáveis com esse tipo de distribuição tendem a produzir estimativas suavizadas quando se usa um interpolador linear. Desenvolveu-se um estudo de caso para uma distribuição de teor altamente assimétrica para a direita, com o modelo discreto gaussiano (DGM) como referência. Os resultados da OK apresenta-se muito suave, mas, em contrapartida, a CS e o LUC se ajustam com precisão à curva teórica de teor-tonelagem. Nesse exemplo, o MIK tem um desempenho melhor do que OK, mas não atinge o DGM. Os métodos não lineares também apresentam algumas complexidades, como a seleção de indicadores, especialmente na cauda superior da distribuição, a modelagem de muitos variogramas e possíveis problemas de relação de ordem, no caso do MIK. No caso do LUC, a escolha do painel, do SMU e de diferentes parâmetros, pode variar os resultados. A adoção desses métodos, embora demande maior esforço e tempo de implementação, não constitui barreira intransponível. Atualmente, há um amplo acesso ao conhecimento técnico, bem como uma variedade de softwares especializados. O treinamento adequado é essencial não apenas para superar o paradigma da dependência exclusiva da krigagem como estimador único, mas, sobretudo, para compreender os benefícios associados à utilização dessas ferramentas na otimização das estimativas, no aumento da previsibilidade dos modelos e, consequentemente, no aprimoramento da base de informações que subsidiam decisões críticas nas operações. Recomenda-se o uso de métodos não lineares nas seguintes situações: quando a OK resulta em curvas teor-tonelagem excessivamente suavizadas; quando há limitação na quantidade de dados disponíveis; e no caso de variáveis com alta variabilidade.

Palavras-chave: não-linear, LUC, MIK.

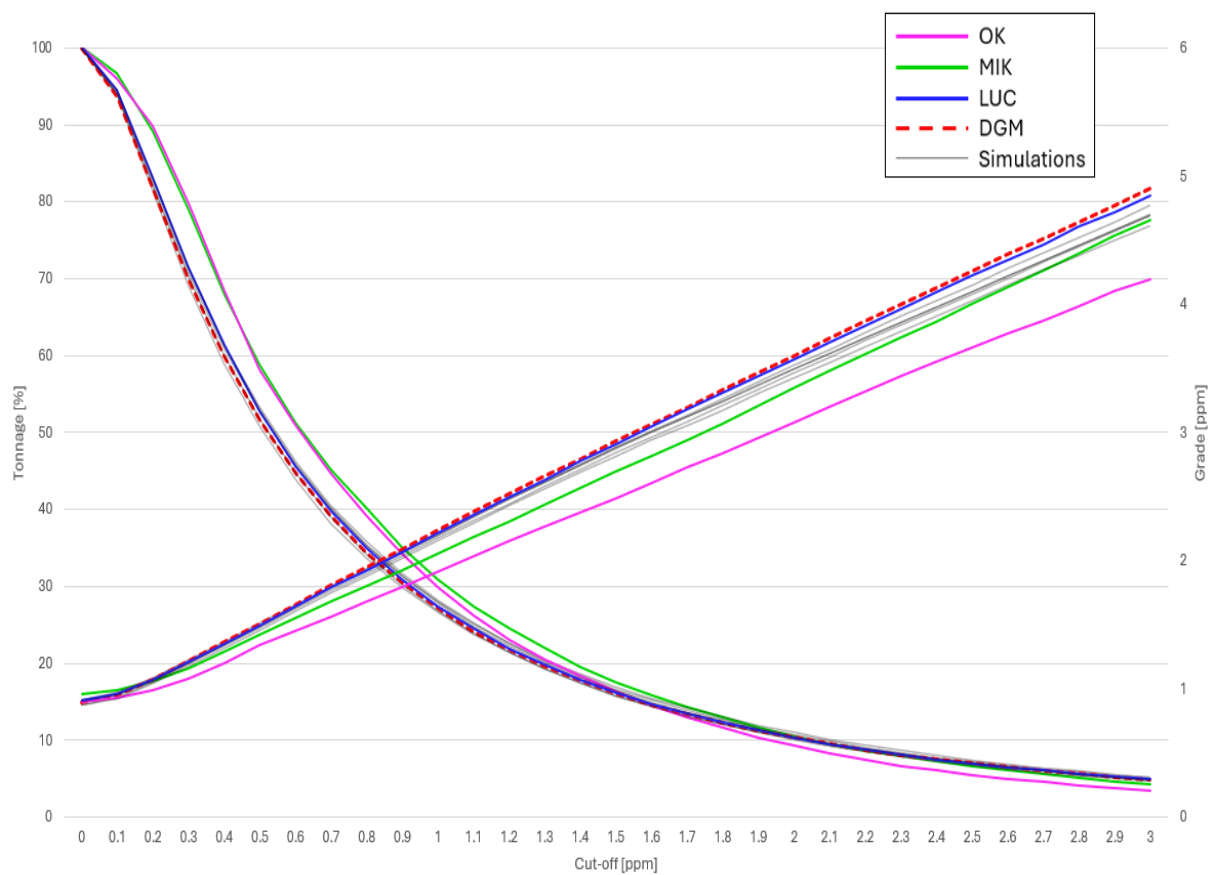


Figura 1: Curva teor-tonelagem para diferentes métodos de estimativa linear e não-linear.

O IMPACTO DA VARIAÇÃO DA ESPESSURA LITOSFÉRICA SOBRE A ARQUITETURA DE MARGENS CONTINENTAIS CONJUGADAS: UMA ABORDAGEM NUMÉRICA

Gustavo Gosling¹, Victor Sacek¹

¹Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - Universidade de São Paulo, gustavogosling@usp.br

A dinâmica da tectônica global ocorre na escala de dezenas de milhões de anos, dificultando a utilização de modelos físicos para o estudo desse fenômeno, portanto, é imperativa a utilização de modelos computacionais para o entendimento de processos geodinâmicos. Efeitos erosivos podem ser incorporados na interface ar-crosta nestes modelos para avaliar efeitos de compensação isostática referentes ao remanejo de material superficial, uma vez que a produção e transporte de sedimentos tem ligação com a dinâmica tectônica regional. Um tópico menos explorado é o efeito que a retirada de material litosférico pode ter sobre a evolução de paisagens e arquitetura de margens continentais, uma vez que a retirada de material da porção em regime dúctil pode afetar o campo de esforços durante o momento de quebra continental. Neste trabalho utilizamos um código numérico bidimensional de solução de equações termomecânicas para gerar cenários de estiramento litosférico e avaliar a duração do período sinrifte e a extensão das margens continentais sob diferentes espessuras litosféricas e crustais. Aqui mostramos que as simulações numéricas com sucessiva retirada de material da base da litosfera acarreta em margens continentais mais estiradas. Uma litosfera mais afinada possui um maior gradiente térmico, sendo relativamente mais quente e consequentemente mais dúctil, prolongando o período sinrifte. Complementarmente, o espessamento da porção crustal gera estiramento das margens continentais. Por ser uma porção em regime de deformação predominantemente rúptil, o espessamento da crosta faz com que as deformações sejam mais distribuídas espacialmente e atrasem a nucleação e ativação de zonas de fraqueza estrutural. Por fim, apresentamos resultados que mostram que uma diminuição na espessura da litosfera em 40 km e aumento na crosta em 5 km podem acrescentar 500 km de extensão nas margens conjugadas. Essas alterações de espessuras da litosfera serão utilizadas em trabalhos futuros, junto de diferentes velocidades de estiramento litosférico e vínculos geofísicos de espessura crustal, para gerar cenários que espelham margens continentais conjugadas do Atlântico Sul.

Palavras-chaves: Geodinâmica Modelagem Estiramento

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE ESTILOS TECTÔNICOS EM PLANETAS ROCHOSOS

Pedro E. Pinheiro¹, Victor Sacek²

¹Universidade de São Paulo, e-mail: pedropinheiro@usp.br

²Universidade de São Paulo, e-mail: sacek@usp.br

A estrutura interna dos planetas rochosos é composta por camadas geológicas de diferentes reologias. A composição, temperatura e viscosidade do meio impactam o comportamento deformacional da rocha. Processos eficientes de transferência de calor e transporte de massa como a convecção acontecem na astenosfera pela sua reologia dúctil de baixa viscosidade. Por outro lado, a baixa temperatura torna a litosfera viscosa e rígida. Desta maneira, a dinâmica do manto superior de diversos corpos rochosos do Sistema Solar é regida por um sistema de convecção astenosférica sob uma litosfera viscosa e estagnada, conhecido como o regime de “tampa estagnada”. A Terra é um caso particular onde uma combinação de fatores muito restrita permite o fenômeno da tectônica de placas, no qual a litosfera é fragmentada e mobilizada com subducções no manto astenosférico enquanto nova litosfera é formada por magmatismo. Para analisar as condições físicas e reológicas que contribuem ao desenvolvimento de diferentes estilos tectônicos, este trabalho tem por objetivo realizar simulações numéricas dos regimes de tectônica de placas, tampa estagnada e outras possibilidades de transição desses sistemas dinâmicos. O modelo numérico Mantle Dynamics Simulator Code, desenvolvido no Departamento de Geofísica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, foi utilizado para reproduzir a dinâmica e evolução térmica do manto superior. As simulações registram a evolução do campo de temperatura, viscosidade, velocidades e deformação do cenário numérico. Propriedades reológicas de olivina hidratada provenientes de experimentos laboratoriais foram aplicados em modelos de reologia visco-plástica do manto. Com isso, os estilos tectônicos de tampa estagnada, tectônica de placas e cenários de transição foram reproduzidos numericamente. Nas simulações foram observados aspectos condizentes com a dinâmica interna de planetas rochosos, como a convecção astenosférica, subducção e formação de placas litosféricas. A variação de parâmetros reológicos de resistência da litosfera e viscosidade do modelo foram fatores determinantes na evolução dos diferentes estilos tectônicos. [Processo nº 2024/03399-6 Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)]

Palavras-chave: modelagem, subducção, convecção.

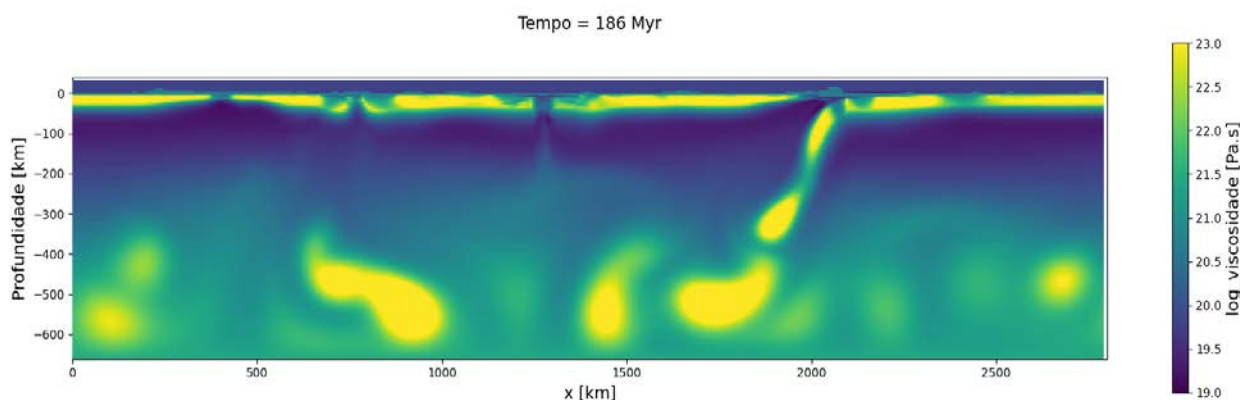


Figura 1: Campo de viscosidade de um cenário de tectônica de placas a 186 milhões de anos de simulação. Contraste de viscosidade entre astenosfera em tons de azul e litosfera em amarelo, com eventos de separação de placas litosféricas e subducção.

MODELAGEM GEOMORFOMÉTRICA DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS NAS MONTANHAS DA SERRA DA PRATA (PARANÁ)

Ricardo Michael Pinheiro Silveira¹, Claudinei Taborda da Silveira², Lucas de Oliveira Gonçalves²

¹Universidade Federal do Paraná, ricardomichael@ufpr.br

²Universidade Federal do Paraná, claudineits@ufpr.br

³Universidade Federal do Paraná, lucasogonves@gmail.com

A parametrização geomorfométrica dos movimentos de massa subsidia análises quantitativas essenciais para a compreensão da influência geomorfológica na deflagração dos processos sob condições de saturação hídrica. A aplicação da modelagem digital do relevo vem se popularizando como recurso aos mapeamentos de suscetibilidade devido à disponibilidade crescente de modelos com distintas resoluções espaciais, o que demanda atenção aos geocientistas em relação ao rigor teórico-metodológico empregado nas etapas operacionais. Nesse sentido, o presente trabalho objetivou modelar a suscetibilidade a deslizamentos translacionais a partir de atributos geomorfométricos derivados de Modelo Digital do Terreno (MDT) que foram fuzzificados com base nas estatísticas de inventário de cicatrizes do processo. A lógica fuzzy tem potencial de aplicação na modelagem geomorfológica por considerar os problemas de delimitação subjetiva em áreas de transição, característicos dos modelos booleanos com níveis de suscetibilidade discretizados. O inventário de cicatrizes de deslizamentos foi mapeado com base em imagem WorldView-1, tendo como referência o desastre de 11/03/2011, caracterizado como um conjunto de escorregamentos simultâneos, predominantemente translacionais, deflagrado por um elevado volume de chuva de 241,8 mm em 24 h. O maior número de processos morfodinâmicos foi registrado na Serra da Prata, entre os municípios de Morretes e Paranaguá. O MDT foi interpolado a partir de dados vetoriais (pontos cotados, curvas de nível e hidrografia) de uma base na escala 1:25.000, pelo método Topogrid, adotando-se o tamanho de célula de 20 metros. A partir do MDT, foram calculados os seguintes atributos geomorfométricos no QGIS 3.34: declividade, amplitude altimétrica, índice de posição topográfica, plano e perfil de curvatura e índice topográfico de umidade. Cada atributo geomorfométrico foi quantificado (estatísticas zonais) em relação às cicatrizes dos deslizamentos de março de 2011, com uso da lógica fuzzy para combinar as variáveis e assim estabelecer modelos da suscetibilidade. Do total de cicatrizes inventariadas, 75% foram utilizadas como referência para as estatísticas e parametrização e 25% foram reservadas para a validação dos modelos gerados. A etapa de fuzzificação dos atributos geomorfométricos, no qual 1 indica o grau de pertinência máximo e 0 indica o mínimo, foi determinada de acordo com as curvas de distribuição dos dados nos histogramas de frequência e critérios estatísticos, como média, quartis e desvio padrão. Para a avaliação dos modelos gerados, propôs-se, adicionalmente, o denominado o Índice de Superestimação (IS). Trata-se de uma divisão para quantificar a proporcionalidade entre a média dos valores fuzzy externos às áreas de validação e a média dos valores fuzzy nas áreas de validação. Dentre os operadores fuzzy, o product (multiplicação) obteve os melhores resultados na integração dos atributos geomorfométricos fuzzificados, com predição superior a 80% e baixa superestimação. A caracterização quantitativa dos deslizamentos, contemplando dados sobre a deflagração, ocorrências e recorrências do processo, emerge como aspecto elementar para a modelagem de cenários de suscetibilidade, vulnerabilidade e risco a movimentos de massa.

Palavras-chave: Modelo Digital do Terreno, Escorregamentos, Movimentos de massa.

COMPARAÇÃO ENTRE MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS E K-MEANS NA MODELAGEM E ESTIMATIVA DE DOMÍNIOS DE TEORES EM DEPÓSITOS DE FERRO

Ivan Silva Carvalho^{1,2}, Marcelo Monteiro da Rocha², Cleyton de Carvalho Carneiro^{1,3}

^{1,2} iNtra USP, Universidade de São Paulo, e-mail: ivan_carvalho@usp.br

² Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, e-mail: mmrocha@usp.br

³ Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, e-mail: cleytoncarneiro@usp.br

A quantificação de recursos minerais é fundamental em todas as etapas de um empreendimento de mineração, o que exige métodos que garantam precisão e eficiência na definição de domínios de estimativa. Dentre os algoritmos de agrupamento disponíveis, o *K-means* e os Mapas Auto-Organizáveis (SOM, do inglês *Self-Organized Maps*) demonstram-se como ferramentas muito úteis em aplicações relacionadas às Geociências. A avaliação quanto à efetividade destes algoritmos, no entanto, envolve tanto a variabilidade estatística quanto a preservação da continuidade espacial. Este trabalho visa avaliar os algoritmos *K-means* e SOM em termos da variabilidade estatística e espacial. Os algoritmos foram aplicados em dados provenientes de um depósito de ferro do Quadrilátero Ferrífero, utilizando um banco de dados com 9.502 amostras compostas por 5 variáveis geoquímicas (Fe (%), Si (%), Al (%), Mn (%) e P (%)) e a variável analisada de Perda ao Fogo (LoI (%)). O índice Davies-Bouldin indicou a divisão ótima dos dados relacionados ao depósito em três domínios, posteriormente classificados como, minério rico, minério pobre e rejeito, classificação possível de ser feita consistentemente entre ambos os algoritmos. O *K-means*, implementado via *scikit-learn*, destacou-se pela menor variabilidade estatística e maior teor médio de Fe (%). Já o SOM, executado com a biblioteca IntraSOM, demonstrou superioridade na geração de domínios *Quasi*-estacionários, evidenciada por variogramas experimentais mais estruturados e valores elevados de validação cruzada, refletindo maior qualidade nas estimativas. Ambos os métodos reduziram subjetividades na definição de domínios, com resultados estatisticamente coerentes e semelhantes àqueles obtidos através das práticas manuais, embora o modelo gerado por SOM tenha gerado domínios menores e maior detalhamento espacial. A combinação de eficiência computacional, reprodutibilidade e aderência às características geoestatísticas do depósito reforça a efetividade de uso de técnicas automatizadas como *K-means* e SOM para apoio à quantificação de recursos minerais, oferecendo alternativas eficientes à tradicional compartimentação manual. A convergência entre os resultados automatizados e manuais sugere que essas abordagens não são apenas complementares, mas também capazes de aperfeiçoar processos críticos na indústria mineral, como a estimativa de teores e a classificação de recursos minerais dos blocos estimados, sem comprometer a confiabilidade das informações geradas.

Palavras-chave: Domínios de Estimativa, Mapas Auto-Organizáveis, Análise estatística multivariada.

GEOLOGIA DOS COSTÕES ROCHOSOS DA PRAIA BRAVA- RJ A PARTIR DA INTEGRAÇÃO DE DADOS DE CAMPO E FOTOGRAMETRIA DIGITAL

Carolina Nunes Gonçalves Dias¹, Francisco Manoel Wohnrath Tognoli^{1,2}, Renata da Silva Schmitt¹, Leonardo Campos Inocêncio^{2,3}, Thayla Almeida Teixeira Vieira⁴, Angela Maria Teixeira de Oliveira Vieira¹

¹Centro Digital de Geoprocessamento do Gondwana (CDGG | UFRJ), e-mail: caroldias@geologia.ufrj.br, schmitt@geologia.ufrj.br, angela@geologia.ufrj.br

²Laboratório de Geologia Quantitativa (QG Lab | UFRJ), e-mail: franciscotognoli@igeo.ufrj.br

³Universidade do Estado do Rio de Janeiro, e-mail: leonardo.inocencio@uerj.br

⁴Universidade de São Paulo, e-mail: thaylalmeida@gmail.com

Na região costeira de Cabo Frio, no estado do Rio de Janeiro, afloram os costões rochosos da Praia Brava, formados por ortognaisses paleoproterozóicos (Complexo Região dos Lagos) e paragnaisses ediacaranos (Grupo Búzios Palmital) tectonicamente intercalados, com mais de três fases de deformação. Ambas as unidades litoestratigráficas estão inseridas no Domínio Tectônico Cabo Frio (DTCF), foram deformadas e metamorizadas durante a Orogenia Búzios (530 a 490 Ma), sob fácies anfibolito a granulito, gerando estruturas deformacionais dúcteis e intensa migmatização. Nesse contexto, foi realizado um levantamento fotogramétrico em um afloramento-chave com orientação NW-SE de 60 m de extensão e 25 m de altura, utilizando-se um veículo aéreo não-tripulado (VANT), para aquisição de dados e geração de um Modelo Digital de Afloramento (MDA), por meio da técnica *Structure from Motion - Multi-View Stereo* (SfM-MVS). MDAs são representações geológicas tridimensionais, de alta resolução espacial e posicional, de superfícies geológicas expostas que permitem a visualização 3D dos corpos rochosos e auxilia na resolução de problemas geológicos complexos. Este trabalho consiste na caracterização estrutural dos costões rochosos da Praia Brava, por meio da integração de dados de campo com as interpretações do MDA, a fim de obter um melhor entendimento da relação tectônica entre o embasamento paleoproterozóico e as rochas supracrustais ediacaranas. A metodologia adotada inclui: mapeamento geológico na escala 1:200, levantamento fotogramétrico com veículo aéreo não-tripulado (VANT), geração de produtos diversos, como nuvem de pontos esparsa e densa, ortofotomosaico, modelo digital de superfície e MDA, interpretação do ortofotomosaico e análise integrada de dados geológicos com o MDA. A partir do processamento de 258 fotografias, foi gerado um MDA de 5 mm de resolução, permitindo uma visualização de maior detalhe de fraturas, foliações e dobras nos diferentes litotipos mapeados, sendo eles: i) ortognaisse granítico deformado com porções porfiriticas e, localmente, com boudins de ortoanfibolito maciço rotacionados; ii) zona migmatítica, caracterizada por veios leucossomáticos e boudins de ortoanfibolito maciço; iii) anfibolito bandado, marcado por uma zona de alto strain subvertical, evidência de migmatização e presença de fragmentos de boudins de ortoanfibolito maciço; iv) camada de rocha calcissilicática dobrada dentro do anfibolito bandado; v) biotita gnaiss félsico migmatítico, com restito “*in situ*”. Estruturalmente, a deformação dúctil atingiu os litotipos gerando dobras normais e recumbentes, bem registradas no biotita gnaiss félsico migmatítico, cujo planos axiais 275/18 (Sn+1) e 230/73 (Sn+2), respectivamente. A foliação do plano axial das dobras normais é paralela às zonas de alto strain. Diante dos resultados, foi observado que a técnica SfM-MVS permitiu a representação do afloramento com ampla cobertura e o reconhecimento e medição de feições e estruturas geológicas em regiões inacessíveis, detalhando a aquisição de dados tradicionalmente realizado por mapeamentos em campo. Este trabalho e as bolsas de iniciação científica são financiadas pelo Projeto “Geodinâmica do Gondwana SW” da cooperação PETROBRAS-UFRJ (IGEO 22661).

Palavras-chave: Domínio Tectônico Cabo Frio, Modelo Digital de Afloramento, *Structure from Motion - Multi-View Stereo* (SfM-MVS)



Figura 1: Ortofoto de vista frontal 2D mostrando dobras, fraturas e foliação de baixo ângulo de mergulho

ANÁLISE COMPARATIVA DA MODELAGEM DE PROCESSOS EM DEPÓSITOS SEDIMENTARES DAS COQUINAS: CASOS DAS FORMAÇÕES ITAPEMA E MORRO DO CHAVES

Júlia Campos Guerrero¹, Ana Paula Soares², Tatiana Caribé de Oliveira¹, Mirella Moreira Antonio¹, Henrique Picorelli Ladeira Dutra¹, Daniel Fabian Bettú², Paulo Cesar Soares², Lindaura Maria Steffens², Bruno Mateus Bazzo², Joao Vitor Lottin Boing³

¹Petróleo Brasileiro S.A., e-mail: juliaguerrero@petrobras.com.br

²Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, e-mail: a_p_soares@yahoo.com

³Beicip Franlab

A modelagem de processos é uma técnica avançada que permite representar as características de depósitos sedimentares por meio da simulação numérica de fenômenos geológicos, considerando sua evolução no tempo e no espaço. Essa abordagem combina controles estratigráficos, como variações na taxa de sedimentação e no nível de base, com fatores sedimentológicos, como erosão, transporte e deposição. Dessa forma, a modelagem de processos torna-se uma ferramenta poderosa na determinação da arquitetura tridimensional rochosa, essencial para a modelagem geológica 3D, onde a distribuição das propriedades físicas e a representação das heterogeneidades de um reservatório são cruciais para o desenvolvimento de campos de petróleo. O objetivo deste trabalho é comparar a modelagem de processos realizada em duas áreas com escalas distintas que tem em comum as rochas carbonáticas bioclásticas lacustres, também conhecidas como “coquinas”. Visando confrontar as metodologias e os parâmetros utilizados, será possível entender os principais desafios enfrentados na modelagem de cada região. A primeira área em análise é a Formação Itapema, localizada no Campo de Búzios, pré-sal da Bacia de Santos, que abrange aproximadamente 876 km². A segunda área é a Formação Morro do Chaves, situada no Campo de Furado, na Bacia de Sergipe-Alagoas, com cerca de 107 km². Embora ambas sejam depósitos sedimentares semelhantes e compartilhem o mesmo intervalo estratigráfico do Cretáceo, a diferença significativa em suas dimensões sugere que os processos sedimentares relevantes para cada modelo devam ser ajustados às particularidades de cada contexto. Ao investigar essas formações, busca-se identificar e analisar as variáveis geológicas que influenciam a arquitetura dos depósitos, contribuindo assim para o aprimoramento das técnicas de modelagem. Para ambas as áreas, a modelagem foi utilizada para representar o empilhamento dessas rochas carbonáticas e seu retrabalhamento por ondas, correntes e fluxos gravitacionais. Esses processos foram representados tridimensionalmente, considerando um arcabouço estratigráfico detalhado e as modificações da paleotopografia do fundo do lago ao longo do tempo, em função da evolução tectônica. Para o Campo de Búzios, o modelo abrangeu um intervalo de 3 milhões de anos (de 126 Ma a 123 Ma), correspondente à deposição da Formação Itapema. Os principais desafios incluíram a representação de uma significativa regressão forçada da linha de costa, seguida de uma regressão normal, que gerou um espesso conjunto de clinofórmias visíveis na sísmica, além da ocorrência de fluxos gravitacionais carbonáticos. No Campo de Furado, o modelo foi desenvolvido em um intervalo de 2 milhões de anos (de 125 Ma a 123 Ma). A ausência de uma plataforma isolada resultou na necessidade de um input siliciclástico significativo na bacia. As modelagens dos Campos de Búzios e Furado, embora realizadas no mesmo intervalo estratigráfico, apresentam contextos geológicos distintos, mas compartilham semelhanças na abordagem de simulação e nos fenômenos geológicos analisados. As dificuldades, no entanto, variam consideravelmente, devido Búzios ser cerca de 8 vezes maior que Furado, o que traz implicações significativas para a complexidade da modelagem. Essas diferenças ressaltam a importância de um entendimento aprofundado das particularidades de cada local, reforçando o papel da modelagem de processos como uma ferramenta essencial para a exploração e o desenvolvimento de recursos petrolíferos em contextos geológicos variados.

Palavras-chave: modelagem Forward, metodologias, parametrização.

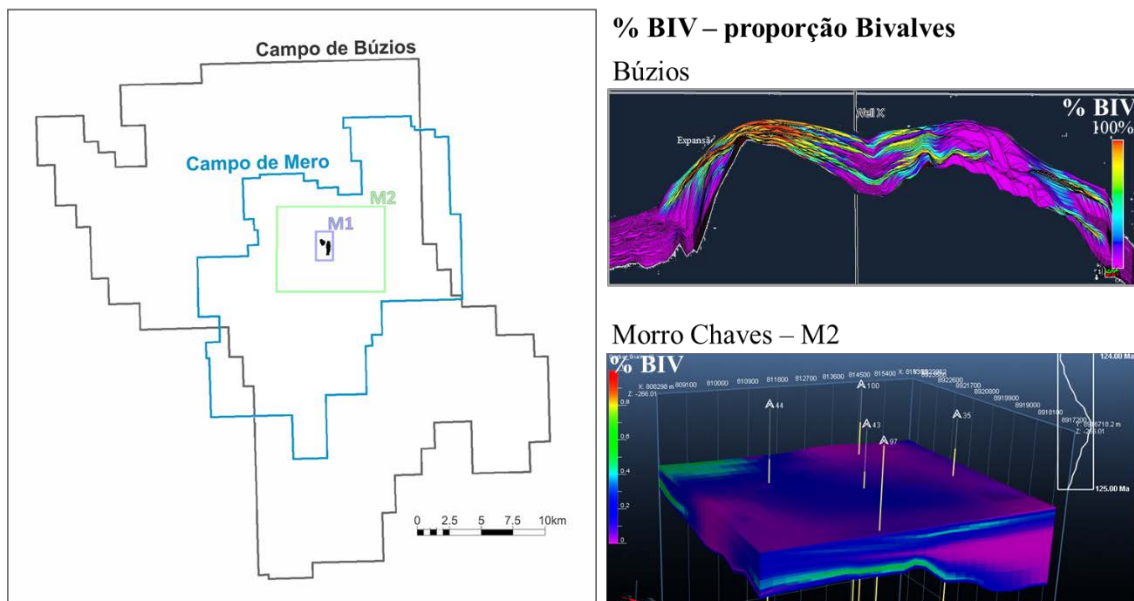


Figura 1 – Esquerda: Figura esquemática comparando as escalas dos campos de Búzios, Mero e da Fm. Morro do Chaves M2. Direita: Seção mostrando a proporção de bivalves como resultado da modelagem Forward realizada nas áreas de Búzios e MChaves.

QUÃO SEDIMENTOLOGICAMENTE CONSISTENTE UMA SIMULAÇÃO DE PROCESSOS ESTRATIGRÁFICOS PODE SER? ESTUDOS NOS DEPÓSITOS MARGINAIS DA FORMAÇÃO GREEN RIVER

Matheus R. do A Ferreira¹, Daniel Bettú², Ana Paula Soares³, Joao Paulo Borges Gomes⁴, Alberto Cruz⁵

¹Petrobras, matheusferreira@petrobras.com.br

²UDESC, daniel.bettu@udesc.br

³PUC-RIO, a_p_soares@yahoo.com.br

⁴Petrobras, jpgomes@petrobras.com.br

⁵Beicip-Franlab, alberto.cruz@beicip.com

Há um lugar no sudoeste do Wyoming, conhecido como Little Mesa Plateau, onde 15 metros de depósitos da Formação Green River registram a margem de um antigo lago (figura 1). Essa seção tem sido objeto de grande interesse em estudos recentes, que discutem a mistura de águas de sistemas de drenagem com fontes hidrotermais para explicar as texturas das biohermas, além da influência dos ciclos climáticos na distribuição de fácies lacustres. A seção lacustre repousa sobre os depósitos fluviais da Formação Wasatch e é sobreposta pela Formação Bridger, sugerindo que as margens do Lago Gosiute avançaram sobre uma planície aluvial e logo foram soterradas por fluxos de vulcanoclásticos. Apesar de sua espessura limitada e das evidências de uma história lacustre curta, a diversidade lateral e vertical de fácies sugere uma margem notavelmente dinâmica em termos de colonização carbonática. Em uma excursão de campo realizada em setembro de 2024, nove seções estratigráficas foram medidas (figura 2), e aquisições de fotogrametria de alta resolução com drones foram conduzidas para analisar como ocorre a distribuição de fácies lacustres, quais superfícies são espacialmente mapeáveis e o que pode ser mensurado para parametrizar processos sedimentológicos. Simulações de processos estratigráficos foram empregadas como uma ferramenta criativa para testar possibilidades de distribuição de fácies e elementos arquiteturais, integrando dados de campo com pesquisa bibliográfica e simulações computacionais. As principais discussões incluem os desafios de reproduzir as planícies aluviais no topo da Formação Wasatch, evoluindo até o ápice dos estromatólitos marginais lacustres, seguido pelo soterramento por fluxos de vulcanoclásticos. Os resultados indicam que a taxa de transportabilidade de depósitos siliciclásticos e a utilização de uma curva de nível de base que emule o armazenamento de sedimentos na planície de inundação estão entre os parâmetros mais críticos para reproduzir as geometrias observadas no campo. Para camadas carbonáticas, a taxa de crescimento desempenha um papel significativo, assim como outros parâmetros ecológicos (presença e volume de nutrientes, por exemplo) que interferem em sua produtividade. Além disso, a resolução do grid de modelagem mostrou ter um papel significativo, uma vez que para uma mesma parametrização, os resultados utilizando resoluções distintas de grid foram sensivelmente diferentes (figura 3), porém nem sempre geologicamente mais consistentes. O aumento de resolução no grid de simulação implica necessariamente em ao menos duas consequências: na possibilidade de se aproximar da resolução sedimentológica, e não somente estratigráfica dos processos geológicos, mas também necessariamente no aumento do tempo de simulação. É possível, portanto, a partir de uma avaliação crítica dos resultados, estabelecer o que pode ser chamado de “resolução ótima”, definida como a resolução a partir da qual os parâmetros geológicos não mais estariam sendo corretamente simulados, implicando somente em aumento no custo computacional de simulação e em problemas de convergência, e não mais em aumento da coerência geológica.

Palavras-chave: modelagem de processos

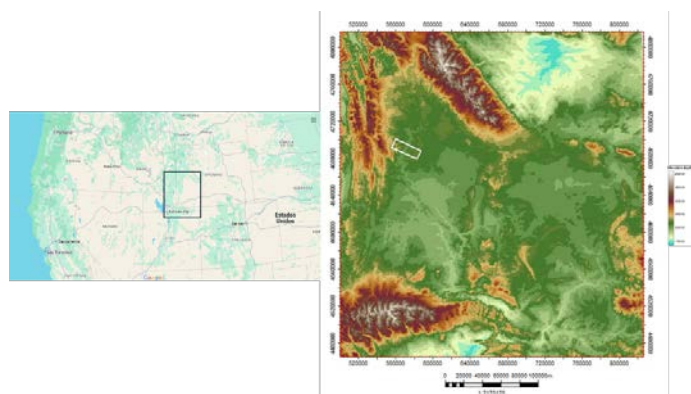


Figura 1: Localização da área de estudo e domínio da modelagem (retângulo branco).



Figura 2: Localização das seções estratigráficas levantadas na viagem de campo.

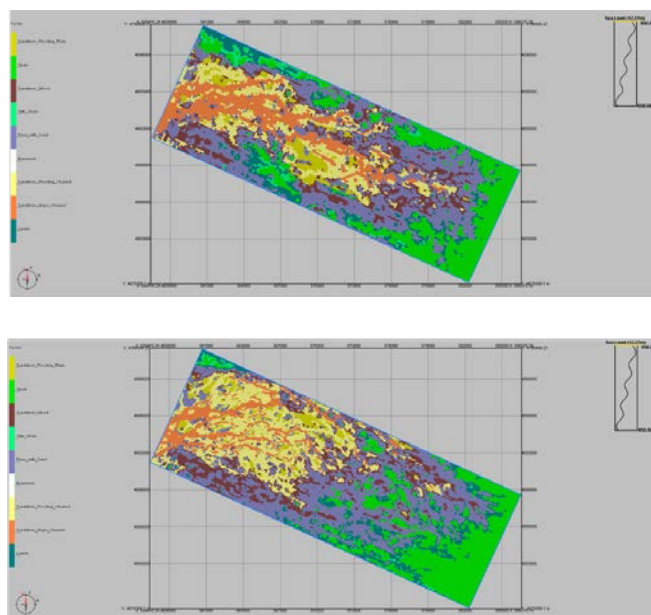


Figura 3: Comparação entre duas simulações no mesmo time slice. As duas simulações compartilham os mesmos parâmetros, diferindo apenas na resolução do grid: a superior, com 150mx150m, e a inferior com 100mx100m. Notar a diferença na distribuição das areias (em amarelo e laranja).

GERAÇÃO AUTOMATIZADA DE RESULTADOS QUANTITATIVOS E QUALITATIVOS PARA AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE CALIBRAÇÃO DE MODELOS *FORWARD*

Akira Rhudá Oviar Yabushita¹, Maria Beatriz Margutti Ferreira¹, Paulo Vitor de Souza Navegante¹, Endriw Rafael Mateus Silva¹, Lindaura Maria Steffens¹, Ana Paula Soares¹, Daniel Fabian Bettú¹

¹Departamento de Engenharia de Petróleo, Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, e-mail: akira.yabushita@edu.udesc.br

A modelagem estratigráfica dinâmica (*Stratigraphic Forward Modeling* - SFM) tem demonstrado potencial para auxiliar na caracterização de reservatórios petrolíferos, pois permite a simulação de processos deposicionais, melhorando a previsão das geometrias e heterogeneidade dos depósitos sedimentares. Contudo, a modelagem de processo não é condicionada a honrar os dados observados (poços, mapas, etc.) e, apesar dos avanços metodológicos, os modelos SFM frequentemente apresentam discrepâncias significativas em relação aos dados reais. Esforços metodológicos recentes incluem o processo de calibração de dados observados em poços no *workflow* de modelagem *forward*, porém são processos com alto custo operacional, ainda sem soluções comerciais robustas para a otimização de parâmetros de simulação. Como resultado de pesquisa de P&D foi desenvolvida uma ferramenta de calibração, implementada em linguagem Python, representando um avanço no *workflow* de calibração de modelos SFM simulados no *software* comercial Dionisos Flow®. Consiste num processo de otimização que ajusta os parâmetros de simulação com base nas funções objetivo (FOs) formuladas especificamente para o problema geológico e estratigráfico, buscando as combinações que resultam em melhores ajustes. Porém, para validação do resultado é preciso comparar os dados observados com os simulados e esse processo requer a inserção manual dos parâmetros calibrados e classificação das fácies na interface gráfica do *software* de simulação, podendo ser avaliado apenas um modelo por vez. Essa etapa, além de repetitiva, exige rigor operacional, pois qualquer deslize na transposição dos valores pode comprometer a integridade do resultado visual. Além disso, na maioria das situações, não se deseja avaliar somente um modelo e sim vários, o que se torna impraticável dado o alto custo operacional. Neste contexto, foi desenvolvida uma ferramenta semiautomatizada para visualização e comparação dos resultados da calibração de modelos SFM com os registros litológicos de perfis de poços, buscando aprimorar e complementar a ferramenta de calibração, com avanços na agilidade para avaliação dos múltiplos modelos obtidos. Este trabalho apresenta o desenvolvimento desta automatização na geração e exibição dos resultados obtidos no processo de calibração, oferecendo uma solução eficaz e aplicável para análises dos modelos calibrados. A ferramenta aprimora o *workflow* de calibração ao automatizar a extração dos resultados visuais de poços, a geração de diagramas estatísticos das simulações e compilar informações relevantes, incluindo gráficos de convergência do algoritmo de otimização utilizado. Ao final da rodada de calibrações, os resultados são apresentados de forma padronizada em relatórios completos, garantindo significativo ganho de tempo, eficiência operacional e permitindo uma melhor tomada de decisão quanto aos modelos calibrados.

Palavras-chave: Automatização, SFM, Calibração.

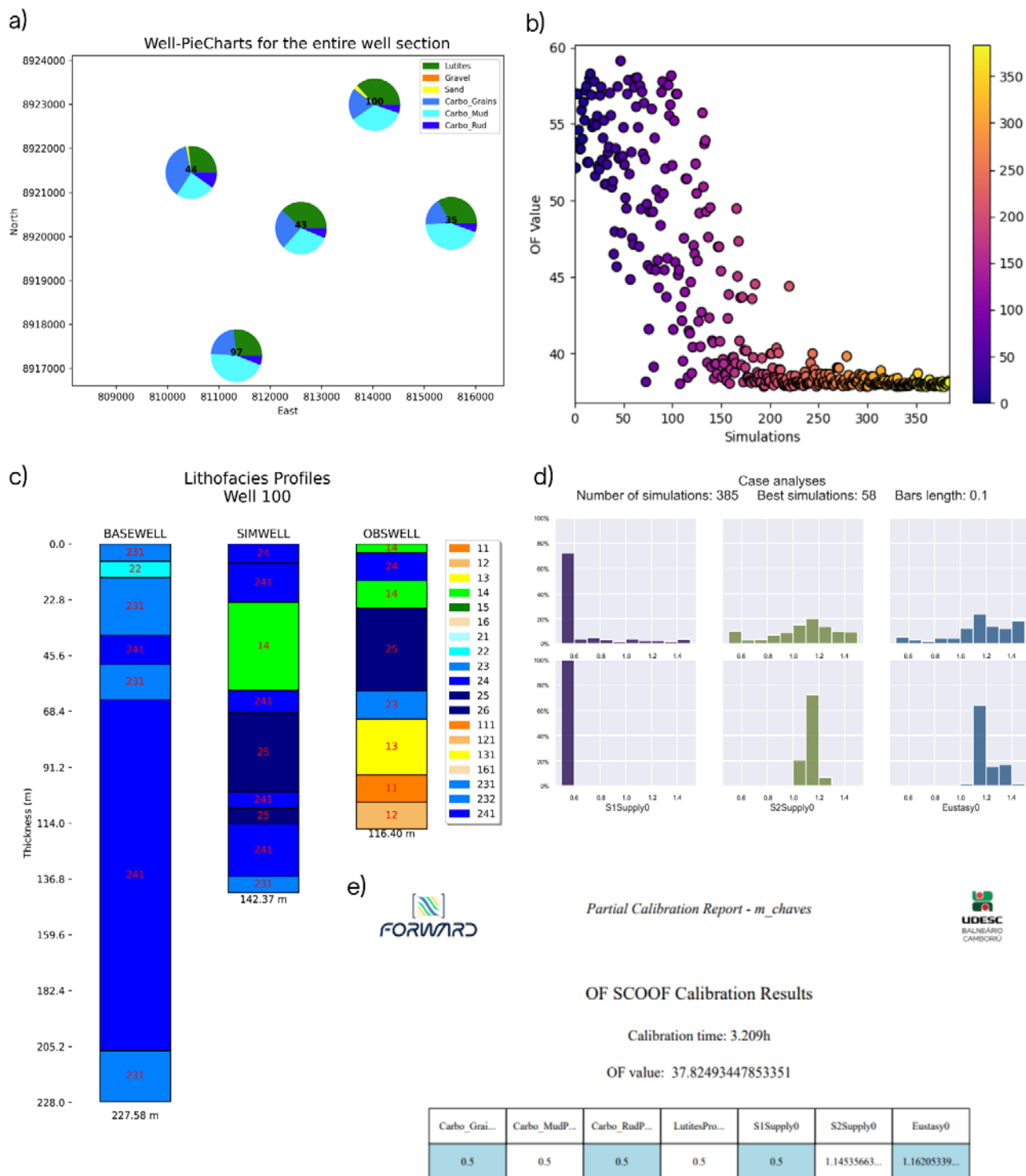


Figura 1: Resultados visuais do pós-processo. Item (a) localização e proporções de sedimentos dos poços; item (b) evolução do valor da FO conforme o número da simulação; item (c) perfil de um mesmo poço para o caso base, simulado e o observado; item (d) distribuição de todos os valores das simulações na parte superior e dos melhores na parte inferior para cada parâmetro calibrado; item (e) folha de rosto do relatório automático.

WORKFLOW SEMIAUTOMATIZADO PARA GERAÇÃO DE MODELOS ESTRATIGRÁFICOS FORWARD: PARAMETRIZAÇÃO, ANÁLISE DE SENSIBILIDADE E CALIBRAÇÃO

Lindaura Maria Steffens¹, Ana Paula Soares^{1,2}, Daniel Fabian Bettú¹, Paulo Cesar Soares³

¹Departamento de Engenharia de Petróleo, Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, e-mail: lindaura.steffens@udesc.br

²Pontifícia Universidade Católica - Rio de Janeiro – PUC-Rio

³Universidade Federal do Paraná - UFPR

Modelos gerados por meio da abordagem de Modelagem Estratigráfica Dinâmica (Stratigraphic Forward Modeling – SFM) buscam reproduzir processos físicos e geológicos responsáveis pela formação de sistemas sedimentares, oferecendo uma representação mais realista da evolução deposicional e da arquitetura interna dos reservatórios. Essa abordagem, por meio de equações e algoritmos numéricos, simula processos como transporte, deposição, erosão e produção de sedimentos que permite prever com maior acurácia a distribuição das fácies, como também sua conectividade e a geometria dos corpos sedimentares. No entanto, a comparação desses modelos com dados reais, como dados de poços, revela divergências significativas, devido a complexidade dos processos simulados, e das incertezas associadas aos parâmetros de entrada. Além disso, a calibração de modelos SFM ainda representa um desafio técnico significativo, no que se refere a disponibilidade de ferramentas computacionais comerciais consolidadas para esse propósito. Neste trabalho é apresentado um fluxo de trabalho completo e sistematizado para construção e calibração de modelos SFM, que abrange desde a parametrização do modelo inicial, até a análise de sensibilidade e a calibração por meio do processo de inversão por otimização. O fluxo de trabalho inicia com a parametrização para a geração de um modelo base inicial, a qual é realizada a partir de dados sujeitos a diferentes escalas e fontes de incerteza. Em seguida, uma análise de sensibilidade global por avaliação de multicenários identifica os parâmetros com maior impacto na resposta do modelo e por uma análise one-at-a-time define-se intervalos realistas (ranges) para estes parâmetros na calibração. A etapa de calibração é conduzida por algoritmos de otimização que buscam minimizar funções objetivo (FOs) baseadas na similaridade entre os dados simulados e os dados reais observados em poços. A soma dessas FOs gera uma FO Global, que quantifica o grau de similaridade entre modelo e dados dos poços. As ferramentas para análise de sensibilidade e calibração foram desenvolvidas em linguagem Python, e o simulador SFM utilizado foi o DionisosFlow®. O fluxo de trabalho foi aplicado e avaliado por meio de estudos de caso com dados sintéticos e reais, demonstrando ganhos significativos na qualidade preditiva dos modelos calibrados. Os resultados evidenciam que a integração entre parametrização para a modelagem estratigráfica, análise de sensibilidade e otimização constitui uma abordagem aplicável para a construção de modelos geológicos mais confiáveis, o que impacta diretamente na caracterização de reservatórios.

Palavras-chave: Parametrização, Sensibilidade, Calibração.

WORKFLOW DE MODELAGEM FORWARD

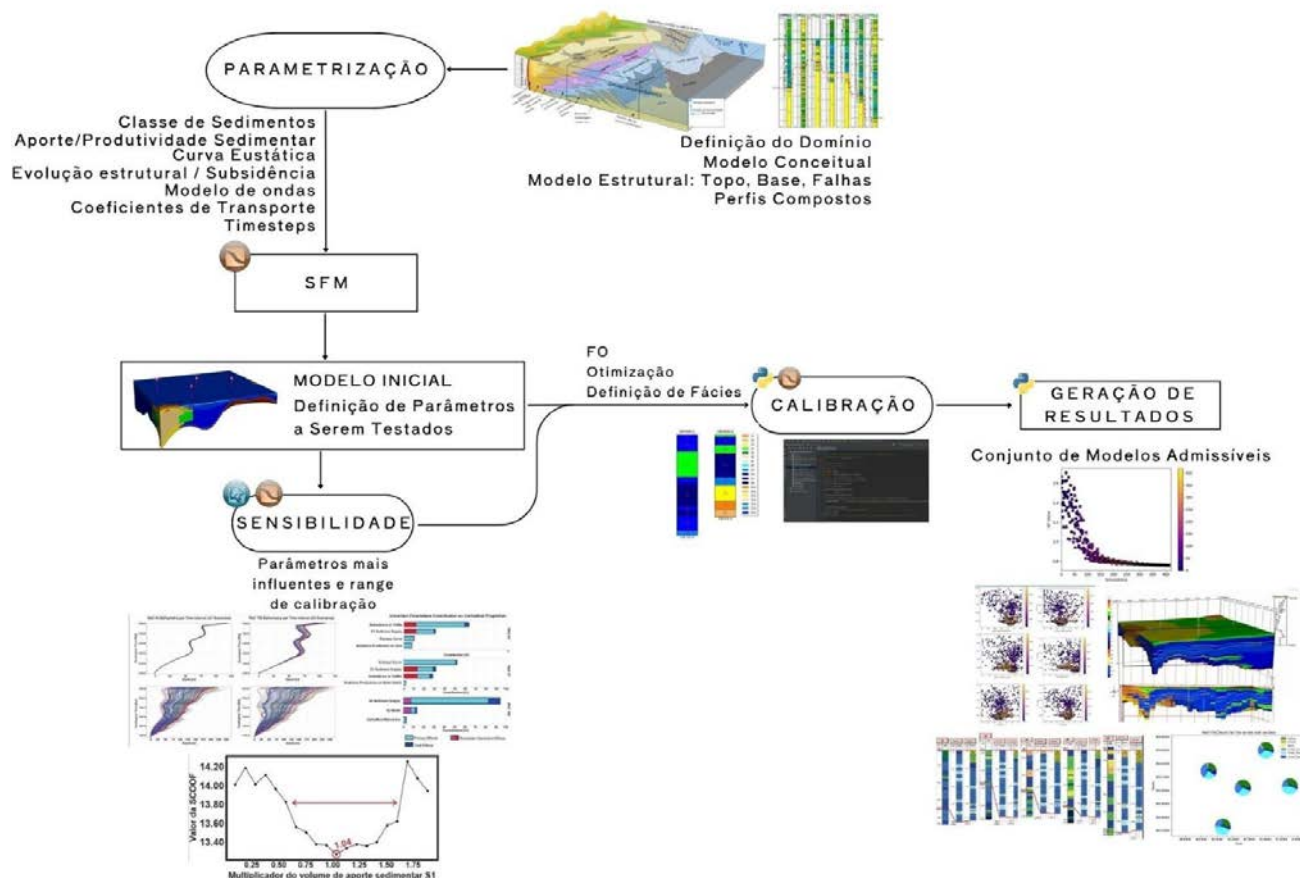


Figura 1: Fluxograma contendo a ilustração das etapas do workflow de modelagem e calibração de modelos estratigráficos forward.

MODELAGEM FORWARD DE ALTA RESOLUÇÃO EM RESERVATÓRIOS TURBIDÍTICOS - DESAFIOS E APLICABILIDADE

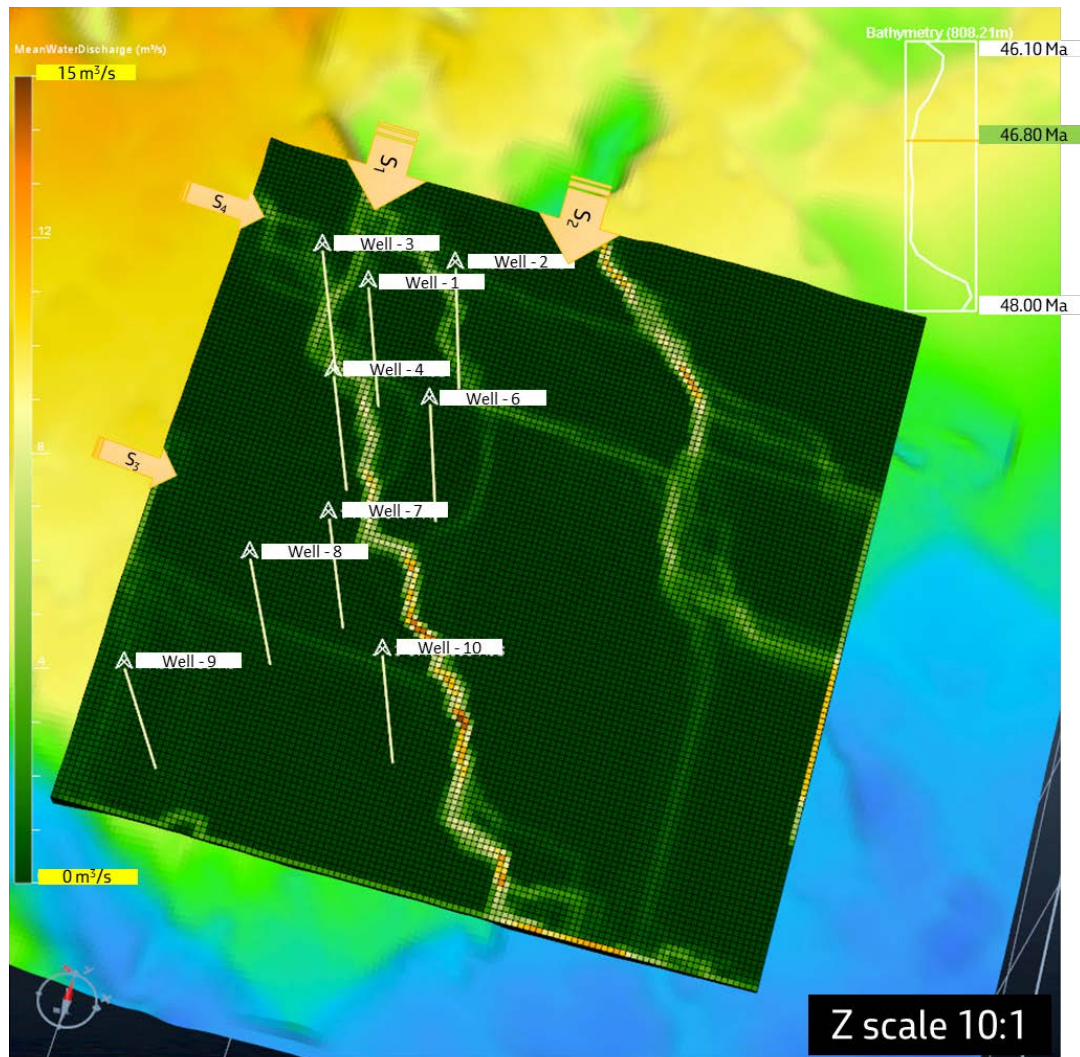
Daniel José de Almeida¹, Alberto Machado Cruz², Junia Casagrande¹, Olinto Gomes de Souza Junior¹, Thiago Guimarães Briones¹, Georges François da Silva Pavie¹, Hugo Jorge de Castro Freitas¹, Antônio Felipe Cavalcante Carvalho¹, Maria Paula Ramos Clavijo², Samer Boudaher², Bruna Motta de Carvalho¹

¹Petróleo Brasileiro S.A., djalmeida@petrobras.com.br

²Beicip-Franlab, alberto.cruz@beicip.com

A modelagem numérica *forward* tem o objetivo de reproduzir processos sedimentares seguindo uma série de leis físicas dentro de condições específicas de contorno, porém geralmente sem o intuito de honrar dados *hard* pré-existentes, sendo suportada por modelos conceituais geológicos. Sendo assim, a modelagem *forward* é frequentemente utilizada para o entendimento da evolução deposicional de áreas com carência de calibração litológica, muitas vezes em escalas regionais a semi-regionais em um contexto exploratório. A modelagem numérica dos processos sedimentares e da evolução tectono-estratigráfica é especialmente desafiadora em sistemas turbidíticos, os quais são naturalmente complexos. A modelagem *forward* na escala de reservatórios enfrenta desafios adicionais quando comparada à escala exploratória. Baixas espessuras dos reservatórios, simulação durante menores intervalos de tempo e área de ocorrência menores são fatores que trazem incertezas quanto à sua aplicabilidade, necessitando esta ser melhor investigada. O objetivo deste trabalho é aplicar e avaliar os resultados da modelagem *forward* na escala de reservatório, utilizando o *software* *Dionisos*. Esse não se propõe a resolver equações de fluxo turbulento como *softwares* específicos para modelagem de correntes de turbidez. A principal motivação para a aplicação de tal metodologia foi dar suporte à decisão em projetos de desenvolvimento da produção. A área alvo do projeto se refere à uma área de grande incerteza quanto ao *Net-to-Gross* (NTG) e conectividade do reservatório. O estudo foi realizado na zona estratigráfica denominada Enchova (EN), que compõem jazida em produção localizada na Bacia de Campos. Os reservatórios são arenitos turbidíticos da Fm. Carapebus, depositados durante o Eoceno em um sistema de calhas estruturalmente controladas, que conduzem e acomodam canais submarinos. A zona estudada tem topo e base sismicamente mapeáveis. A simulação foi realizada por cada subzona do reservatório eocênico em um intervalo de tempo total de 4,4 milhões de anos obtido por bioestratigrafia. A partir de análise dos testemunhos, foram definidas quatro classes granulométricas para a simulação (finos compostos das frações de silte e argila, areia fina composta de areia fina e muito fina, areia média e frações grossas). O controle de qualidade das simulações foi feito analisando-se as curvas de argilosidade (*v-shale*) e espessuras das subzonas em poços representativos. Os resultados da simulação confirmaram que as calhas estruturadas são as principais rotas de sedimentos. Entretanto, demonstraram também áreas de conexão entre estas calhas, não óbvias, mas previstas no modelo conceitual e incorporadas na modelagem geológica estática. O produto da modelagem supracitada auxiliou a equipe na condução de projetos, enquanto processo de controle de qualidade sendo aplicado no suporte de locações do sistema deposicional em águas profundas eocênico-paleocênico. A aplicabilidade do método sugere-se como uma alternativa possivelmente replicável em contexto de caracterização de reservatórios siliciclásticos turbidíticos em campos maduros, sobretudo agregando valor em posições marginais ao sistema principal de produção, cuja menor densidade de informação e resolução sísmica se postam como fatores frontalmente limitantes. A validação do modelo deposicional condicionado aos poços existentes, com a utilização da modelagem estratigráfica *forward*, tende a trazer mais robustez na análise de locações dentro da rotina de geologia de reservatórios, minimizando incertezas próprias da heterogeneidade crítica da arquitetura deposicional.

Palavras-chave: modelagem estratigráfica *forward*, reservatório, turbiditos.



F

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE UM ESTUDO DE CASO UTILIZANDO DIFERENTES SIMULADORES FORWARD

Endriw Rafael Mateus Silva¹, Thiago Martins Fernandes¹, Lindaura Maria Steffens¹, Ana Paula Soares¹,
Daniel Fabian Bettú¹

¹Departamento de Engenharia de Petróleo, Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, e-mail:
endriw.raffael@gmail.com

A modelagem estratigráfica dinâmica (*Stratigraphic Forward Modeling – SFM*), que aplica algoritmos numéricos baseados em processos para simular os processos sedimentares e tectônicos que controlam as arquiteturas deposicionais, é uma ferramenta essencial para abordar os desafios de prever com maior acurácia a geologia de bacias sedimentares e recursos de hidrocarbonetos, bem como suas incertezas associadas. Além da aplicação em exploração, a SFM abre caminho para seu uso como recurso complementar para a construção de modelos geológicos de reservatórios. A maioria dos algoritmos de SFM considera os processos de transporte, deposição e erosão de sedimentos siliciclásticos, bem como a taxas de produção, erosão e transporte *in situ* de carbonatos. Como nenhum dos parâmetros de simulação podem ser diretamente medidos, devem ser estimados indiretamente, o que resulta em um significativo grau de incerteza. Interpretação geológica do contexto geodinâmico, dados sísmicos e registros de poços são comumente usados para gerar estimativas dos parâmetros. Existem diferentes abordagens propostas e implementadas que buscam descrever os processos envolvidos em SFM. Neste trabalho, foram testados os simuladores comerciais DionisosFlow® e GPM®, e o simulador *open-source* SedSimple, estabelecendo um estudo de caso único para criação de um modelo e impondo condições paramétricas semelhantes para ser simulado em cada um dos simuladores, buscando identificar as limitações e vantagens de cada simulador na abordagem de modelagem *forward*. O objetivo é avaliar como cada software processa a modelagem estratigráfica com base na parametrização que reflete um modelo conceitual. Para o desenvolvimento do estudo de caso, foi estudado a Bacia de Green River, um dos sistemas de lago mais antigos e mais bem documentados, que está localizada nos estados do Colorado, Utah e Wyoming, nos Estados Unidos. Sendo há muito tempo utilizada como exemplo para compreensão dos sistemas deposicionais lacustres por conta da sua espessa sucessão de depósitos, a Bacia de Green River é uma das mais importantes referências para estudos de sistemas deposicionais continentais. A partir de um modelo conceitual inicial criado com base nas características estratigráficas e sedimentológicas da bacia, simulações foram realizadas nos três diferentes simuladores escolhidos. Padrões de empilhamento, arquitetura estratigráfica e distribuição de facies foram alguns dos parâmetros principais utilizados para análises dos resultados. A parametrização revelou diferenças significativas entre os softwares, especialmente quanto à complexidade da interface e à forma como cada um representa processos físicos, como difusão e dispersão. Essa comparação demonstra que a escolha dos parâmetros e as funcionalidades específicas de cada programa têm impacto direto nos resultados da modelagem e em sua interpretação. Compreender essas distinções é fundamental para selecionar a ferramenta mais adequada a diferentes estudos geológicos e aumentar a confiança nas previsões estratigráficas.

Palavras-chave: Modelagem de Processos, *Forward*, *Green River Basin*.

SEMIVARIÂNCIA ESPACIAL LOCAL COMO VARIÁVEL GEOESTATÍSTICA DE TREINAMENTO PARA MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS

Cleyton de Carvalho Carneiro^{1,2}, Ivan Silva Carvalho², Marcelo Monteiro da Rocha³, Rodrigo César Teixeira de Gouvêa^{1,2}, Gabriel Mônico Ribeiro da Silva², Gustavo Rodovalho Marques²

¹Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, e-mail: cleytoncarneiro@usp.br

²InTRA USP, Universidade de São Paulo, e-mail: ivan_carvalho@usp.br, monaco.geo@gmail.com, gustavorodvalho@usp.br

³Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, e-mail: mmrocha@usp.br

A variabilidade espacial de atributos geológicos é determinante para a composição de imagens ou modelos, que possibilitam análise de estruturas contínuas e a identificação de padrões espaciais latentes em dados georreferenciados. Nesse contexto, a semivariância espacial local emerge como uma ferramenta capaz de quantificar a heterogeneidade espacial em imagens e dados com localização espacial. Em análises por Mapas Auto-Organizáveis, do inglês *Self-Organizing Maps (SOM)*, a utilização de variáveis que representem a dependência espacial é um desafio complexo, já que os sistemas de referência espacial consistem em construções matemáticas, que não representam grandezas físicas ou propriedades mensuráveis da natureza. Este estudo apresenta a implementação e aplicação sistemática da variância local como variável adicional no processo de treinamento de modelos baseados em SOM. Para avaliar a efetividade da proposta, foi utilizada a base de dados Salinas, com classes estabelecidas e bem delimitadas. A semivariância espacial foi calculada em janelas móveis centradas em cada ponto amostral, com raio de busca definido a partir da amplitude (alcance) obtido pelo ajuste do modelo teórico de variograma, ajustado a partir do variograma experimental calculado a com base na primeira componente principal (PC1). Com o objetivo de mitigar o efeito de variâncias aleatórias, sem continuidade espacial, especialmente em regiões de bordas ou transições, três estratégias paramétricas foram implementada e avaliadas: (i) sem mitigação, na qual todas as diferenças locais contribuem igualmente; (ii) remoção a partir de limiar, que exclui valores que ultrapassem o limiar definido por um fator multiplicativo da média local; e (iii) sistemática de suavização pós-processamento, que compara cada valor de variância local calculado com a mediana de sua vizinhança imediata, substituindo os valores discrepantes de variância pela mediana da distribuição dos valores de vizinhança na janela analisada. A semivariância local gerada em cada estratégia foi incorporada como variável adicional nos conjuntos de dados de entrada da biblioteca IntraSOM, em ambiente Python, em diferentes treinamentos, possibilitando análises comparativas com e sem informação espacial explícita, bem como o impacto da mitigação da variância. A eficácia do uso da semivariância foi avaliada. Sendo possível comparar os resultados dos treinamentos e agrupamentos utilizando-se apenas as variáveis originais e as respectivas variáveis espaciais, conforme as estratégias paramétricas. De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que a inclusão da semivariância espacial promoveu aprimoramento significativo na coerência espacial dos agrupamentos gerados, resultando em classes com geometrias mais bem delineadas. A abordagem proposta mostra-se promissora para aplicações em estatística multivariada de variáveis espaciais, além de propiciar uma alternativa de inclusão de um atributo geoestatístico às análises SOM.

Palavras-chave: Variância espacial, Mapas Auto-Organizáveis, Análise multivariada, Variograma, Médias móveis.

MODELAGEM GEOESTATÍSTICA DAS FORMAÇÕES NEOPERMIANAS – EOCRETÁCEAS DA BACIA DO PARANÁ (BRASIL)

Alessandro Ferraz Palmeira¹; Carrel Kifumbi¹; Claiton M. dos S. Scherer²; Renata da S. Schmitt¹

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro – Instituto de Geociências, e-mail: apalmeira@gmail.com; carrelkif@yahoo.fr; schmitt@geologia.ufrj.br

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Geociências, claiton.scherer@ufrgs.br;

A evolução do Gondwana entre o final da Era Paleozoico e o início da Era Mesozoico foi marcada por mudanças paleoambientais e paleoclimáticas associadas à tectônica global. A formação do Pangea atingiu seu ápice no Permiano enquanto sua fragmentação, seguida pela do próprio Gondwana, ocorreu no Triássico, resultando na formação de bacias rifte e proto-oceanos, gerando alterações significativas nos depocentros das bacias intracratônicas. Na Bacia do Paraná, a fragmentação do Gondwana reativou estruturas do embasamento, como zonas de suturas e cisalhamentos, cujas sucessivas movimentações ao longo do Fanerozóico influenciaram a sedimentação, a formação das bacias e a configuração das redes de drenagem entre o Permiano e o Cretáceo. Uma das formas de estimar essa influência é a modelagem de bacias com técnicas geoestatísticas para estimar a geometria das unidades sedimentares do Neopermiano ao Eocretáceo na Bacia do Paraná, abrangendo formações como Rio do Rastro, Sanga do Cabral, Santa Maria, Guará, entre outras. O objetivo deste trabalho é delimitar com maior precisão seus limites, espessuras e profundidades, visando a reconstrução paleogeográfica da bacia, com foco na influência tectônica sobre a sedimentação. A base do trabalho consistiu em uma ampla compilação de dados bibliográficos referentes às unidades sedimentares da Bacia do Paraná. Para isso, foram utilizados dados publicados de isópacas e sistemas de falhas, além de informações de poços disponibilizadas pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis). A metodologia adotada envolveu: (i) Organização dos dados: os mapas de isópacas e os dados de poços foram interpretados, digitalizados e georreferenciados; (ii) Conversão dos dados: as profundidades foram transformadas em cotas altimétricas, o que possibilitou uma base comum para representar as formações geológicas em diferentes altitudes; e (iii) Geração das superfícies geológicas: foram geradas superfícies representando os limites, espessuras e topos das formações sedimentares. Para isso, aplicaram-se algoritmos que combinam diferentes métodos geoestatísticos, permitindo estimativas baseadas em pontos de controle conhecidos. Dessa forma, o uso de ferramentas computacionais de simulação revelou-se fundamental para representar e analisar os elementos deposicionais e estruturais presentes na Bacia do Paraná. A integração entre modelagem de bacias e técnicas geoestatísticas fornece uma base robusta para interpretar os processos geológicos responsáveis pela evolução dessas formações ao longo do tempo. Como resultado, foram obtidas superfícies representativas dos topos, limites e espessuras das camadas estratigráficas, além da identificação dos principais depocentros das formações que compõem o intervalo do Neopermiano ao Eocretáceo na Bacia do Paraná.

Apoio: Este trabalho e as bolsas de pesquisa são financiadas pelo Projeto “Geodinâmica do Gondwana SW” da cooperação PETROBRAS-UFRJ (IGEO 22661). Os autores também agradecem o suporte da ANP.

Palavras-chave: Modelagem; Tectônica; Bacia do Paraná.

CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOMÉTRICA DOS MACIÇOS GRANÍTICOS DA SERRA DO MAR PARANAENSE

Miguel Paes Crispim¹, Ricardo Michael Pinheiro Silveira², Alessandra de Barros e Silva Bongioiolo³

¹Universidade Federal do Paraná, e-mail: miguel.crispim@ufpr.br

²Universidade Federal do Paraná, e-mail: ricardomichael@ufpr.br

³Universidade Federal do Paraná, e-mail: alebongiolo@ufpr.br

A caracterização geomorfológica dos maciços rochosos da Serra do Mar paranaense é essencial para entender os processos geológicos que moldam a paisagem. O uso de atributos geomorfológicos derivados de Modelos Digitais do Terreno (MDT), como altimetria, declividade e curvatura do terreno, juntamente com estatísticas zonais, permite uma análise parametrizada das características geológicas e dos processos erosivos. Essa abordagem quantitativa viabiliza a caracterização de padrões de relevo, estruturas geológicas, contatos litológicos e contribui para o planejamento ambiental. O objetivo deste trabalho foi analisar as características geomorfológicas dos maciços da Serra do Mar, a fim de desenvolver métricas interpretativas que permitam caracterizar e delimitar os maciços graníticos, diferenciando-os do embasamento e individualizando cada maciço, contribuindo às interpretações dos processos geológicos e da evolução morfoestrutural da região. O MDT utilizado foi interpolado a partir de base planialtimétrica 1:25.000 e possui resolução espacial de 10 m. Os atributos foram processados pelo *software* QGIS, com a posterior aplicação da ferramenta de estatística zonal “*r.neighbors*”, tendo como parâmetro o raio contendo a média do comprimento das vertentes (350 m) dos maciços. Foram calculados os atributos: declividade, plano e perfil de curvatura, orientação das vertentes, *Black Top Hat* (BTH), *With Top Hat* (WTH) e Índice de Posição Topográfica (IPT). Os valores obtidos variam de acordo com o maciço e sua disposição espacial, ou seja, se seu limite é compreendido no primeiro planalto paranaense, na planície litorânea ou em ambos. A área de estudo abrange cinco maciços centrais na Serra do Mar, compostos por granitos, sienitos e mozdioritos, sendo eles, o maciço Anhangava, Farinha Seca, Marumbi, Orgãos e Rio Capivari. As estatísticas zonais de altimetria apresentaram variações significativas, com médias variando de aproximadamente 886 a 1.107 metros. As unidades mostraram declividades médias entre 29% e 56%. No plano de curvatura, as médias foram próximas a zero, sugerindo superfícies planas, com valores mínimos e máximos que indicam algumas áreas côncavas e convexas. O perfil de curvatura apresentou valores médios próximos de zero, sugerindo superfícies quase planas. A orientação das vertentes apresentou direções médias que indicam predominância de inclinações em direção leste e sul, com valores médios entre 160° a 179°. Os índices geomorfológicos apresentaram tendências de vales destacados pelo BTH, nas direções NW/SE. Em contrapartida, as cristas demarcadas via WTH, se apresentam à NE/SW, ambos com pequenas variações cardinais. Já o IPT corrobora as informações apresentadas pelos outros dois índices. A análise das estatísticas zonais e índices geomorfológicos dos maciços revela uma significativa variação topográfica e geomorfológica, influenciada por sua localização entre o primeiro planalto paranaense e a planície litorânea. A variação geomorfológica reflete a complexidade estrutural dessas unidades, com áreas de relevo mais acentuado e vertentes predominantemente planares. As direções de inclinação das encostas e a orientação dos vales e cristas destacam padrões estruturais relacionados a processos tectônicos e erosivos. Esses resultados reforçam a importância da modelagem digital do relevo e dos índices geomorfológicos como ferramentas eficazes para caracterizar e analisar a dinâmica geológica e geomorfológica da região.

Palavras-chave: Geomorfometria, Modelo Digital de Terreno, Complexo gnáissico-migmatítico.

ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DA COMPARTIMENTAÇÃO ESPACIAL EM UM DEPÓSITO DE MINÉRIO DE FERRO NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

Caroline Volcato Oleques¹, Diego M. Marques², Gabriela F. Abreu³, Samara F. Moura⁴

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: caroline.oleques@ufrgs.br

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: diego.marques@ufrgs.br

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: gabrielafrminas@gmail.com

⁴Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: samarafemoura@gmail.com

Uma parte fundamental na área de geociências é a quantificação de variáveis geológicas. Essas quantificações podem ser realizadas de diferentes maneiras, mas sempre devem considerar o contexto geológico e utilizar técnicas que integrem esse conhecimento nas análises. Em algumas situações, a compartimentação espacial vai além de características visuais ou texturais, sendo necessário entendimento do comportamento estatístico das variáveis e de sua relação com o contexto geológico, definindo regiões com conectividade espacial e homogeneidade estatística, denominadas de domínios estacionários. Esses domínios são essenciais para garantir que as estimativas sejam consistentes e representem adequadamente o fenômeno geológico em estudo, e o entendimento da continuidade espacial do fenômeno. Entretanto, domínios inicialmente considerados estacionários, como distribuições geoquímicas, podem ser subdivididos, muitas vezes associados a feições estruturais que controlam a distribuição dos minerais. A análise da continuidade espacial é um aspecto crucial em geoestatística, pois garante que o modelo final seja mais aderente à realidade. Este estudo tem como foco a análise geoestatística de um depósito de minério de ferro localizado no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. O depósito é caracterizado por uma complexa compartimentação estrutural, atualmente subdividido em três grandes estruturas. O estudo tem como objetivo se a distribuição geoquímica foi afetada pela divisão estrutural. Assim, é necessário avaliar se essa compartimentação estrutural corresponde a domínios geoquímicos homogêneos ou se processos secundários, como remobilização e recristalização, podem ter gerado novas compartimentações. Para essa análise, foram utilizados dados geoquímicos e litológicos, além de informações estruturais obtidas por meio de mapeamento detalhado da mina. As informações foram processadas utilizando técnicas de geoestatística, incluindo análise de variogramas e interpolação, visando identificar padrões de continuidade espacial e anisotropias. Os resultados foram comparados com a compartimentação estrutural inicial conhecida do depósito. Dessa forma, foi possível verificar se os domínios estruturais correspondem a domínios estacionários do ponto de vista geoquímico, ou se há necessidade de redefinição desses domínios para garantir maior precisão nas estimativas. A aplicação da geoestatística permitiu identificar que, em alguns setores do depósito, a compartimentação estrutural é consistente com as características geoquímicas, enquanto em outros, a remobilização dos minerais indicou a necessidade de nova divisão, alguns setores da mina precisam ser separados pois são estruturalmente distintos, impactam na continuidade dos corpos e consequentemente na orientação dos variogramas - a posição distinta é produto de eventos tectônicos que atuaram no depósito. Esse estudo reforça a importância de integrar informações estruturais e geoquímicas em análises geoestatísticas, garantindo que os modelos gerados sejam representativos da realidade geológica.

Palavras-chave: Geoestatística, Compartimentação, Domínios estacionários.

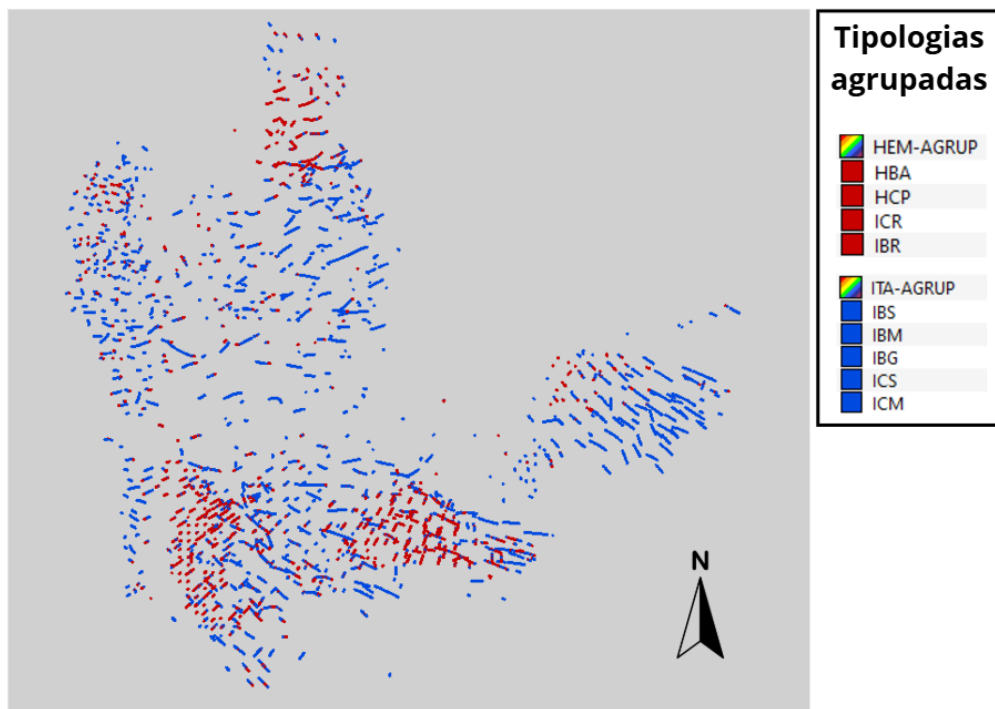


Figura 1: Mapa de tipologias agrupadas. Em azul, itabiritos e em vermelho hematitas.

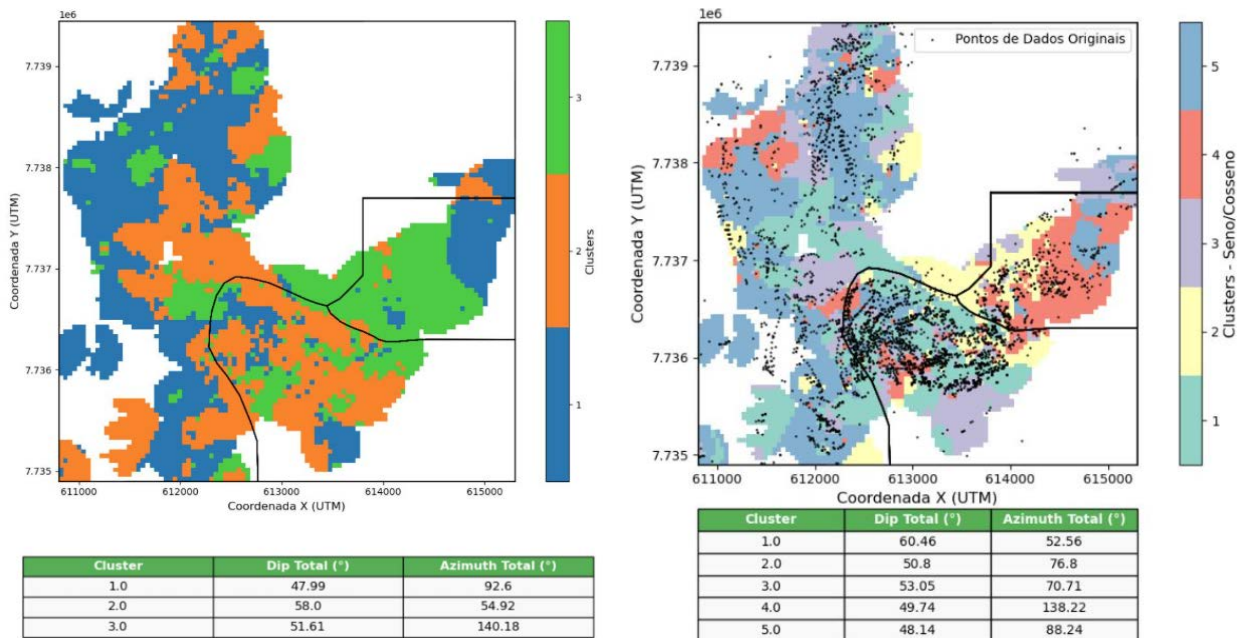


Figura 2: Mapa de clusters para dip e azimuth com pontos de dados originais, destacando a distribuição espacial dos 3 clusters à esquerda e de 5 clusters à direita em diferentes cores conforme a legenda lateral. Os pontos pretos indicam a localização dos dados originais.

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO PARA SIMULAÇÃO DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS EM TORRES, RIO GRANDE DO SUL

Christian de Souza Abido¹, Mauro Daniel Rodrigues Bruno², Henrique Parisi Kern³, Gustavo Nunes Aumind⁴, Gerson Fauth⁵

¹itt Oceaneon, e-mail: christi4n@unisinis.br

²itt Oceaneon, e-mail: dbruno@unisinis.br

³itt Oceaneon, e-mail: pkern@unisinis.br

⁴itt Oceaneon, e-mail: gustavo.aumond@gmail.com

⁵itt Oceaneon, e-mail: gersonf@unisinis.br

As regiões costeiras vêm sofrendo com o aumento gradual do nível do mar, causado pelas mudanças climáticas, que impacta as comunidades litorâneas em todo o mundo. Diante desse cenário, tornam-se essenciais pesquisas sobre o mapeamento de áreas vulneráveis à inundação e o monitoramento de seus impactos. Sendo assim, considera-se que essas pesquisas são valiosas ferramentas para uma gestão pública resiliente das regiões costeiras. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) projeta, conforme indicado no relatório AR6 de 2023, um aumento médio global do nível do mar de aproximadamente 1 metro até 2100, considerando cenários mais pessimistas de emissões de gases poluentes para atmosfera (SSP5-8.5). No presente estudo foram comparados diferentes Modelos Digitais de Elevação (MDEs) para avaliar a precisão dos mapeamentos de inundação utilizando como área de estudo o município de Torres, Rio Grande do Sul, que está situado no Geoparque Mundial da UNESCO Caminho dos Cânions do Sul. Foram utilizados os modelos SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e DiluviumDEM, ambos com resolução espacial de 30 metros, que permitem avaliações preliminares de menor custo e tempo. Com base nos cálculos estatísticos do Erro Médio Absoluto (MAE) e da Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE), foram utilizados 12 pontos de RNs (Referências de Nível) do IBGE como pontos de controle, os quais possuem precisão centimétrica necessária para a comparação dos erros entre os modelos. Obtiveram-se os seguintes resultados para o SRTM: MAE = 7,27 m; RMSE = 12,23 m; e para o DiluviumDEM: MAE = 1,24 m; RMSE = 10,24 m, indicando uma maior acurácia do DiluviumDEM. A partir disso, foram geradas isolinhas de altitude a cada metro e polígonos representando as áreas inundadas para os níveis de elevação do mar de 1, 3, 5, 8 e 10 metros. Considerando que o município de Torres compreende uma área total de 160,54 Km², então as porcentagens calculadas de área inundada para o SRTM foram: 2% com 1 m, 14% com 3 m, 30% com 5 m, 46% com 8 m e 62% com 10 m. Já para o DiluviumDEM, os valores foram: 7% com 1 m, 31% com 3 m, 43% com 5 m, 64% com 8 m e 76% com 10 m. A maior discrepância entre os modelos foi identificada na elevação de 8 metros, onde é observada uma diferença de 18%. Os resultados obtidos são preliminares e mostram que o DiluviumDEM prevê um impacto ligeiramente maior em todas as elevações simuladas, o que pode indicar que o SRTM subestima a área de inundação. Para melhor exatidão na delimitação das áreas vulneráveis, e comparação dos resultados obtidos com esse modelo com métodos mais sofisticados, serão realizados estudos futuros com o uso de modelos de alta resolução e maior acurácia, como aqueles obtidos por sensores LiDAR e GNSS RTK. Além disso, esse estudo não considera outros fatores geológicos que influenciam a elevação do nível do mar e o avanço da linha de costa, como erosão costeira, vazão dos sistemas hídricos, volume do aquífero freático e taxa de sedimentação. Dessa forma, para um planejamento costeiro mais eficiente, é necessário integrar essas variáveis aos modelos digitais de elevação. Os resultados preliminares obtidos reforçam a importância de avaliações contínuas para a gestão de riscos e resiliência das áreas costeiras aos impactos da elevação do nível do mar. Estudos futuros pretendem considerar o uso de DEMs com resolução centimétrica e a inclusão de processos geomorfológicos e hidrodinâmicos para um mapeamento mais preciso das áreas vulneráveis.

Palavras-chave: Elevação do Nível do Mar, SRTM, DiluviumDEM.

DADOS SÍSMICOS INTEGRADOS À MODELAGEM GEOLÓGICA 3D APLICADA À DELIMITAÇÃO DE TRAPAS PARA ARMAZENAMENTO GEOLÓGICO DE CO₂ NA REGIÃO SUL DO ESTADO DE SP

Elson Rian Rodrigues de Albuquerque¹, Saulo Batista de Oliveira²

¹Universidade de São Paulo, e-mail: elson.albuquerque@usp.br

²Universidade de São Paulo, e-mail: sauloboliveira@usp.br

O ano de 2024 foi marcado pelo registro recorde da temperatura média global do planeta, com 1,5°C acima da média pré-industrial, conforme acordado na 21ª Conferência das partes (COP21), através do Acordo de Paris, que visa mitigar os impactos do desbalanço climático global; fruto das altas concentrações dos Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera, dada as emissões antrópicas. O Brasil, um dos países signatários do acordo, apresentou, na última COP29, suas metas e ações para redução das emissões de CO₂ – um dos principais GEE – até 2035, citando a tecnologia de Captura e Armazenamento de Dióxido de Carbono (CCS) como uma das ferramentas principais para cumprir os objetivos de transição energética e descarbonização dos setores de produção. A tecnologia de CCS consiste na captura do dióxido de carbono diretamente do ar ou dos processos industriais, seguido de transporte e armazenamento em uma formação geológica com mecanismos viáveis de aprisionamento, durante um longo período. Dentre as opções de formações para o armazenamento, pode-se citar reservatórios de óleo e gás depletados. No Brasil, a Bacia do Paraná se apresenta como um grande potencial geológico para o armazenamento de CO₂, devido à alta concentração de fontes estacionárias emissoras e a ampla ocorrência de formações geológicas com mecanismos suscetíveis, como os sistemas petrolíferos: Ponta Grossa-Itararé (PG-It) e Irati-Rio Bonito (I-RB), que possuem soleiras de diabásio como rocha-selante, tendo-se como referência o Campo de gás de Barra Bonita, atualmente em produção. O presente trabalho, a partir da interpretação sísmica 2D de 23 seções localizadas ao sul do Estado de São Paulo – região onde se concentram as principais fontes emissoras do país – utiliza uma abordagem integrada por meio dos softwares OpendTect e Leapfrog, com o objetivo de importar os horizontes interpretados dos defletores de modo a realizar a modelagem geológica 3D híbrida (implícita e explícita conjuntamente) para análise da distribuição espacial da litoestratigrafia da área de estudo e das soleiras de diabásio, em busca de regiões com configurações favoráveis ao armazenamento de CO₂. Os próximos passos do trabalho consistem na análise estrutural da região, de modo a mapear falhas que possam influenciar na busca por alvos associados às soleiras de diabásio, além da análise e cálculo de volume dos reservatórios que se mostrarem mais promissores.

Palavras-chave: CCS, Bacia do Paraná, Sistema Petrolífero.

AGRUPAMENTOS ANINHADOS NA MODELAGEM DE RECURSOS MINERAIS

João Pedro Gross Lague¹, Diego Machado Marques¹, Laisa Cristine Suhre¹

¹UFRGS, e-mail: joaopedrogrosslague@gmail.com

¹UFRGS, e-mail: laisasuhre@gmail.com

¹UFRGS, e-mail: diego.marques@ufrgs.br

Nas últimas décadas, observa-se um avanço expressivo na aplicação de métodos quantitativos nas Geociências, sobretudo em atividades de modelagem de depósitos minerais. Uma etapa fundamental nesse processo é a definição de domínios estacionários, que constitui a base para a aplicação de técnicas geoestatísticas. No entanto, essa definição nem sempre é uma tarefa trivial, uma vez que depende de atributos físicos e químicos frequentemente subamostrados no espaço geológico. Embora, historicamente, a definição de domínios tenha se apoiado majoritariamente em critérios geológicos, verifica-se atualmente uma crescente adoção de abordagens baseadas na análise estatística das populações de dados, buscando garantir a homogeneidade estatística dos domínios delimitados. No contexto da modelagem de recursos naturais, essa abordagem quantitativa tem papel central, especialmente quando associada às técnicas de aprendizado de máquina, que vêm se consolidando como ferramentas relevantes para o tratamento de grandes volumes de dados geoquímicos e geológicos. Métodos de agrupamento, classificados como técnicas de aprendizagem não supervisionada, vêm sendo empregados com o objetivo de identificar padrões e estruturar os dados em populações estatisticamente coerentes, conhecidas como clusters. O trabalho aqui apresentado insere-se nesse cenário de transformação tecnológica e metodológica. Propõe uma abordagem não convencional para a definição de domínios estacionários, utilizando algoritmos de agrupamento aplicados de forma hierárquica, orientada por uma árvore de decisão construída com base em critérios geoquímicos. A aplicação dessa metodologia foi realizada em um depósito de ferro, no qual a definição dos domínios foi conduzida de maneira binária e progressiva, seguindo uma lógica de particionamento que combina conhecimento geológico com análise multivariada. Apesar dos avanços recentes, é importante destacar que o uso dessas ferramentas não substitui o conhecimento geológico, que permanece essencial na condução das análises e na validação dos resultados. Nesse sentido, o trabalho também discute a importância de métodos de validação estatística e geoestatística, que permitem avaliar a robustez dos domínios gerados e, consequentemente, a qualidade dos modelos produzidos. Assim como vem ocorrendo em diversas áreas das Geociências, a integração entre conhecimento geológico, métodos quantitativos e ferramentas de inteligência artificial se apresenta como um caminho promissor para reduzir incertezas e aprimorar os processos de modelagem de depósitos minerais.

Palavras-chave: Geoestatística, Aprendizado de máquina, Domínios estacionários.



SESSÃO TEMÁTICA 06

AVALIAÇÃO DE RISCOS E INCERTEZAS

COORDENADORES:
Lindaura Maria Steffens
Iata Anderson de Souza

INFERÊNCIA DE MÉTRICAS RELACIONADAS ÀS ROCHAS DO PRÉ-SAL COM MEDIDAS DE ERRO

Miguel A. S. Bicudo¹, Daniel S. Menasché¹, Francisco Tognoli^{2,3}, Julia Favoreto³, Leonardo Borghi³

¹UFRJ, Instituto de Computação (IC), masbicudo@ic.ufrj.br, sadoc@ic.ufrj.br

²Laboratório de Geologia Quantitativa (QG Lab | UFRJ), franciscotognoli@igeo.ufrj.br

³Laboratório de Geologia Sedimentar (LAGESED | UFRJ), julia@geologia.ufrj.br, lborghi@geologia.ufrj.br

A quantificação e a classificação de porosidades são etapas essenciais no estudo de reservatórios de petróleo, especialmente em rochas carbonáticas do intervalo Pré-sal da Bacia de Santos. No entanto, essas medidas estão sujeitas a erros e incertezas que impactam diretamente as estimativas de volume de petróleo e a viabilidade da exploração. Este estudo propõe uma metodologia para identificar e quantificar incertezas em medidas e classificações de porosidades, a partir de lâminas petrográficas de rochas carbonáticas do intervalo Pré-sal da bacia de Santos. Para isso foram utilizados recursos da área de visão computacional, tais como processamento de imagens e aprendizado de máquina aplicado a imagens. As porosidades são identificadas através de pixels azuis da impregnação de resina aplicada, a partir das quais podemos obter medidas como a porosidade em porcentagem. Esse processo está sujeito a erros, devidos a vários fatores, que incluem: 1) a escassez de imagens de lâminas devido ao seu alto custo de produção, que pode ser mitigada com perturbação das amostras obtidas para estimar variabilidade estatística 2) imperfeições nas imagens devido às bolhas na resina e às bordas das imagens, para as quais propomos algoritmos de detecção (figura 1) 3) os parâmetros utilizados na segmentação das imagens, que variam a depender da imagem e do recorte da imagem, coletados com auxílio de geólogos de variados níveis de conhecimento, via *software* interativo por nós desenvolvido. Os dados colhidos podem então ser usados para obter estimativas de erro, em função das similaridades e divergências entre as métricas produzidas por diferentes métodos e parametrizações. Propomos também duas formas de classificar as porosidades encontradas nessas lâminas. Na primeira abordagem, supervisionada, treinamos uma rede neural *encoder* para identificar porosidades móldicas em uma imagem (figura 2). Na segunda abordagem, não supervisionada, treinamos uma rede neural *autoencoder* (figura 3), a fim de obter parâmetros em 2 dimensões os quais são posteriormente agrupados usando o algoritmo *Principal Component Analysis* (PCA). Em conjunto, os resultados obtidos permitem quantificar o impacto das diferentes fontes de erro e contribuem para análises mais robustas de reservatórios.

Palavras-chave: incerteza, porosidade, rede neural artificial, coquinas, Pré-sal.

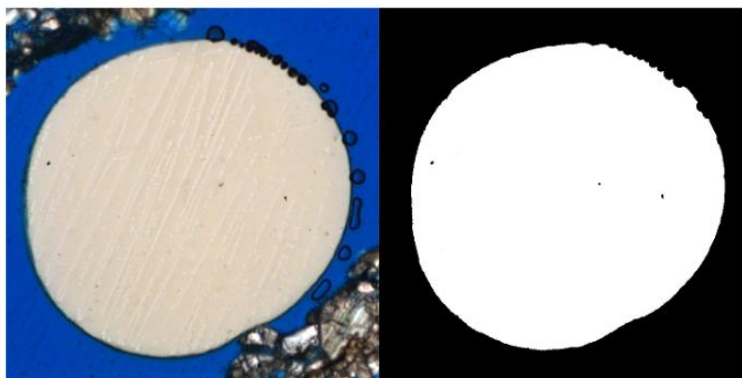


Figura 1: Exemplo do processo de identificação de bolha, o que permite calcular o erro na medida de porosidade.

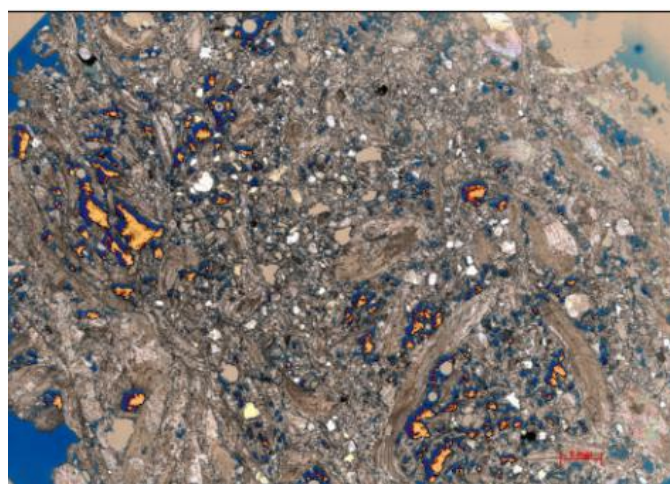


Figura 2: inferência de porosidades móldicas indicadas na imagem com a cor amarela com diferentes graus de confiança.

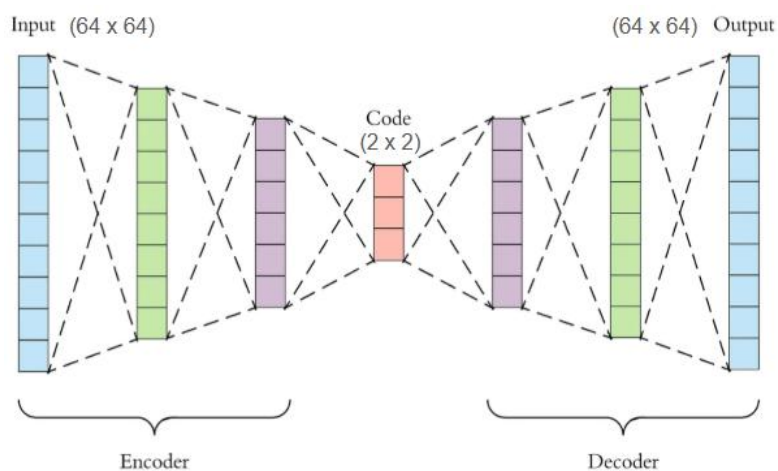


Figura 3: Ilustração da rede neural *autoencoder*.

UMA MODELAGEM QUANTITATIVA PARA O SISTEMA CLIMÁTICO GLOBAL (SCG)

Paulo C. Soares¹

¹Universidade Federal do Paraná, p_soares@terra.com.br

O objetivo desta pesquisa é o desenvolvimento de um modelo naturalista quantitativo para as variações climáticas atuais. A energia interna (EIS) do SCG é dada pela soma do calor sensível da massa troposférica (CST) com o calor latente do vapor d'água (CLW). Esta energia é disponibilizada para o sistema climático pela irradiância solar ($TSI = 1362 \pm 2 \text{ W/m}^2$), em ondas curtas (OC), com média global anual (SIM) de $341 \pm 1 \text{ W/m}^2$. É dividida em de três frações: (1) radiação absorvida pela água e terra ($RAT = 161 \text{ W/m}^2$; 47%) e reemitida não inteiramente (RF) como ondas longas para o SCG; (2) radiação refletida nas nuvens ($RRN = 78 \text{ W/m}^2$); (3) radiação refletida na superfície ($RRS = 24$); (4) radiação diretamente absorvida na atmosfera pelo sistema ($RAS = 78 \text{ W/m}^2$). A temperatura média do ar na superfície também tem aumentado, cerca de 2°C desde a pequena Idade do Gelo (LIA, século 17) e em torno de 1°C no último século. Ciclos menores, tanto na variação da temperatura como na pluviosidade, como El Niño-La Niña também são identificados na zona intertropical. Três mecanismos naturais primários podem ser utilizados pelo sistema, independentes da ação humana, para gerar aquecimento/resfriamento natural e regulação: (1) a variação na atividade solar; (2) variação no descarte de energia por reflexão pelas nuvens; (3) variação na irradiação de energia para o espaço. Os dois últimos são mecanismos retroalimentadores e reguladores. O aumento do calor retido no sistema resulta da retroalimentação positiva, através do aumento da retenção interna pelo efeito estufa, devido ao vapor (H_2O) e o CO_2 na troposfera, que por sua vez é uma decorrência da menor absorção pelo oceano, por estar mais aquecido. A auto-regulação ocorre pela saturação de vapor, com anuviamento, maior reflexão e descarte da energia solar, seguido de resfriamento e precipitação. A modelagem quantitativa realizada considera as escalas temporais: (1) na escala multi secular, o aumento de 2°C (TSI), foi uma resposta a um aumento de radiação média incidente, $SIM = 0,5 \text{ W/m}^2$, logo uma sensibilidade térmica (STRS) de $4^\circ\text{C}/(\text{W/m}^2)$; (2) na escala multidecadal para decadal, o aumento médio global de $SIM = 0,25 \text{ W/m}^2$, no ciclo de Schwabe, correspondente a um aumento de $0,25^\circ\text{C}$, uma STRS de $1^\circ\text{C}/(\text{W/m}^2)$; (3) Na escala plurianual (3 a 5 anos) as respostas climáticas são dependentes da região geográfica, correspondendo aos picos e vales não modelados. A variação da temperatura média do sistema climático em um intervalo de tempo é proporcional ao somatório das frações do fluxo solar fS , de cada uma das componentes radiativas, transformadas em calor e com uma fração (y_i) retida no sistema. Para cada componente i tem-se a variação temporal da temperatura definida como: $dT_i/dt = STRSi * fSi$ e $\Delta T_i = STRSi * \sum (y_i fSi) - Ci$, onde Ci , y_i e $STRSi$ são parâmetros ajustáveis. A sensibilidade térmica do sistema em relação à radiação solar (STRS) refere-se à variação temporal da temperatura dT/dt com o fluxo solar $fS = dE/dt$. A modelagem pode considerar diversas forçantes, naturais e antropogênicas. São testadas duas forçantes da irradiância, uma vez que as demais são dependentes da temperatura da água do oceano, que por sua vez é dependente da insolação. Com a calibração de quatro parâmetros, obtém-se um bom ajuste, com correlação de 0,92, com a série padrão (NOAA (www.noaa.gov)). Esta modelagem pode ser utilizada em previsões climáticas, pois a variação ocorre com excelente previsibilidade como um conjunto de harmônicas. O valor final de $T(t)$ é o resultado da adição das séries calculadas.

Palavras chaves: modelagem, sistema climático, influência solar.

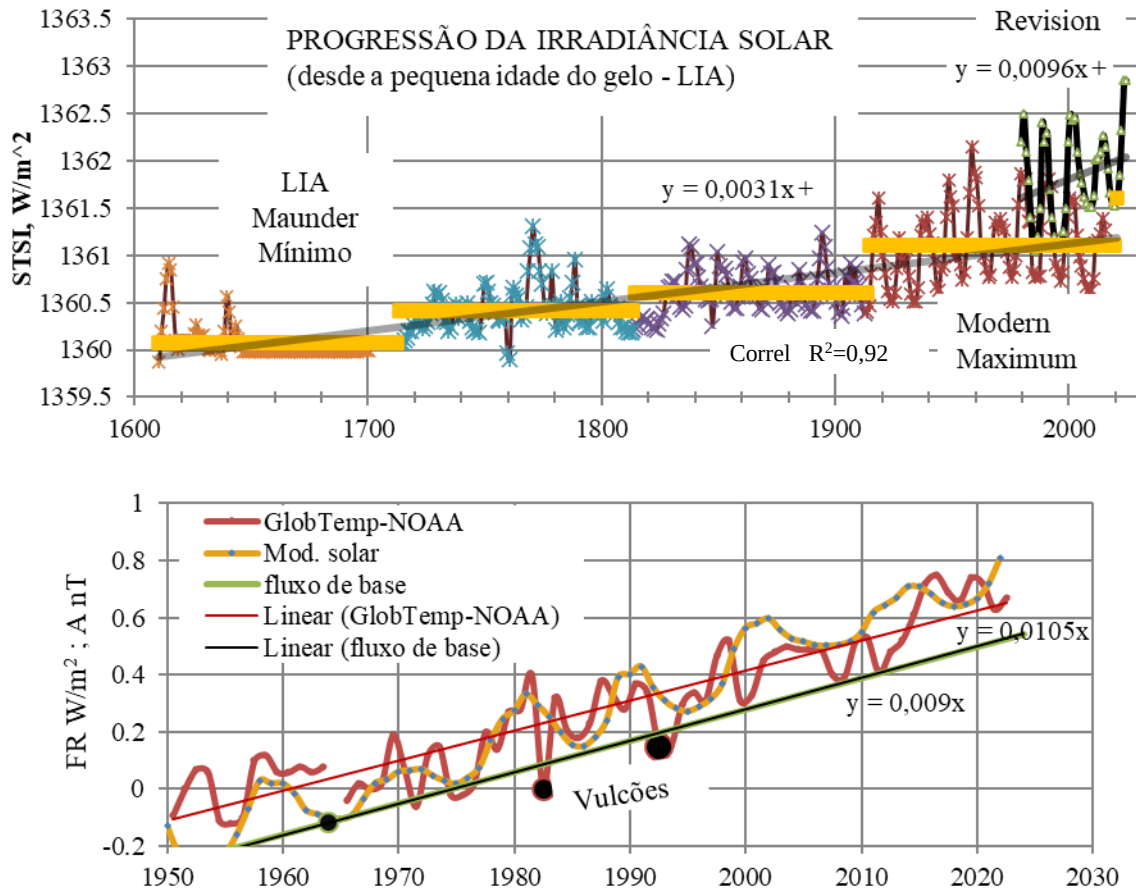


Figura1 (A). Progressão da irradiação solar nos últimos três séculos, desde o período do mínimo de Maunder e da Pequena Idade do Gelo (1650-1725) até o grande máximo moderno nos últimos quarenta anos, reproduzindo a média mais elevada para cada um dos ciclos sucessivos (barra amarela) e a tendência geral (linha cinzenta), confirmada pelo novo nível do 25.º ciclo solar em curso. (Dados da NOAA, acesso em 23/07/2024; dados revistos (série em preto, após 1980, com base na representação gráfica de Coddington et al., 2021 e Richards et al., 2024; NASA; Soares, P.C. em prep.). (B) Vermelho: série de variação na temperatura média global sobre os oceanos (composição NOAA, 2024), comparada com a série calculada (em amarelo) pelo modelo baseado apenas na integração da atividade solar (NOAA, revisada e ajustada à série pré-1980).

ALTERNA UMA FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DE RISCO E ANÁLISE DE INCERTEZA S APLICADA À AVALIAÇÃO DE SISTEMAS PETROLÍFEROS

Ismael H. F. Santos¹, Jose Alberto de Araujo¹, Carlos Pinto Fracalossi¹, Mathieu Ducros²,
Anna Alice Couto Gomes³, Nicolas Stevam Amancio de Oliveira⁴

¹PETROBRAS, e-mail: ismaelh@petrobras.com.br, josearaujo@petrobras.com.br,
carlos.fracalossi@petrobras.com.br

²Kognitus, e-mail: mathieu@kognitus.com.br

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: anna.gomes@ufrgs.br

⁴Universidade Federal da Bahia, e-mail: amancio.oliveira@ufba.br

A avaliação de sistemas petrolíferos envolve um conjunto de variáveis geológicas complexas e incertas, especialmente em áreas com arquitetura geológica intrincada ou dados limitados, como no caso do Pré-sal brasileiro. O Alterna é uma plataforma computacional desenvolvida com o objetivo de integrar essas incertezas geológicas em modelos robustos, utilizando técnicas de aprendizado de máquina e métodos estatísticos para mapear os principais riscos associados aos sistemas petrolíferos. Diferentemente das abordagens determinísticas tradicionais como sensibilidade “one-at-a-time”, ou avaliações subjetivas baseadas em cenários construídos pelos geólogos, o Alterna permite realizar análises de sensibilidade e de incertezas estatisticamente robustas, fornecendo informações importantes para a redução do risco exploratório auxiliando na tomada de decisões. O sistema fornece uma visão estatística integrada do comportamento do sistema petrolífero através da criação de um modelo de aprendizado de máquina, capaz de prever os resultados de simulações numéricas dos processos geológicos e da quantificação probabilística de parâmetros-chave. Como exemplo de aplicação, o Alterna foi utilizado em um campo do Pré-sal, localizado na Bacia de Santos, com significativa complexidade geológica. Dentre as principais incertezas destaca-se a maturidade térmica das rochas geradoras, cuja evolução depende fortemente da espessura do pacote salino da formação subjacente sobre a qual existe uma incerteza relevante. Outra incerteza considerada foi com relação a capacidade de acumulação de hidrocarbonetos que é dependente da qualidade das rochas selantes do Pós-sal e da existência de caminhos de migração através das janelas no sal. Essas informações demandam tempo e estudos geológicos e geoquímicos para a sua determinação. O Alterna foi utilizado para analisar o efeito dessas incertezas sobre o funcionamento do sistema petrolífero e identificar zonas com maior potencial de acumulação. Os resultados permitiram mapear regiões com alta probabilidade de maturidade adequada, assim como áreas onde o risco permanece elevado devido à ambiguidade na configuração dos selos e das rotas de migração. Além da maturidade, o Alterna também permite estudar as incertezas sobre outros elementos do sistema petrolífero, como a análise de sobrepressões. Essa capacidade é particularmente valiosa para que as decisões sejam tomadas com base em análises probabilísticas transparentes e replicáveis. A metodologia adotada pelo Alterna é baseada em técnicas de aprendizado de máquina supervisionado e não supervisionado, algoritmos de propagação de incertezas e análise de sensibilidade, que permitem compreender quais variáveis mais impactam a presença ou ausência de hidrocarbonetos, e a integração com simuladores de sistemas petrolíferos comerciais e desenvolvidos internamente. O treinamento do modelo do Alterna é executado em etapas conforme Figura 1 acima. Numa primeira etapa foram criados diversos cenários com diferentes configurações dos parâmetros selecionados para a quantificação das incertezas. Para cada cenário são executadas simulações e os resultados são extraídos e projetados no espaço latente do algoritmo de aprendizado do Alterna. Por fim, modelos de regressão são usados para “aprender” os coeficientes de projeção no espaço latente das simulações de treinamento. Uma vez tendo o modelo treinado no Alterna, é possível prever novos resultados multidimensionais por predição dos valores dos coeficientes e recombinação dos espaços latentes.

Palavras-chave: Sistemas Petrolíferos, Modelagem de Bacias, Análise de Risco e Incertezas

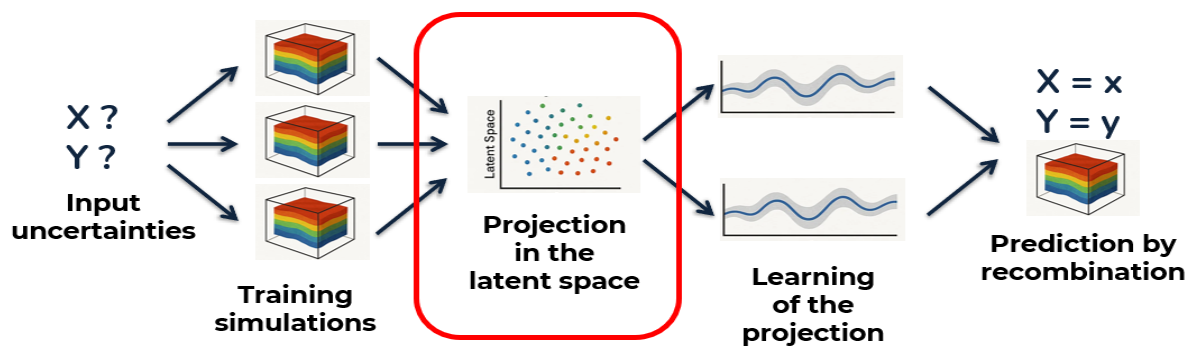


Figura 1 : Ilustração do fluxo seguido para treinar o modelo de aprendizado de máquina que permita prever resultados multidimensionais.

ANÁLISE DE RISCO DE INFLUXO EM SEQUÊNCIAS EVAPORÍTICAS UTILIZANDO LÓGICA FUZZY E ATRIBUTOS SÍSMICOS

Frederico Zavam¹, Gustavo Luan Cardoso², Richard Ney Guimarães Dantas³

¹PETROBRAS, e-mail: fzavam@petrobras.com.br

²PETROBRAS, e-mail: gustavoluan@petrobras.com.br

³PETROBRAS, e-mail: richarddantas@petrobras.com.br

A perfuração de poços em sequências evaporíticas impõe desafios operacionais, dentre os quais se destaca o influxo de água pressurizada para o interior do poço. Essas zonas sobrepressurizadas, embora raras, podem comprometer a estabilidade do poço, causar atrasos operacionais e elevar os custos do projeto. A adequada caracterização e quantificação do risco de ocorrência desses eventos é, portanto, essencial para o planejamento de projetos de perfuração e para a definição de estratégias preventivas. Este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia de análise de risco de influxo de água em sequências evaporíticas, em escala 1D (ao longo dos poços) e 2D (em mapa), utilizando uma abordagem baseada em Lógica Fuzzy. A metodologia considera diferentes hipóteses associadas à geração de sobrepressões, como a formação de bolsões de salmoura em dobras no sal, a liberação de água por desidratação de sais hidratados e alterações mineralógicas causadas por intrusões ígneas. Essas hipóteses foram representadas por meio de variáveis espaciais derivadas de dados sísmicos e atributos geofísicos. A presença de sais hidratados foi representada a partir do mapa de isópacas de sais estratificados e hidratados. O mapa de presença de corpos ígneos foi construído com base em *geobodies* extraídos do volume de impedância acústica. E as áreas com dobras, foram identificadas pelo mapa de curvatura média, com a soma dos valores positivos para destacar as regiões com anticlinais. Cada um dos mapas foi reclassificado para refletir o grau de associação de risco de influxo. Essa reclassificação transforma os dados de entrada em uma escala de 0 a 1, representando o grau de pertencimento a proposição de risco de influxo. Valores próximos de 0 indicam baixa associação com o risco, enquanto valores próximos de 1 indicam alta possibilidade de ocorrência do evento. Essa etapa permitiu modelar, de modo aproximado as hipóteses de risco, fornecendo uma resposta aproximada de um conhecimento que é inexato e interpretativo. Os mapas então reclassificados foram integrados no sistema *fuzzy* para gerar a estimativa espacial do risco de influxo. A aplicação do modelo em um campo de petróleo da Bacia de Santos permitiu identificar zonas críticas de risco que apresentaram boa correspondência aos eventos históricos registrados. Para validação do risco em profundidade, foram extraídas curvas dos atributos sísmicos ao longo de poços situados nessas zonas críticas. As curvas foram reclassificadas conforme a mesma lógica empregada no estudo em mapa, possibilitando a estimativa do risco ao longo do caminho do poço. Os resultados indicaram profundidades coerentes com aquelas onde os eventos de influxo foram registrados, demonstrando aderência do modelo tanto em mapa (2D) quanto em profundidade (1D). Conclui-se que a Lógica Fuzzy constitui uma ferramenta promissora para a gestão de riscos na perfuração de poços em ambientes geológicos complexos, especialmente em contextos em que os fatores de risco ainda não estão plenamente compreendidos. Esta abordagem possibilita a incorporação de novas hipóteses, a substituição ou reavaliação das variáveis analisadas, a modificação dos critérios de reclassificação e a recalibração dos pesos atribuídos conforme o conhecimento sobre os riscos evolui.

Palavras-chave: lógica fuzzy, evaporitos, influxo

ESTIMATIVA DE DENSIDADE DE ROCHA COM REDE NEURAL PARA REDUÇÃO DE INCERTEZA EM MODELOS GEOMECÂNICOS 1D

Henrique Rede Barreto Amaral¹

¹Petrobras, e-mail: henrique.rede@petrobras.com.br

A análise geomecânica 1D de poços de petróleo baseia-se em dados obtidos a partir de perfis geofísicos adquiridos durante a perfuração, como o perfil de densidade de rocha e o perfil sônico (tempo de trânsito). Essas informações permitem derivar propriedades mecânicas das rochas, fundamentais para estimativas de tensões in situ. A cadeia de equações envolvida na construção do modelo geomecânico está sujeita a incertezas associadas a cada variável, sendo a quantificação e propagação dessas incertezas essenciais para garantir maior confiabilidade no modelo e embasar decisões críticas, como limites de janela de fluido de perfuração. Cabe ao modelador, portanto, buscar formas de minimizar essas incertezas sempre que possível. A densidade de rocha é uma variável-chave nesses cálculos, porém nem sempre está disponível devido à ausência de perfil, falhas de aquisição ou problemas operacionais. Nessas situações, a equação de Gardner é comumente utilizada para estimar a densidade a partir da velocidade sônica:

$$\rho \text{ (g/cm}^3\text{)} = a \cdot V^b$$

sendo a e b são parâmetros ajustáveis, e V é a velocidade sônica (m/s). Apesar de amplamente aplicada, a correlação de Gardner possui limitações e pode introduzir incertezas significativas, especialmente em ambientes geológicos complexos ou heterogêneos. Este estudo propôs o uso de uma rede neural artificial simples para estimar a densidade de rocha a partir de variáveis disponíveis mesmo na ausência do perfil de densidade: tempo de trânsito (Δt), profundidade (cota e soterramento) e litologia. A rede foi treinada com aproximadamente 4,5 milhões de dados provenientes de 690 poços localizados nas bacias de Santos, Campos e Espírito Santo. O desempenho do modelo foi avaliado com métricas como RMSE, MAE e R^2 , demonstrando resultados significativamente superiores àqueles obtidos com a equação de Gardner. Para validar o impacto da melhoria na estimativa de densidade, os valores foram utilizados em uma equação empírica para predição da resistência à compressão uniaxial da rocha (UCS). A utilização da densidade estimada pela rede neural resultou em uma redução média da incerteza da UCS em aproximadamente 280 psi, quando comparado à aplicação do modelo de Gardner. Os resultados indicam que o uso de modelos de aprendizado de máquina, mesmo em configurações simples, pode contribuir de forma efetiva para a redução das incertezas associadas a variáveis críticas em modelos geomecânicos, aprimorando a qualidade das estimativas e suportando decisões mais seguras na perfuração de poços.

Palavras-chave: Geomecânica, rede neural, análise de incerteza.

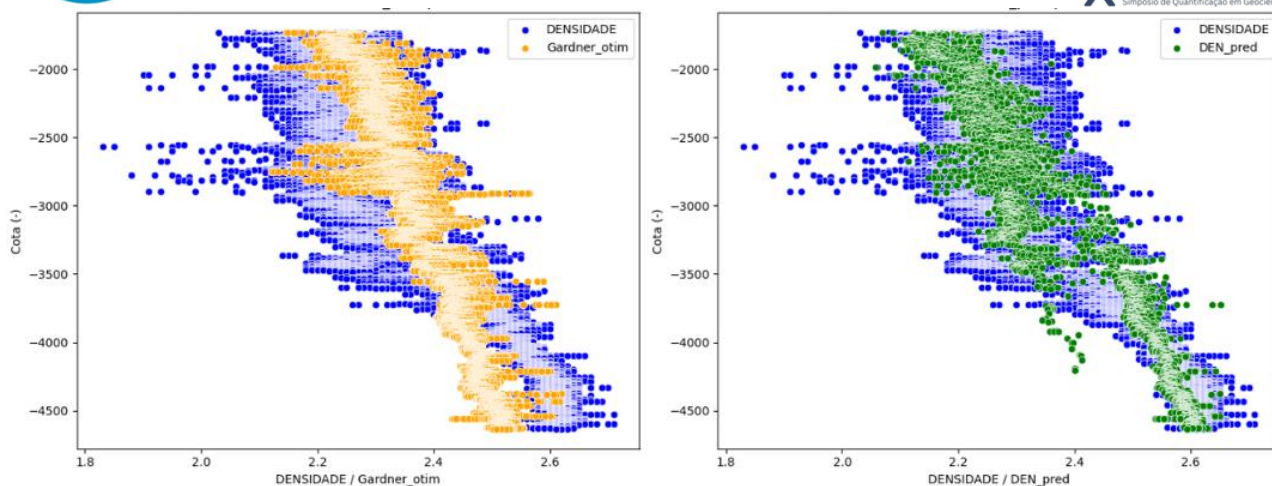


Figura 1: Comparação entre as metodologias para um mesmo poço: À esquerda dados da densidade estimada a partir de Gardner (parâmetros otimizados para melhor ajuste aos dados de treino). À direita, densidade estimada a partir da rede neural. Em ambos os gráficos os dados em azul são os valores de densidade real adquirida durante a perfuração.

ANÁLISE DA INCERTEZA NA MODELAGEM GEOLÓGICA EM DEPÓSITOS MINERAIS DE FERRO

Ismael Longo¹, Diego Machado Marques², João Pedro Gross Lague³

¹UFRGS, e-mail: Ismael.longo31@gmail.com

²UFRGS, e-mail: Diego.marques@ufrgs.br

³UFRGS, e-mail: Joaopedrogrosslague@gmail.com

A exploração de recursos minerais é uma atividade de alto risco, sendo um dos maiores desafios enfrentados pelas empresas a distribuição espacial do material que se deseja extrair. Por esse motivo, o modelamento geológico do depósito mineral é uma etapa crucial na determinação da viabilidade econômica do projeto. Apesar de inicial, esta fase é amplamente conhecida pela sua complexidade. Atualmente existem ferramentas avançadas capazes de criar modelos geoestatísticos que possam auxiliar nesta etapa, permitindo análises e interpretações dos dados espacialmente, facilitando assim a compreensão do fenômeno. Através disso, é possível determinar a viabilidade econômica de um depósito mineral, otimizar o planejamento de lavra, identificar áreas com maior potencial de exploração, entre outras aplicações. No presente trabalho foi proposta a utilização de simulação geoestatística como ferramenta auxiliar na tomada de decisão na etapa de modelagem geológica. Simulações são técnicas estocásticas, ou seja, as quais permitem a incorporação de um modelo probabilístico em diferentes áreas na análise de risco e incerteza. A técnica abordada se refere a Simulação Sequencial dos Indicadores, popularmente conhecida pela sigla SSI, a qual permite a geração de diferentes possíveis cenários equiprováveis da realidade do depósito mineral. Esta técnica traz benefícios para a etapa de modelagem pois é capaz de dimensionar a incerteza associada ao fenômeno devido ao seu comportamento estocástico, ou seja, probabilístico através das diferentes realizações equiprováveis da realidade que é capaz de gerar. As simulações condicionais, amplamente utilizadas em geoestatística, buscam honrar a realidade e as estatísticas da distribuição (depósito) alvo, buscando reproduzir a continuidade espacial deste fenômeno através dos variograma e a própria distribuição e estatística original dos dados. Através dessas premissas, esta técnica busca dimensionar a incerteza e fazer análises de risco dentro da cadeia de predição de recursos. O banco de dados presente refere-se a um depósito de ferrífero situado no Quadrilátero Ferrífero, onde foi possível através de simulações gerar diferentes cenários equiprováveis para o domínio IBS, tipologia predominante na reserva. Através dos resultados foi possível quantificar a incerteza na modelagem, auxiliando na tomada de decisão como a interpretação geológica. Também foi quantificado os possíveis volumes dos cenários equiprováveis e comparados posteriormente ao modelo krigado.

Palavras-chave: Geoestatística; Simulação Sequencial dos Indicadores, Minério de Ferro

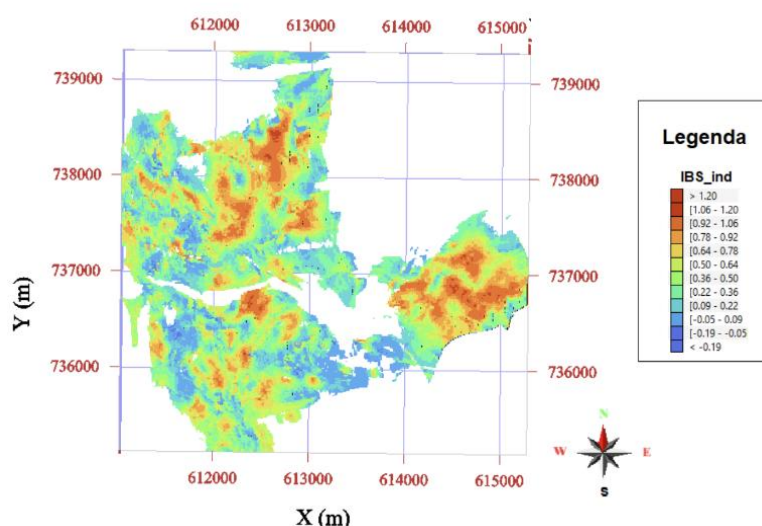


Figura 1: Mapa da Krigagem dos Indicadores para o domínio IBS (Itabirito Brando Silicoso)

SOFTWARE INTERATIVO PARA QUANTIFICAÇÃO DAS INCERTEZAS ACERCA DE MEDIDAS DE POROSIDADE

Miguel A. S. Bicudo¹, Daniel S. Menasché¹, Francisco Tognoli^{2,3}, Julia Favoreto³, Leonardo Borghi³

¹UFRJ, Instituto de Computação (IC), e-mail: masbicudo, sadoc@ic.ufrj.br

²UFRJ, Laboratório de Geologia Quantitativa (QG Lab), e-mail: franciscotognoli@igeo.ufrj.br,

³UFRJ, Laboratório de Geologia Sedimentar (LAGESED), e-mail: julia, lborghi@geologia.ufrj.br

A quantificação e a incerteza são um par indissociável nas Geociências. Um algoritmo computacional que se proponha a quantificar a incerteza, deve fazê-lo sempre levando em conta as médias, mas também as distribuições no entorno da média. Esse trabalho se propõe a medir as incertezas em medidas de porosidades realizadas em lâminas petrográficas de rochas carbonáticas do intervalo Pré-sal da bacia de Santos usando recursos de processamento de imagens e recursos de aprendizado de máquina aplicados a imagens. Para além das máquinas, convidamos geocientistas e profissionais da área com variados níveis de conhecimento e experiência para ajudar a entender melhor o espaço de parâmetros das aplicações de computação, a fim de que possamos entender e quantificar as incertezas de forma interativa. Para medir as incertezas na obtenção de medida de porosidade, esse trabalho apresenta: 1) um algoritmo para remoção de bolhas existentes na resina, as quais prejudicam as tentativas de estimar a porosidade de forma automatizada baseando-se apenas na quantificação de pixels azuis da impregnação de resina (figura 1); 2) um método usando aprendizado por máquina para classificar porosidades; 3) um aplicativo interativo para que imagens de lâminas possam ser facilmente identificadas e parametrizadas por geocientistas. A figura 2 apresenta uma imagem do *software* desenvolvido, em que o usuário seleciona uma região porosa a fim de trabalhar com seus parâmetros. A figura 3 apresenta o espaço de parâmetros do processo de segmentação por canais de cores (subfigura 3.1). Nessa tarefa, o usuário deve arrastar o *mouse* para alterar a segmentação (subfigura 3.2) e, finalmente, o usuário compara a segmentação com a imagem da lâmina original (subfigura 3.3). Desta forma, o *software* fornece uma forma prática para que o intérprete defina uma imagem segmentada, compatível com a imagem observada na fotomicrografia. As variações derivadas das percepções por diferentes intérpretes será a base fundamental para quantificar a incerteza associada à determinação da porosidade a partir de imagens e da percepção do geocientista.

Palavras-chave: incerteza, porosidade, rede neural artificial, coquinas, Pré-sal.

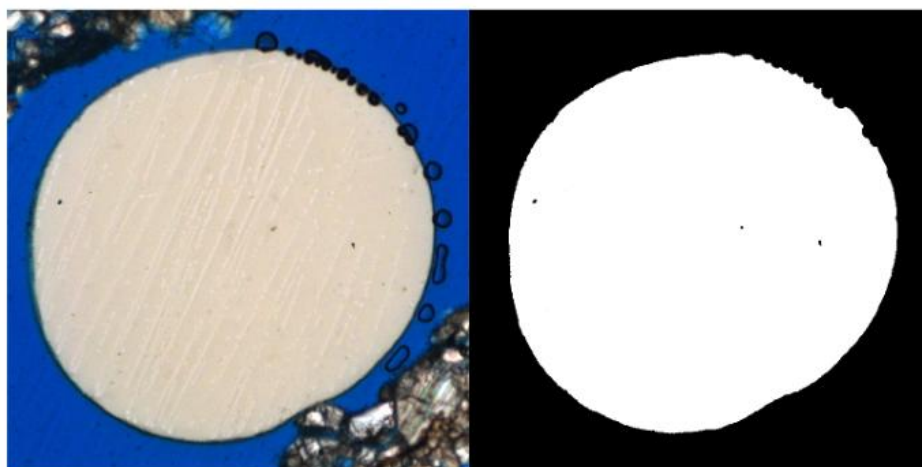


Figura 1: Processo de identificação de bolhas usada na automatização do cálculo de porosidade.



Figura 2: *Software* para recolhimento de parâmetros para detecção de porosidade, passo 1.

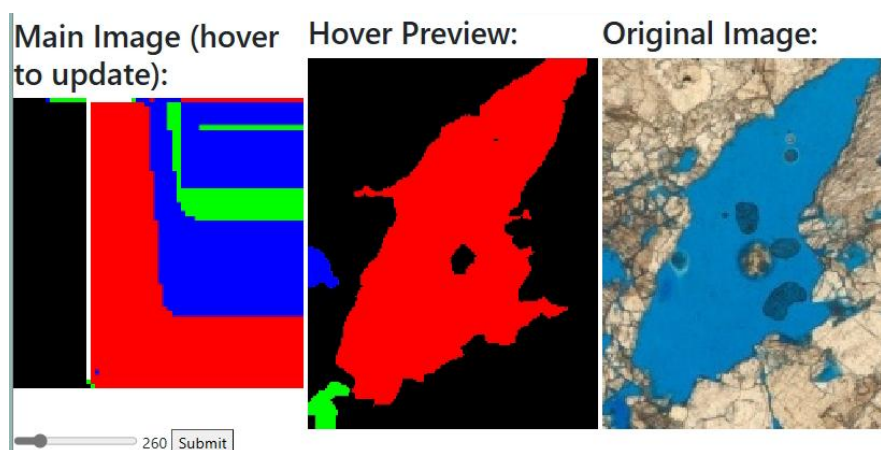


Figura 3: *Software* para recolhimento de parâmetros, visualização e detecção de porosidade, passo 2.

PROMOÇÃO



REALIZAÇÃO



PATROCINADOR DIAMANTE



PATROCINADOR OURO



PATROCINADOR BRONZE



APOIO



APOIO INSTITUCIONAL

