



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

RBGEA

REVISTA BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

2ª Edição Especial
números 1 e 2 de 2019



**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL**

REVISTA BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

Publicação Científica da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental

EDITORES

Prof. Dra. Alessandra Cristina Corsi – IPT
Prof. Dr. Eduardo Soares de Macedo – IPT
MSc. Erik Wunder – Estelar Engenheiros Associados

REVISORES

Adalberto Aurélio Azevedo – IPT	Jorge Kazuo Yamamoto – USP
Alberto Pio Fiori – UFPR	José Alcino Rodrigues de Carvalho – Univ. Nova de Lisboa (Port.)
Alessandra Cristina Corsi – IPT	José Augusto de Lollo – UNESP
Aline Freitas da Silva – DRM-RJ	José Domingos Gallas – USP
Andrea Valli Nummer – UFSM	José Eduardo Zaine – UNESP
Angelo José Consoni – TSAP	José Luiz Albuquerque Filho – IPT
Antonio Cendrero – Univ. da Cantabria (Espanha)	Kátia Canil – UFABC
Antonio Manoel Santos Oliveira – UNG	Leandro Eugênio da Silva Cerri – UNESP
Candido Bordeaux Rego Neto – IPUF/SC	Luis de Almeida Prado Bacellar – UNESP
Carlos Geraldo Luz De Freitas – IPT	Luiz Fernando D'Agostino – Nucleo
Clovis Gonzatti – CIENTEC	Luiz Nishiyama – UFU
Denise de la Corte Bacci – USP	Malva Andrea Mancuso – UFSM
Diana Sarita Hamburger – UFABC	Marcelo Denser Monteiro – Metrô – SP / UAM
Dirceu Pagotto Stein – Geoexec	Marcelo Fischer Gramani – IPT
Edilson Pissato – USP	Marcia Pressinotti – IG/SMA
Eduardo Brandau Quitete – IPT	Marcilene Dantas Ferreira – UFSCar
Eduardo Goulart Collares – UEMG	Marcio A. Cunha – Consultor
Eduardo Soares de Macedo – IPT	Maria Cristina Jacinto Almeida – IPT
Emilio Velloso Barroso – UFRJ	Maria Heloisa B.O. Frascá – Consultora
Eraldo L. Pastore – Consultor	Maria José Brollo – IG/SMA
Fábio Soares Magalhães – WALM	Marta Luzia de Souza – UEM
Fabricio Araujo Mirandola – IPT	Nelson Meirim Coutinho – GEORIO
Filipe Antonio Marques Falcetta – IPT	Newton Moreira de Souza – UnB
Flávio Almeida da Silva – Engecorps	Noris Costa Diniz – UnB
Frederico Garcia Sobreira – UFOP	Reinaldo Lorandi – UFSCar
Ginaldo Campanha – USP	Renato Luiz Prado – USP
Helena Polivanov – UFRJ	Ricardo Vedovello – IG/SMA
Jair Santoro – IG/SMA	Yociteru Hasui – Consultor
João Francisco Alves Silveira – Consultor	

APOIO EDITORIAL

Denise Amaral e Didiana Dórea

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Rita Motta – Editora Tribo da Ilha

Volume 9 (01 e 02)

2019

ISSN 2237-4590



DIRETORIA ABGE GESTÃO 2019/2020

Presidente: Delfino Luiz Gouveia Gambetti
Vice Presidente: Fernando Facciolla Kertzman
Diretora Secretária: Marcela Penha Pereira Guimaraes
Diretor Financeiro: Silvia Maria Kitahara
Diretor de Eventos: Renivaldo T. Campos
Diretor de Comunicação: Maria Heloisa B. Oliveira Frasca

Conselho Deliberativo da ABGE: Claudio Luiz Ridente Gomes, Delfino Luiz Gouveia Gambetti, Fabio Augusto Gomes Vieira Reis, Fernando Facciolla Kertzman, Francisco Nogueira de Jorge, Iramir Barba Pacheco, Ivan Jose Delatim, Jacinto Costanzo Junior, Joao Paulo Monticelli, Julio Yasbek Reia, Marcela Penha Pereira Guimaraes, Marcelo Denser Monteiro, Maria Heloisa B. Oliveira Frasca, Otávio Coaracy Brasil Gandolfo, Paula Sayuri Tanabe Nishijima, Raquel Alfieri Galera, Renata Augusta Rocha N. de Oliveira, Renivaldo T. Campos, Ricardo Antonio Abrahão, Ricardo Vedovello e Silvia Maria Kitahara.

NÚCLEO RIO DE JANEIRO

Conselho Deliberativo: Marcela Tuler Castelo Branco, Marcelo de Queiroz Jorge, Marcio Fernandes Leão, Nelson Meirim Coutinho, Rafael Silva Ribeiro, Raquel Batista Medeiros da Fonseca, Thiago Dutra dos Santos e Victor Augusto Hilquias Silva Alves.

NÚCLEO MINAS GERAIS

Conselho Deliberativo: Alberto Ferreira do Amaral Junior, Angelo Almeida Zenobio, Ellen Delgado Fernandes, Fabio Soares Magalhães, Inácio de Carvalho, Luis de Almeida P. Bacellar, Maria Giovana Parizzi, Thiago Marques Baptista Teixeira e Yan Lucas de Oliveira P. dos Santos

NÚCLEO SUL

Conselho Deliberativo: Andrea Valli Nummer, Cezar Augusto Burkert Bastos, Débora Lamberty, Erik Wunder, Hermam Vargas Silva, Malva A. Mancuso e Murilo da Silva Espíndola.

NÚCLEO CENTRO OESTE

Conselho Deliberativo: Bruno Diniz de Mello Moreira, Gabriel do Nascimento Ribeiro, Getúlio Ezequiel da C. Peixoto Filho, Joao Luiz Armelin, Kurt João Albrecht, Patricia de Araujo Romão, Ricardo Moreira Vilhena e Rodrigo Luiz Gallo Fernandes.

NÚCLEO NORTE

Conselho Deliberativo: Claudio Fabian Szlafsztein, Dianne Danielle Farias Fonseca, Elton Rodrigo Andretta, Iris Celeste Nascimento Bandeira, Luciana de Jesus P. P. Miyagawa, Milena Marília Nogueira de Andrade e Sheila Gatinho Teixeira.

ABGE Central

Gerente Executiva: Luciana Marques
Av. Prof. Almeida Prado, 532 | Prédio 36 | Cidade Universitária | São Paulo – SP
Fones: (11) 3767-4361 | (11) 3719-0661
E-mail: abge@abge.org.br | Site: abge.org.br

APRESENTAÇÃO

Este número da Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA) corresponde formalmente à primeira edição da revista após a realização do 16º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental (16º CBGE) em setembro de 2018, na cidade de São Paulo, ocasião em que comemoramos o jubileu da ABGE.

O tema que compôs o pano de fundo do evento foi “Geologia de Engenharia e Ambiental – Onde estamos e para onde vamos” em cujo contexto os Núcleos Regionais de ABGE apresentaram relatos dos respectivos “Desafios e Demandas Regionais de Geologia de Engenharia e Ambiental”, que foram publicados em nossa edição anterior.

Contudo, na reflexão de *onde estamos e para onde vamos*, é imperativo e inevitável recordar *de onde viemos*. Por isso, considerando o simbolismo da presente edição como a primeira desse novo ciclo da ABGE, a RBGEA inicia a seção “Nossa História” com a intenção de resgatar nossa memória técnica e nossa evolução como associação profissional através da reedição de artigos publicados em congressos passados. São publicações que, se não foram esquecidas, foram sufocadas por toda a produção técnico-científica que veio depois, mas que nunca deixarão de ser as bases mais fundamentais de nossa identidade profissional.

Inaugurando a Seção Nossa História, re-presentamos o artigo “Quatro Problemas Simples de Geologia Aplicada”, escrito pelo Engenheiro Professor Paulo Teixeira da Cruz e pelo Geólogo Professor Nivaldo José Chiossi, publicado originalmente na 1ª Semana Paulista de Geologia Aplicada (São Paulo, 1969) que constitui o primeiro evento técnico da ABGE, então Associação Paulista de Geologia Aplicada (APGA).

Nessa edição da RBGEA inauguramos também a Seção Contribuições e Reflexões onde nossa

comunidade pode compartilhar ideias, pensamentos e interpretações sobre a Geologia de Engenharia e Ambiental, com foco no âmbito geral de nossa atuação, nossa responsabilidade e do contexto onde nos inserimos na atual busca do Homem por uma melhor e mais harmoniosa convivência com o planeta. Nesta edição publicamos o texto “Geologia de Engenharia: A geociência aplicada que vê o homem enquanto agente geológico” do geólogo Álvaro Rodrigues dos Santos que nos oferece uma reflexão sobre o uso do conhecimento geológico aplicado à Geologia de Engenharia e a relação desta às demais áreas de conhecimento que compõem a grande área da Geotecnia. Publicamos também o texto do engenheiro geólogo Edézio Teixeira de Carvalho intitulado “Serra Fluminense em 2001 e 2020” que nos convida ao exercício de pensarmos em formas complementares de interpretar e agir frente aos fenômenos geológicos da dinâmica externa da Terra.

Completando a edição 2019, apresentamos oito artigos técnicos dos Simpósios que compuseram o Congresso, que foram indicados pelos Coordenadores desses eventos.

O artigo de Kaiber e colaboradores mostra uma avaliação da erodibilidade de materiais obtidos por misturas de resíduos de construção civil (RCC) com solos da região de Sinop/MT, utilizando o equipamento de Inderbitzen Modificado. Bandeira e colaboradores apresentam uma análise de um processo de erosão fluvial conhecido como Terras Caídas ocorrido no município de Porto Moz/PA, na margem direita do rio Amazonas. O trabalho de Nogueira e colaboradores apresenta as inovações metodológicas para a elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização do município de Itapecirica da Serra/SP. Silva e Silveira mostram a aplicação de técnicas de cartografia

morfológica para a compreensão dos processos morfodinâmicos atuantes na bacia hidrográfica do Ribeirão do Brejão, afluente da margem direita do rio Araguari, município de Nova Ponte/MG. Curtis Neto e colaboradores executaram uma campanha de ensaios de compressão diametral para avaliar o potencial de geração de finos de britagem de três litotipos oriundos de uma pedreira de produção de agregados em Limeira/SP. O artigo de Gomes e colaboradores traz um enfoque na determinação da área ocupada por depósitos de resíduos de construção civil por meio do tratamento de mapas e imagens aéreas. Cerri

e colaboradores apresentam uma reflexão sobre o distanciamento entre a formação acadêmica e as exigências impostas pelo mercado de trabalho. Por fim, Lins e colaboradores nos mostram um processo analítico para a avaliação da ventilação de uma mina subterrânea.

Participe de nossa revista enviando seu artigo técnico, seu texto de reflexão, seu comentário ou sua sugestão para que possamos juntos fazer da RBGEA a revista de divulgação e integração da Geologia de Engenharia e Ambiental no Brasil.

Desejamos a todos uma ótima leitura.

ARTIGOS CIENTÍFICOS APRESENTADOS NO 16º CBGE

- 8** AVALIAÇÃO DA ERODIBILIDADE DE MISTURAS SOLO – RCC PARA CAMADA DE REVESTIMENTO PRIMÁRIO EM ESTRADAS RURAIS NÃO PAVIMENTADAS UTILIZANDO O EQUIPAMENTO DE INDERBITZEN MODIFICADO
Ana Luiza Caovilla Kaiber
Eduardo Rosendo de Lucena
Raul Tadeu Lobato Ferreira
Augusto Romanini
- 19** CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DOS SEDIMENTOS MARGINAIS E SUA RELAÇÃO COM SUSCETIBILIDADE À EROSÃO FLUVIAL (TERRAS CAÍDAS) DA COMUNIDADE DE SÃO BRAZ, MUNICÍPIO DE PORTO DE MOZ – PARÁ
Iris Celeste Nascimento Bandeira
Patrícia Mara Lage Simões
Homero Reis de Melo Junior
- 26** CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO: INSTRUMENTO DE PLANEJAMENTO PARA PREVENÇÃO DE DESASTRES NATURAIS NO MUNICÍPIO DE ITAPECERICA DA SERRA, SP
Fernando Rocha Nogueira
Vitor Vieira Vasconcelos
Marcelo Rodrigues da Motta
Leonardo Santos Salles Varallo
- 36** CARTOGRAFIA MORFOMÉTRICA APLICADA À BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO BREJÃO: CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DOS PROCESSOS MORFODINÂMICOS
Bruno Ferreira da Silva
Alan Silveira
- 47** CONSIDERAÇÕES SOBRE A PRODUÇÃO DE FINOS EM ENSAIOS DE COMPRESSÃO DIAMETRAL
João Antonio Curtis Neto
Rogério Pinto Ribeiro
Rony Souza dos Santos
Jozias Caetano de Souza Bravo
João Paulo Monticelli

- 59** METODOLOGIA DE DELIMITAÇÃO DE DEPÓSITOS TECNOGÊNICOS
Pedro Luiz Ferreira Gomes
Denise Balestrero Menezes
Geisy Candido da Silva
- 68** PORQUE E COMO TORNAR O ESTUDO MAIS PARECIDO COM O TRABALHO
Leandro Eugenio da Silva Cerri
Mauro Cerri Neto
Carlos Eduardo Fischer Cerri
- 75** SIMULADOR DE REDE DE VENTILAÇÃO DE MINA SUBTERRÂNEA COM FORMULAÇÃO MATRICIAL DE UM SISTEMA DE EQUAÇÕES NÃO LINEARES
Paulo Gustavo Cavalcante Lins
Clarice Silva dos Santos
Josevan Oliveira dos Santos Rocha
Robson Ribeiro Lima
Sandro Lima Fontes
Roberto Santos Lima

NOSSA HISTÓRIA

- 85** QUATRO PROBLEMAS SIMPLES DE GEOLOGIA APLICADA
Paulo Teixeira da Cruz
Nivaldo José Chiossi

CONTRIBUIÇÃO E REFLEXÃO

- 95** GEOLOGIA DE ENGENHARIA: A GEOCIÊNCIA APLICADA QUE VÊ O HOMEM ENQUANTO AGENTE GEOLÓGICO
Álvaro Rodrigues dos Santos
- 99** SERRA FLUMINENSE EM 2011 E 2020
Edézio Teixeira de Carvalho

■ AVALIAÇÃO DA ERODIBILIDADE DE MISTURAS ■ SOLO – RCC PARA CAMADA DE REVESTIMENTO ■ PRIMÁRIO EM ESTRADAS RURAIS NÃO PAVIMENTADAS UTILIZANDO O EQUIPAMENTO DE INDERBITZEN MODIFICADO

*EVALUATION OF THE ERODIBILITY OF SOIL – DEMOLITION WASTE MIXTURES
FOR PRIMARY LAYER ON UNPAVED RURAL ROADS USING MODIFIED
INDERBITZEN EQUIPMENT*

ANA LUIZA CAOVILO KAIBER

Engenheira Civil, Univ. do Est. de Mato Grosso, Sinop, analuizacaovilla@gmail.com

EDUARDO ROSENDO LUCENA

Engenheiro Civil, Univ. do Est. de Mato Grosso, Sinop, eduardo.luc@outlook.com

RAUL TADEU LOBATO FERREIRA

Professor Auxiliar II, Univ. Fed. de Mato Grosso, Barra do Garças, raullobato@ufmt.br

AUGUSTO ROMANINI

Professor, Facisas - Universidade de Cuiabá, augusto.romanini@gmail.com

RESUMO ABSTRACT

Este trabalho avaliou o efeito da erodibilidade de um solo da região de Sinop – MT e de sua mistura com RCC (Resíduo da Construção Civil). Três misturas foram ensaiadas, sendo elas o solo puro (M01), o solo com adição de 25% de RCC (M02) e o solo com adição de 50% de RCC (M03). As misturas foram ensaiadas em três condições: (i) sem imersão; (ii) imersão parcial e (iii) imersão total. O estudo foi realizado com amostras compactadas no teor de umidade ótimo (w_{ot}) e na Energia Proctor Normal. Um aparelho para a execução do ensaio de Inderbitzen Modificado foi construído, utilizando materiais simples e acessíveis como tubos e peças de PVC, grelha de churrasco e chuveiro. Este aparelho, por sua vez, tem a função de avaliar em laboratório, através da perda de massa, a erosão causada pela água. Foi possível verificar que grande parte das amostras apresentam comportamento não erodível, e que a adição do resíduo acarretou no aumento

This research evaluated the effect of the erodibility of a soil of the Sinop – MT region and its mixture with CDW (Construction Demolition Waste) for application in primary covering layers of unpaved roads. Three mixtures were tested, being the soil pure (M01), soil with addition of 25% of CDW (M02) and soil with 50% addition of CDW (M03). The mixtures tested under three conditions: (i) without immersion; (ii) partial immersion and (iii) total immersion. The study was carried out with samples compacted in the optimum moisture content (w_{ot}) and Normal Energy Proctor. An apparatus for the execution of the Modified Inderbitzen test constructed using simple and accessible materials such as pipes and PVC parts, barbecue grille and shower. This apparatus, in turn, has the function of evaluating in the laboratory, through the loss of mass, the erosion caused by water. It was possible to verify that most of the samples presented non-erodible

da erodibilidade das amostras. As amostras que foram submetidas a imersão parcial obtiveram uma melhor resposta. No entanto para esta situação a aplicação do RCC para este tipo de solo é considerada inadequada.

Palavras-chave: Erodibilidade, Inderbitzen Modificado, solo – RCC.

1 INTRODUÇÃO

O principal fator que contribui para a deterioração da qualidade das estradas não-pavimentadas é o fluxo de água, que traz consigo a erosão e perda da capacidade de suporte (formação de barro) e arrastamento de pedaços inteiros do trecho (JOHANNESSEN, 2008).

As principais alternativas para o controle da erosão são o bom planejamento geométrico da pista, com declividades suaves e desaguadouros com capacidade para escoar a água incidente e a garantia de que os solos sejam resistentes. Contudo, muitos solos, são altamente erodíveis, um fato que necessita correção. As alternativas são a retirada do material local e reposição com um material adequado ou a estabilização dos solos locais.

Estradas não-pavimentadas são entendidas como aquelas que não passaram por nenhum processo de pavimentação, ou seja, constituídas apenas por materiais granulares (solo e agregados). Sua construção se dá através da retirada da camada orgânica superior, e posterior nivelamento da camada de solo inferior. Oda (1995) afirma que o processo de construção, no geral, utiliza o solo local como seu principal constituinte, com ou sem adição de agregado granular. Nessa situação, as estradas podem ser submetidas a ações externas e internas, que podem afetar o material que compõem o revestimento realizado com materiais granulares. Situação semelhante pode ocorrer em taludes de corte e aterro, porém com maiores inclinações da superfície.

Um dos agentes que atua de diversas formas é a água. A ação da água pode atuar tanto aumentando as poropressões, com a elevação do lençol freático, quanto causando erosões na camada superficial do aterro, devido à precipitação. Da camada de revestimento primário, espera-se que ela seja resistente às solicitações que são impostas

behavior, and that the addition of the residue led to an increase in the erodibility of the samples. Samples that submitted to partial immersion obtained a better response. However, for this situation the application of CDW for this type of soil considered inadequate.

Keywords: Erodibility, Modified Inderbitzen, soil – CDW

pela ação da água no âmbito externo, conhecida popularmente como erosão.

O revestimento primário pode ser constituído pelo mesmo material que compõe o subleito da estrada ou ser confeccionada uma mistura granulométrica, em ambos os casos acompanhado do procedimento de compactação. Outra alternativa é a execução de mistura de solo com aditivos químicos, como cimento ou a cal para melhores condições de estabilidade e durabilidade.

A criação de mistura de solo com outros materiais tem-se apresentado interessante, pois na maioria dos casos se obtém um material com qualidades que o solo natural não tinha. Esse processo de estabilização já foi estudado com diversos aditivos em dois solos da região de Sinop – MT. Uma das misturas que se têm mostrado relevante é a mistura de Resíduos de Construção Civil (RCC) em solos visando alterar as suas características.

A mistura solo – resíduo de construção civil é interessante pois visa a reutilização de um material que ainda pode ter um valor agregado e que é gerado constantemente. Analogamente a esse processo, existe uma preocupação ambiental que se caracteriza pela grande quantidade de resíduo produzido, pela falta de um local adequado para a disposição do mesmo e pelo grande volume que é ocupado na sua disposição (DIAS,2014)

Existem diversos ensaios para se determinar a erodibilidade de um solo, porém, todos eles visam identificar características do solo e proporcionam informações para o entendimento destas características. A erodibilidade pode ser analisada em campo, como também, através de ensaios de laboratório como os ensaios de Inderbitzen e Inderbitzen Modificado, cujos resultados permitem propor soluções viáveis e de cunho sustentável para problemas que envolvem a erodibilidade do solo e os processos erosivos. O ensaio de Inderbitzen Modificado foi proposto por Freire (2001) com

o objetivo de simular o efeito das gotas de chuva chamado efeito “*splash*”.

O efeito “*splash*” ou erosão por salpicamento, é caracterizado por Guerra e Mendonça (2004) como sendo o início do processo erosivo. A desagregação ocorre pela colisão das gotas da chuva contra um solo exposto e sem vegetação. Este impacto causa uma pequena compactação das partículas do solo (selagem do solo) que dificultam a infiltração da água da chuva originando-se assim irregularidades na superfície do terreno que consequentemente, geram poças com acúmulo de água. Quando essas poças saturam, ocorre o início do processo de escoamento superficial. A erosão por salpicamento tende a ser limitada após a selagem do solo.

Dessa forma avaliou-se o potencial de erodibilidade de um solo puro e duas frações de adição de RCC em um equipamento simplificado construído utilizando materiais acessíveis. O equipamento construído para o desenvolvimento desse trabalho permite que se adotem inclinações para o escoamento superficial, que simulam a inclinação do pavimento

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Preparação e caracterização das amostras

2.1.1 Solo

O solo utilizado neste trabalho é comumente conhecido como “amarelo”, e foi coletado em um trecho de uma estrada vicinal do município de Sinop, MT, em um ponto situado a cerca de 500 metros do eixo da rodovia MT - 423, nas coordenadas geográficas 11°45'29.3”S 55°22'31.9”W. A coleta foi feita no segundo semestre do ano de 2014, a uma profundidade entre 0,60 e 1,00 m. Após a coleta, o material foi levado ao Laboratório de Engenharia Civil da UNEMAT. O solo foi seco ao ar, peneirado na peneira de 4,8 mm (n° 4) e armazenado em tambores metálicos.

2.1.2 Resíduo

Os resíduos de construção civil foram coletados em obras do município de Sinop. Os resíduos forma britados de forma mecânica, utilizando um

britador disponibilizado por uma empresa local. A escolha da faixa granulométrica seguirá a utilizada por Alves e Benatti (2015), ou seja, a fração areia, o intervalo utilizado é do passante na peneira n°10 (2,00 mm) até o retido na peneira n°200 (0,076 mm) conforme a ABNT (1984c).

2.1.3 Preparação das misturas

Com o solo e o RCC foram confeccionadas 3 misturas, denominadas M01, M02 E M03. A Mistura M01 é composta apenas de solo, a Mistura 02 possui 75% Solo e 25% RCC e a Mistura 03 é composta por 50% Solo e 50% RCC. Todas as adições foram feitas em função da massa seca do solo.

As amostras foram denominadas de M01, M02, M03 e o RCC, respectivamente e, posteriormente, foram caracterizadas, através dos ensaios de determinação do limite de liquidez (ABNT, 1984a), determinação do limite de plasticidade (ABNT, 1984b) e análise granulométrica (ABNT, 1984c). Os parâmetros de compactação utilizados foram obtidos por Alves e Benatti (2015) utilizando a Energia Proctor Normal.

2.2 Ensaio de Inderbitzen Modificado

Este ensaio se caracteriza pela simplicidade de análise dos resultados. Para realização do ensaio, foram realizadas algumas alterações no equipamento e na preparação dos corpos de prova. A ideia original de Inderbitzen (1961) consiste em o uso de um fluxo de água sobre uma rampa, o ensaio de Inderbitzen Modificado por sua vez, simula o efeito da precipitação sobre a mistura. O equipamento utilizado nos ensaios é descrito no item 2.3.

Por se tratar da primeira avaliação, optou-se por realizar o ensaio utilizando a inclinação de 20° proposta por Freire (2001) e utilizada por Grandó (2011). A inclinação da rampa pode ser ajustada diretamente no equipamento. A baixa inclinação visou atender as situações de rodovias não pavimentadas que podem ser atendidas pelo revestimento primário.

A vazão escolhida foi fixada em 50 mL/s, foi escolhida conforme proposto por Ide (2009) que corresponde a uma precipitação de 28 mm em 30

minutos no município de Bauru – SP. A escolha da mesma vazão se justifica pelo fato de diversos autores a utilizarem e ainda ser a vazão que proporciona o melhor desempenho do equipamento.

O ensaio foi baseado no proposto por Campos (2014), onde cada amostra é submetida um fluxo de água por cerca de 30 minutos e o material erodido é coletado nos intervalos decorridos de 1, 5, 10, 15 e 30 minutos. O material coletado é armazenado em recipientes limpos e secos, e então feita a separação do solo e da água em um conjunto de peneiras nº50 (0,297 mm), nº100 (0,150 mm), e nº200 (0,074 mm) e posteriormente secos em estufas e pesados.

As misturas M01, M02 E M03 foram preparadas e moldadas em corpos de prova cilíndricos, de PVC rígido, com diâmetro interno de 10 cm e altura de 5 cm. As amostras foram compactadas no teor de umidade ótimo obtido através do ensaio de compactação utilizando a Energia Proctor Normal. Devido à altura do cilindro, a compactação foi feita utilizando 2 camadas e aplicando 26 golpes em cada, utilizando o grau de compactação de no mínimo 95% como parâmetro de controle das amostras.

Foram confeccionadas 27 amostras, sendo 9 para cada mistura, que antes do procedimento no equipamento de Inderbitzen Modificado foram submetidas a um período de 48 horas de secagem ao ar. De cada conjunto, 3 amostras foram submetidas diretamente ao ensaio, denominado de Caso A). As outras 6 foram submetidas a um procedimento que visa reduzir o efeito da sucção, 3 amostras foram submetidas a uma imersão prévia de metade da altura das amostras, denominado de Caso B) e as outras 3 foram submetidas a uma imersão prévia total, denominado de Caso C). O processo de imersão terá duração de 15 minutos, conforme sugerido por Ide (2009).

Segundo Heidemann (2008), a quantificação da erodibilidade considera que um solo é tido como erodível (E) quando mais de 5% da sua massa inicial é desagregada durante o ensaio. Caso contrário o mesmo é classificado como não erodível (NE).

A erodibilidade será calculada pela Equação 1:

$$e = \frac{P_{tes}}{P_t} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

e = Erodibilidade do solo (%);

P_{tes} = Peso total do solo seco perdido no ensaio (g);

P_t = Peso total da amostra (g).

2.3 Equipamento de Inderbitzen modificado

O equipamento utilizado no ensaio de Inderbitzen Modificado, foi baseado e construído segundo a proposta de Higashi (2006), porém o aparelho foi adaptado pelos autores. A proposta inicial foi desenvolvida por Kaiber e Romanini (2017), que foi posteriormente refinada.

O equipamento (Figura 1) tem seu corpo construído utilizando tubos e conexões de PVC e a rampa de ensaio é uma grelha de aço inox, o intuito é que o equipamento possa ser desmontado e acondicionado para transporte ou armazenamento de forma prática. Optou-se por dividir a estrutura em 3 peças principais compostas de tubos e conexões de PVC e 2 conjuntos acessórios, um sendo a grelha de aço inox (grelha de churrasco) e outro o sistema de coleta do solo e remoção da água. As três peças principais denominadas de A, B e C, e os acessórios denominados peças D, que coleta a água durante o ensaio, a E que suporta a peneira, e a grelha de suporte para amostra. Foram feitos dois recortes nas tubulações, um na peça B2 para encaixe da haste rosqueada que ajusta a angulação e na peça C é feito os recortes para encaixe conforme a grelha escolhida.

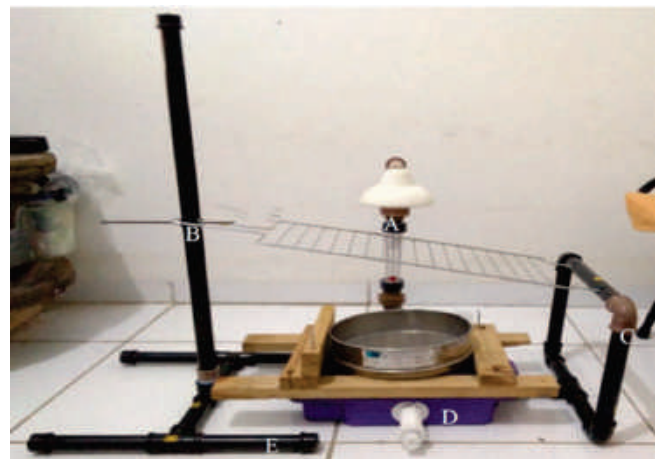


Figura 1. Equipamento montado.

A Figura 2a traz o detalhe da peça A e suas três partes, onde A1 é a base com o registro, A2 é a parte de sustentação do chuveiro e medidor de vazão e A3 é o sistema de simulação da precipitação. Na Figura 2b, pode -se observar os detalhes

da peça B, dividida em B1 e B2, a peça C e as 3 divisões da peça A.

A Tabela 1 apresenta a listagem dos itens utilizado para compor as peças A, B e C do equipamento.

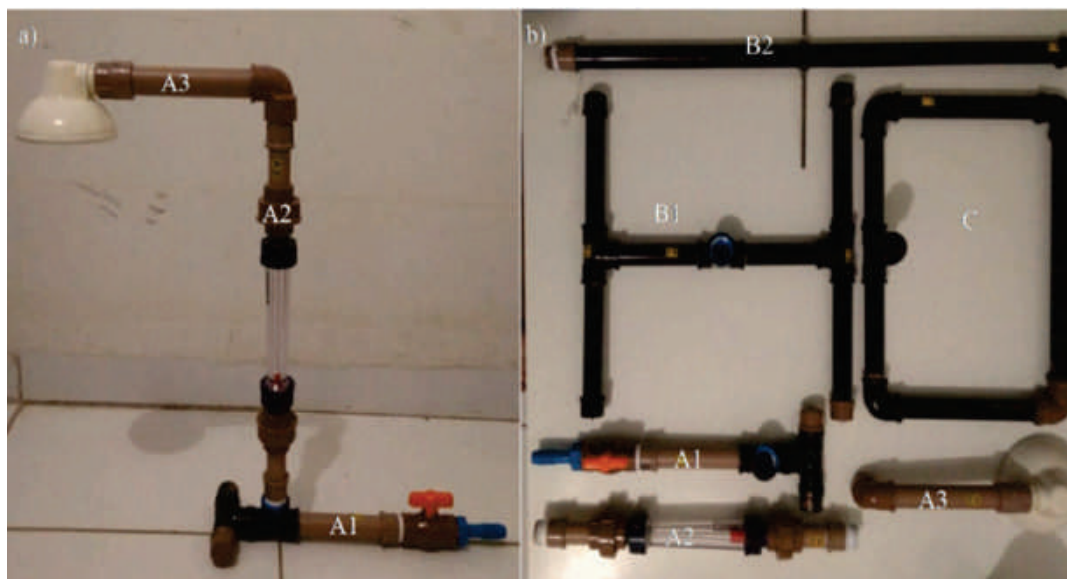


Figura 2. a) Peças “A” do Equipamento de Inderbitzen Modificado. b) Peças “A”, “B” e “C” do equipamento de Inderbitzen Modificado desmontadas.

Tabela 1. Lista de elementos que compõem o equipamento.

Peça Item	A			B		C	Total
	A1	A2	A3	B1	B2	C1	
Adaptador soldável com bolsa e rosca 25 mm x 3/4” (un)	1	2	-	1	-	-	4
Cano PVC - 25 mm (m) *	0,225	0,15	0,15	0,75	0,9	0,7	2,9
Cap Soldável 25 mm (un)	2	-	-	1	4	1	8
Chuveiro Água fria (un)	-	-	1	-	-	-	1
Conexão para mangueira Redução 3/4” X 1/2” (un)	1	-	-	-	-	-	1
Joelho 90° Soldável com Bucha de Latão 25 mm x 3/4” (un)	-	-	1	-	-	-	1
Joelho de 90° Soldável 25 mm (un)	-	-	1	-	-	4	5
Luva Soldável com rosca interna 25 mm x 1/2” (un)	-	-	1	-	-	-	1
Luva União Soldável 25 mm (un)	-	2	-	-	-	-	2
Níple Rosca Branco Paralelo 1/2” (un)	-	-	1	-	-	-	1
Registro Esfera rosca externa 3/4” (un)	1	-	-	-	-	-	1
Rotâmetro - Medidor de Vazão (un)	-	1	-	-	-	-	1
Tê Soldável com Bucha de Latão na Bolsa Central 25 mm x 3/4” (un)	1	-	-	-	1	-	2
Tê Soldável Simples 25 mm (un)	1	-	-	-	2	1	4

Onde: (un) – Unidade. *Observação sobre recortes: Peça A1 recorte 0,225 m de tubulação em 1 recorte de 0,15 m e 3 de 0,025m; Peça B2 recorte 0,60 m de tubulação em 6 recortes de 0,15 m; Peça C recorte 0,70 m de tubulação em 2 recortes de 0,15 m, 2 de 0,20 m, 1 de 0,30 m e 1 de 0,05 m

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Caracterizações geotécnicas das misturas

A caracterização geotécnica para as três misturas e do RCC são apresentados pela Tabela 2. A amostra M01 (solo puro) é uma argila de baixa plasticidade com presença de areia, classificada como A-6 de acordo com AASHTO-TRB, e CL, de acordo com o sistema de classificação UCS.

A adição de RCC não altera a classificação AASHTO-TRB das misturas, entretanto houve uma redução nos valores de LL, e uma pequena variação do IP. Tal fato não ocasionou alterações na classificação SUCS.

O RCC por sua vez pode ser caracterizado como uma areia com presença de argila. Cabe ressaltar que “a presença de argila” se refere às dimensões dos grãos após o processo de britagem, e não partículas de argila propriamente dita.

Tabela 2. Caracterização Geotécnica das misturas.

Amostra	AG(%)	AM(%)	AF(%)	S+A(%)*	LL(%)	IP(%)	SUCS	TRB	w _{ot} **	**
M01	7	37	17	39	38	25	CL	A-6	21,1	15,70
M02	10	39	21	30	30	20	CL	A-2-6	15,3	17,65
M03	18	36	18	28	24	NP	CL	A-2-4	12,8	16,67
RCC	21	53	12	14	NL	NP	SC	A-2-4	18,2	15,69

Nota: * Classificação segundo a ABNT (1995): Onde: AG – areia grossa ($0,60 \leq \phi < 2,00$ mm), AM – areia média ($0,20 \leq \phi < 0,60$ mm), AF – areia fina ($0,06 \leq \phi < 0,20$ mm) e S+A – silte + argila ($\phi \leq 0,074$ mm). LL – Limite de Liquidez, IP – Índice de Plasticidade. SUCS – Sistema Unificado de Classificação do Solo, TRB – Transportation Research Board, W_{ot} – Teor de umidade ótimo, – Peso específico seco máximo. ** Dados obtidos por Alves e Benatti (2015)

O solo foi coletado em uma região que pertence à Bacia do Parecis uma das oito bacias sedimentares Fanerozóicas do Brasil. A Bacia é formada por uma área de 500.000 km² nos estados de Rondônia e Mato Grosso, com mais de 6.000 metros de sedimentos Paleozoicos, Mesozoicos e Cenozoicos (BAHIA, 2007).

Apesar de pertencer a Bacia do Parecis, as unidades litoestratigráficas que caracterizam o solo do município são de formação mais recente.

Um processo que ocorre na região é a formação de camadas de concreções lateríticas, formadas pelo processo de aumento e rebaixamento do lençol freático, que proporciona a criação de óxidos e conseqüentemente aglutinação de partículas, essa ocorrência propicia a formação de um solo de classificação como solo tropical laterítico. A Figura 3 possibilita visualizar uma camada de cascalho laterítico de ocorrência na região.

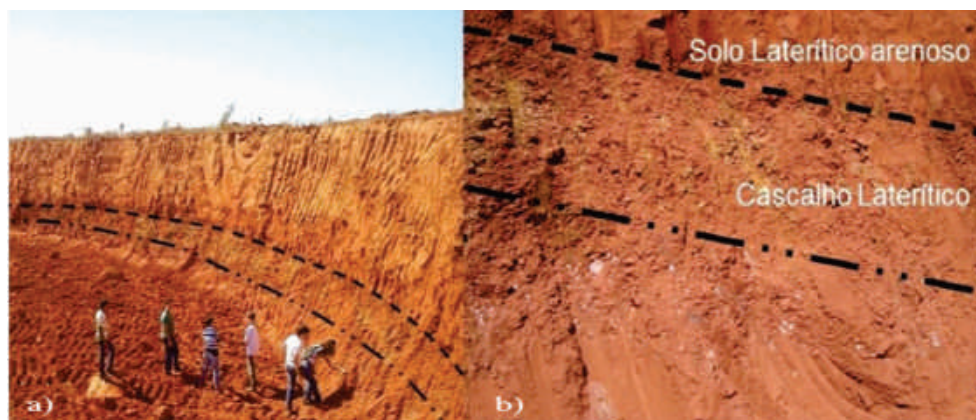


Figura 3. Jazida de Cascalho da Prefeitura Municipal de Sinop. (a) Demonstração do volume de solo laterítico arenoso existente (b) Disposição do cascalho na jazida.

O solo amarelo possui algumas informações geológicas que podem auxiliar em uma análise mais abrangente dos dados. A classificação foi realizada por Guimarães e Benatti (2016) utilizando ensaios de raio-X e fluorescência de raio-X. O ensaio foi conduzido com o solo da amostra M01 passante em malha nº200 (0,074 mm), em

fração total natural com preparação em pastilha plástica. As fases minerais principais identificadas na amostra são gibbsita $[Al(OH)_3]$, nacrita $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$ e quartzo $[SiO_2]$. A Tabela 3 apresenta a análise química de elementos maiores do solo sem adição de RCC.

Tabela 3. Análise química de elementos maiores da amostra de solo.

Compostos Químicos			
(%)			
SiO ₂ (óxido de silício)	26,99	P ₂ O ₅ (óxido de fósforo)	0,05
Al ₂ O ₃ (óxido de alumínio)	42,27	K ₂ O (óxido de potássio)	0,02
Fe ₂ O ₃ (óxido de ferro)	6,06	MnO (óxido de manganês)	0,01
TiO ₂ (óxido de titânio)	2,48	Na ₂ O (óxido de sódio)	0,01
CaO (óxido de cálcio)	0,07	LOI (<i>Loss on ignition</i>)	21,98
MgO (óxido de magnésio)	0,06	-	-

Dados adaptados de Guimarães e Benatti (2016).

Ainda que o solo seja predominante argiloso conforme a classificação unificada, a microagregação das partículas de silte e argila devido à ação da gibbsita com a contribuição da acidez do solo puro favorece a porosidade do solo, essa porosidade pode estar associada a perda de massa. A porcentagem de LOI (*Loss on ignition*) de 21,98% indica a perda de massa durante o aquecimento da amostra. Os compostos químicos obtidos na fluorescência de raio - X presentes na Tabela 3 traduz os efeitos da hidrólise, resultados da reação

química predominante em solos tropicais intensamente intemperizados.

3.2 Resultado do ensaio de erodibilidade

Os ensaios realizados no aparelho de Inderbitzen Modificado (Figura 4a) simulam em laboratório o efeito da água da chuva ao cair sobre o solo, denominado efeito “splash” (Figura 4b) ou erosão por salpicamento e define o início do processo erosivo.

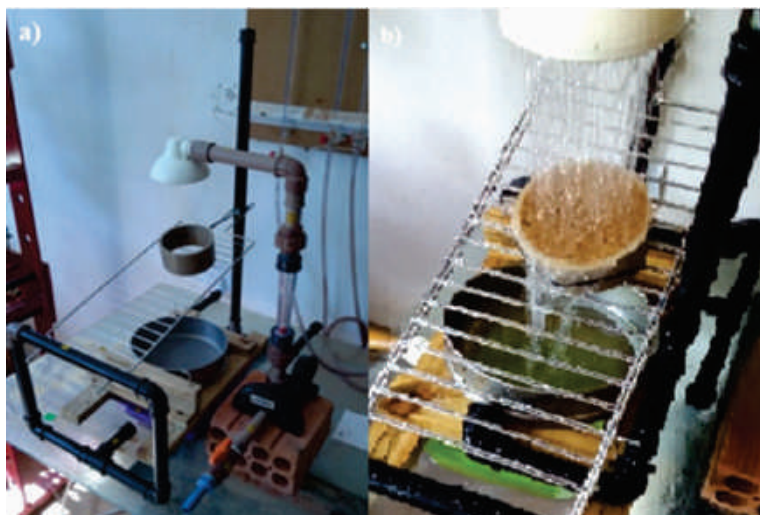


Figura 4. a) Equipamento configurado para o ensaio e b) detalhe do efeito splash.

De cada conjunto ensaiado de três amostras foi calculada a média aritmética simples dos resultados. As amostras foram compactadas com grau de compactação entre 95% e 99% Optou-se por conduzir a análise utilizando os 3 casos na seguinte sequência: Caso A, sem imersão; Caso B, com imersão parcial; e Caso C, com imersão total.

A Figura 5 apresenta o Caso A e a perda de massa que ocorreu durante o ensaio. As três misturas têm comportamento similar. Nesta situação observa-se uma resposta melhor a mistura M02, porém próxima a mistura M01 até o tempo de 10 minutos de ensaio. A mistura M03 tem a perda de massa acumulada bem superior se comparada com as outras duas, sendo a sua perda de massa acumulada ao fim dos 30 minutos de ensaio aproximadamente o dobro da melhor mistura para este caso.

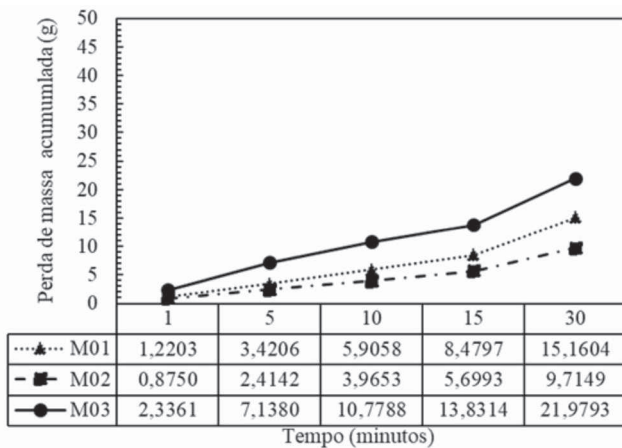


Figura 5. Caso A - Sem imersão.

Para o Caso B, ilustrado na Figura 6 pode-se observar que a imersão parcial influenciou na perda de massa durante o ensaio. Acredita-se que a melhora desse desempenho possa estar associada a sucção gerada durante o processo de imersão parcial. A mistura M01 tem o melhor desempenho para situação. A mistura M02 apresenta comportamento semelhante a M01, apresentando o dobro de perda de massa nos 5 primeiros minutos de ensaio e ao fim do ensaio a perda é cerca de 45% maior. Assim como no caso A a mistura M03 apresenta a maior perda de massa durante todo o processo de ensaio, perdendo quase três vezes mais que a melhor condição para este caso.

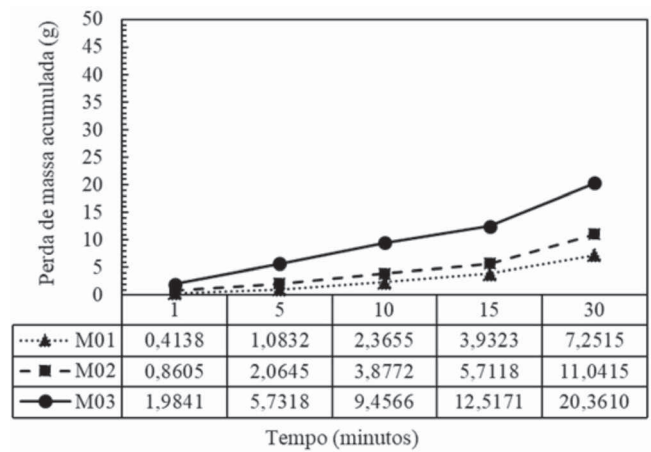


Figura 6. Caso B - Imersão Parcial.

Quando as amostras são submetidas a imersão total, Caso C (Figura 7), verifica-se que nos primeiros minutos de ensaio, a mistura M03 perde uma quantidade de massa muito maior que as demais misturas (M01 e M02). Tal comportamento pode ser justificado pelo fato do RCC adicionado possuir exclusivamente fração areia, que após o processo de imersão, devido à falta de coesão acabam se desprendendo da mistura. A mistura M02 perde cerca de 50% a mais de solo no primeiro minuto de ensaio do que a mistura M01, porém, essa perda é atenuada e acaba demonstrando o mesmo comportamento ao final do ensaio. Neste caso a M01 também apresenta um bom comportamento.

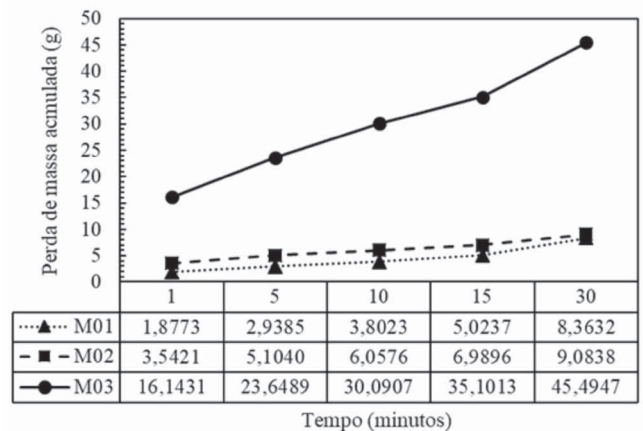


Figura 7. Caso C - Imersão total.

A Figura 8 apresenta uma análise da perda de massa acumulada para as três misturas nas três situações em que foram expostas. Ao se analisar a perda de massa acumulada, percebe-se que no caso da imersão total a adição do resíduo

acarretou em um aumento da erodibilidade do solo em 2 dos 3 casos analisados. Com a realização dos ensaios foi perceptível que a fração granulométrica do resíduo não se conecta com o solo, e por isso, acarretou na maior perda de massa acumulada.

Em uma análise das perdas de massa a adição de RCC proporciona uma melhora apenas para uma situação, no Caso A, para a mistura M02. Nos outros dois casos estudados, o solo puro (M01) apresenta-se como melhor escolha. A adição de 50% de RCC no solo (M03) não se apresentou interessante em nenhum dos casos.

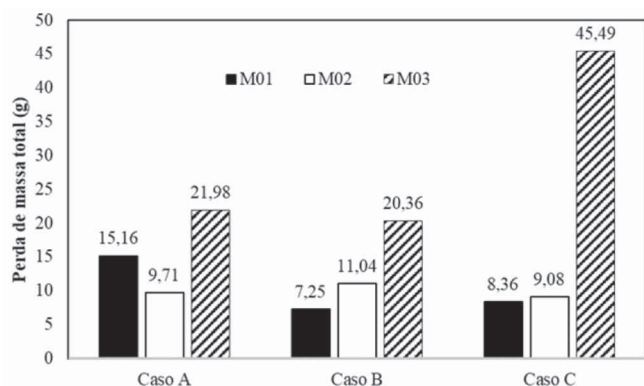


Figura 8. Perda de massa acumulada ao fim do ensaio.

A Tabela 4 apresenta os valores médios da erodibilidade das amostras ensaiadas. Para as condições de ensaio apenas as amostras da mistura M03 na situação de imersão total apresentou comportamento erodível. Em aspectos gerais, para este ensaio, a mistura M02 comporta-se como não erodível nos três casos, porém perde-se menos massa durante o ensaio do que a mistura M01 apenas na condição completamente seca, algo que pode ser difícil de controlar, mesmo com um sistema de drenagem funcionando perfeitamente. Esta situação indica que o RCC não contribui para a redução da erodibilidade.

O efeito negativo pode ser justificado analisando os dados da granulometria coletada, por exemplo, em termos médios para a mistura M03 no caso A, cerca de 90% do material fica retido na peneira n°200, na mesma situação para a mistura M01 na mesma peneira tem-se 85% de material retido. A variação de cerca de 5%, entre M01 e M03, pode estar ligada a substituição de uma parte da fração silte + argila por RCC (Tabela 2) indicando que no processo de ensaio o RCC foi erodido primeiro do que a fração silte + argila, resultando em uma maior perda de massa. Para a mistura M02 o comportamento também ocorre, onde no caso A, cerca de 87% do material fica retido na peneira de n°200.

Tabela 4. Valores médios de erodibilidade.

Mistura	Caso a	Erodibilidade	Caso b	Erodibilidade	Caso c	Erodibilidade
M01	2,45%	Não Erodível	1,34%	Não Erodível	1,34%	Não Erodível
M02	1,48%	Não Erodível	1,66%	Não Erodível	1,37%	Não Erodível
M03	3,45%	Não Erodível	2,95%	Não Erodível	6,59%	Erodível

Para o caso B, situação parecida ocorre, onde a mistura M01 tem cerca de 83% do material retido na peneira n°200, para a mistura M02 o material retido é na casa dos 88% e na M03 o material retido é 90%, indicando a mesma situação do caso a e que também se repete no caso C, justificando o aumento de perda de massa acumulada neste dois casos.

4 CONCLUSÕES

Os resultados coletados nos ensaios indicam que a adição de RCC neste tipo de solo não melhora

o comportamento do material no que se refere à perda de massa frente à ação da água. A adição de RCC com o intuito de reduzir a erodibilidade do solo também foi estudada por Dias (2014) em um solo diferente, e também não se apresentou vantajosa.

Sendo assim, a adição de RCC para reduzir a erodibilidade para camadas de revestimento primário não é viável, uma vez que mesmo que em algumas análises mostre-se que a perda de massa é reduzida e/ou estabilizada no decorrer do tempo, a perda de massa acumulada é muito maior do que sem adição, o que pode acarretar aspectos negativos as estradas (surgimento de patologias)

e também ao meio ambiente (aceleração do assoreamento de córregos).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UNEMAT, a FACET – Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas e o Curso de Engenharia Civil – Campus de Sinop e a FACISAS (UNIC Sinop), pelo suporte técnico oferecido.

REFERÊNCIAS

- Alves, W. G. O. Benatti, J.C.B. 2015. Viabilidade técnica da utilização do RCC (Fração areia) como agente estabilizador para um solo de Sinop-MT. Trabalho de conclusão de curso, Engenharia Civil. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT. Sinop. 10 p
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 6459: Solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, RJ, 1984a 6 p.
- _____. NBR 7180: Solo – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, RJ, 1984b. 3 p.
- _____. NBR 7181: Solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro, RJ, 1984c. 13 p.
- _____. NBR 7182: Solo – ensaio de compactação. Rio de Janeiro, RJ, 1986. 10 p.
- Bahia, R. B. C. Evolução tectonossedimentar da Bacia dos Parecis – Amazônia. Ouro Preto, 2007. 149 p. Tese (Doutorado). Departamento de Geologia. Fundação Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2007
- Campos, C. J. M de. 2014. Avaliação da Erodibilidade pelo método Inderbitzen em solo não saturado da região de Bauru – SP. Dissertação de mestrado (mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Bauru – SP. 154 p
- Dias, M. C. C. 2014. Viabilidade do uso de solo tropical e resíduo de construção civil em sistemas de cobertura de aterro sanitário... Dissertação (Mestrado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 114 f
- Freire, E. P. 2001. Ensaio Inderbitzen modificado: um novo modelo para avaliação do grau de erodibilidade do solo. Anais, VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Goiânia, 8 p.
- Guerra, A. J. T.; Mendonça, J. K. S. 2004. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: Vitte, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Org.). Reflexões sobre a geografia física do Brasil. São Paulo: Bertrand Brasil.
- Guimarães, R.M. . Benatti, J.C.B. 2016. Análise físico – químico e mineralógica de um solo de sinop – mt, puro e com adição de bentonita. Trabalho de conclusão de curso, Engenharia Civil. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT. Sinop – MT. 12p
- Grando, A. 2011.. Monitoramento e modelagem hidrossedimentológica em uma microbacia hidrográfica experimental. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina.. Florianópolis, SC. 175p
- Heidemann, M. 2008.. Mapa Geotécnico de Potencial Erosivo de Uma Área de Expansão Urbana de Tubarão – SC. Universidade Federal de Santa Catarina. 9 p.
- Higashi, R.A.R. 2006. Metodologia de Uso e Ocupação dos Solos de Cidades Costeiras Brasileiras Através de SIG com Base no Comportamento Geotécnico e Ambiental. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 486 p.
- Ide, D, M. 2009. Investigação geotécnica e estudo de um processo erosivo causado por ocupação urbana. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Geotecnia). Universidade de São Paulo, São Carlos – SP. 129p
- Inderbitzen, A. P. L. 1961. An erosion test for soils. Material Research. Standards, Philadelphia. p. 553-554.

Johannessen, B (Org.). 2008. Building Rural Roads. Bangkok: Internacional Labour Organization. 466 p. Disponível em: <http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/--asia/---ro-bangkok/documents/genericdocument/wcms_103551.pdf>. Acesso em: 28 maio. 2019

Kaiber, A. L. C; Romanini, A. 2017. Avaliação da erodibilidade de misturas SOLO - RCC para camada de cobertura e proteção de taludes.

Artigo de conclusão de curso (Engenharia Civil). UNEMAT - Universidade do estado de Mato Grosso. 10p. Sinop - MT.

Oda, S.. Caracterização de uma rede municipal de estradas não pavimentadas. 1995. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 186f.

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DOS SEDIMENTOS MARGINAIS E SUA RELAÇÃO COM SUSCETIBILIDADE À EROÇÃO FLUVIAL (TERRAS CAÍDAS) DA COMUNIDADE DE SÃO BRAZ, MUNICÍPIO DE PORTO DE MOZ – PARÁ

*GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL CHARACTERIZATION OF MARGINAL SEDIMENTS
FROM THE SÃO BRAZ COMMUNITY IN THE MUNICIPALITY OF PORTO DE MOZ-PA AND
THEIR RELATION TO SUSCEPTIBILITY TO FLUVIAL EROSION (TERRAS CAÍDAS)*

*IRIS CELESTE NASCIMENTO BANDEIRA
Geóloga, Serviço Geológico do Brasil, iris.bandeira@cprm.gov.br*

*PATRÍCIA MARA LAGE SIMÕES
Geógrafa, Serviço Geológico do Brasil, patricia.simoes@cprm.gov.br*

*HOMERO REIS DE MELO JUNIOR
Geólogo, Serviço Geológico do Brasil, homero.melo@cprm.gov.br*

RESUMO ABSTRACT

Na região Amazônica, além dos processos de inundação e escorregamentos existem os processos erosivos, principalmente a erosão fluvial, conhecida na região como Terras Caídas. Este processo é muito temido pela população, uma vez que causa escorregamentos e solapamentos de margem de grandes proporções, que atingem áreas muitas vezes ocupadas. Um exemplo deste evento ocorreu na comunidade de São Braz, localizada no município de Porto de Moz, estado do Pará, na margem direita do rio Amazonas, onde uma área de aproximadamente 400m de comprimento foi arrasada pelo rio Amazonas, levando 14 edificações e deixando 31 pessoas desalojadas. Devido esta ocorrência o Serviço geológico do Brasil – CPRM avaliou o grau de risco da área ao entorno, assim como realizou uma pesquisa sobre as características geológicas geotécnicas dos sedimentos marginais da referida comunidade, a fim de iniciar o entendimento sobre este processo. Com base em observações de campo e análise granulométrica verificou-se que este sedimento marginal possui uma textura predominantemente siltico argilosa, onde as amostragens de difração de raio-x mostraram grandes quantidades de quartzo, e porções significativas de muscovita, clorita, minerais de oxido de ferro e plagioclásio sem presença de argilo-minerais expansivos.

In the Amazon region, besides flooding and land sliding processes there are also erosional processes, mainly fluvial erosion locally known as *Terras Caídas*. The population dreads this process as it causes landslides and undermining of great proportions that sometimes reach populated areas. An example of such process took place in the community named São Braz, located in the municipality of Porto de Moz, in the state of Pará, on the right margin of the Amazon river where an area of about 400m in length has been dragged by the river carrying away 14 buildings and dislodging 31 people. Due to this event, Geological Survey of Brazil – CPRM carried out a risk assessment on the surrounding area as well as a research on the geological and geotechnical features of the marginal sediments in the area of the community mentioned above, in order to understand this process. Based on field observations and grain size analysis, it has been verified that the marginal sediments are predominantly silty clay sediments and the x-ray diffraction analysis of samples have shown great amounts of quartz and significant portions of muscovite, chlorite, iron oxide minerals and plagioclase with absence of expansive clay minerals. It means that even though there is no expansive clay, such sediments have low conductivity

Ou seja, mesmo não tendo argilas expansivas, tais sedimentos apresentam baixa condutividade ($7,41 \times 10^{-06}$ cm/s), pouca coesão e um fator alto de erodibilidade (k) no valor de $0,070572$ t.ha.h/há.Mj.mm, o que propicia uma alta suscetibilidade a processos erosivos.

Palavras-chave: Erosão fluvial; Terras Caídas; Sedimentos Marginais; Geotecnia.

1 INTRODUÇÃO

Inúmeros municípios da região Amazônica são atingidos por desastres decorrentes de processos de erosão fluvial, que causam escorregamentos e solapamentos de grandes proporções nas margens dos rios. Este processo regionalmente denominado de Terras Caídas é muito temido na região devido sua intensidade, capacidade de transformação da paisagem e pelos transtornos que causam aos moradores ribeirinhos.

Segundo Bandeira et al (2018), baseado em dados de setorização de risco do Serviço Geológico do Brasil - CPRM dos anos de 2011 a 2016, foram identificados 236 áreas de risco, onde mais de 25.000 pessoas vivem sob o risco de sofrerem danos físicos e materiais, devido a esse processo erosivo. Além deste trabalho existem muitos casos de terras caídas na Amazônia, como o da Costa do Miracauera - Paraná da Trindade, Município de Itacoatiara - AM (CARVALHO, 2006); Costa da Águia, Parintins - AM (CARVALHO et al, 2009); Médio Solimões/Coari-Amazonas (FREITAS; ALBUQUERQUE, 2012); Costa do Arapapá- margem esquerda rio Solimões; comunidade de São Carlos - Médio Madeira/RO (LABADESSA, 2011), Santarém-PA, entre outros que não foram publicados e nem divulgados.

Além destes lugares, em agosto de 2016, a comunidade de São Braz, no município de Porto de Moz, também foi atingida por um evento de Terras Caídas, onde uma grande massa de terra solapou em direção ao rio, levando 14 edificações e deixando aproximadamente 31 pessoas desalojadas. Devido este evento, o SGB/CPRM foi solicitado pela Defesa Civil Estadual a realizar a setorização de risco neste local, para avaliar se o entorno da área atingida pela erosão fluvial também estava sob risco. Desta forma, em setembro de 2017 foi

($7,41 \times 10^{-06}$ cm/s), little cohesion and a high soil erodibility factor (k) of $0,070572$ t.ha.h/há.Mj.mm, propitiating a high susceptibility to erosive processes.

Keywords: River erosion; "Terras Caídas"; Marginal sediments; Geotechnic.

executada a avaliação de risco acompanhada de uma pesquisa mais detalhada sobre os principais fatores que podem condicionar o processo de erosão fluvial (Terras Caídas) nas margens do rio Amazonas.

Por tanto, este trabalho, direcionado pelo SGB/CPRM, tem o objetivo de mostrar quais são as características geológicas geotécnicas do terreno que podem contribuir para o processo erosivo na comunidade Chico do Ponto no município de Porto de Moz.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A área de estudo localiza-se na vila Chico do Ponto, comunidade São Braz, á 85 km quilômetros da sede do município de Porto de Moz (Figura 1), no estado do Pará, na margem direita do rio Amazonas (Figura 2).

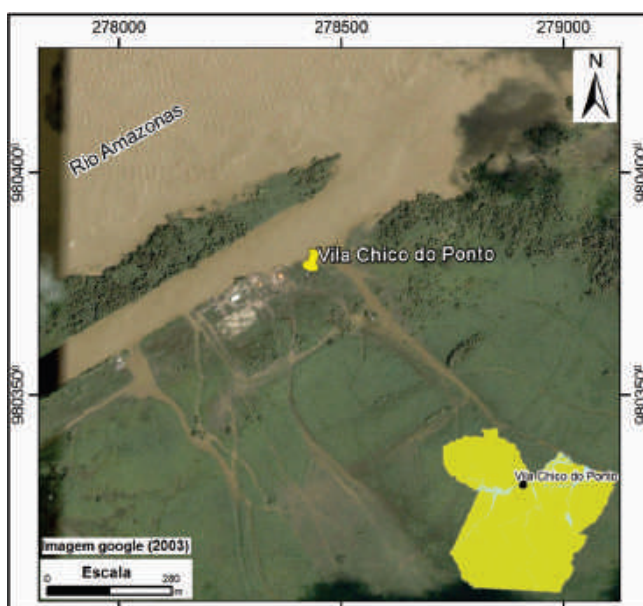


Figura 1. Mapa de localização da vila Chico do Ponto, comunidade de São Braz onde ocorreu o processo de erosão fluvial (Terras Caídas).



Figura 2. Comunidade de São Braz após o evento de erosão fluvial (Terras Caídas). Fonte: Pará (2016).

Na área de estudo predomina um clima equatorial úmido, onde as maiores intensidades das chuvas ocorrem preferencialmente nos meses de janeiro a junho, sendo os meses mais chuvosos março a abril e julho a dezembro os meses menos chuvosos (Figura 3). Esta informação torna-se importante, uma vez que segundo Rodrigues (2014) o volume de água que infiltra nos solos durante os meses chuvosos e que se acumula em função das elevadas permeabilidade e porosidade, torna as estruturas das planícies e dos terraços mais pesadas e as predispõe a movimentação. Ainda segundo Carvalho (2006) a desagregação de material ocorre mais no período de maiores precipitações e cheia do rio, quando há um aumento da vazão e da pressão hidráulica.

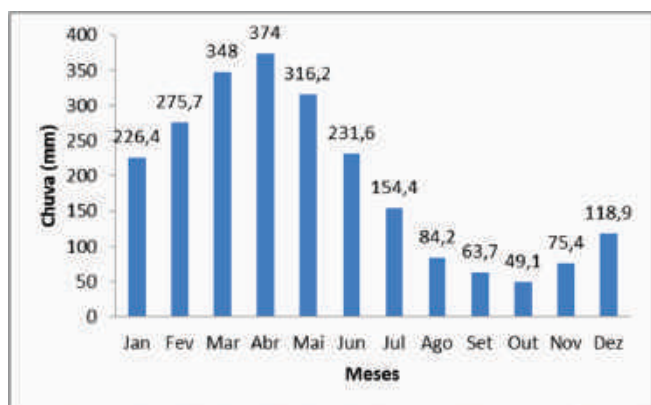


Figura 3. Gráfico das precipitações anuais do período de 1968 a 1976, estação pluviométrica Porto de Moz (00152001). Fonte: Banco de dados da Agência Nacional de Águas – ANA (ANA, 2017).

Geologicamente a região insere-se na bacia sedimentar do Amazonas, especificamente nos sedimentos aluvionares depositados pelo rio.

3 RISCO DE EROSÃO FLUVIAL (TERRAS CAÍDAS) NA COMUNIDADE SÃO BRAZ

Segundo o relatório de ocorrência do Corpo de bombeiros do estado do Pará (2016), em agosto de 2016, houve um evento de Terras Caídas na Comunidade São Braz, onde uma massa de terra (área de 300m de fundo por 1000m de frente) solapou, deixando submersas 14 edificações (seis residências unifamiliares, uma escola, uma igreja, uma casa de apoio, um salão comunitário e quatro queijarias) que foram levadas pela correnteza do rio (Figura 4). Em decorrência deste processo muitos pertences foram perdidos e parte da comunidade, em poucas horas, sumiu em meios às águas. Não houve casos de morte ou pessoas feridas, somente a perda de bens materiais e 31 pessoas desalojadas (Figura 5).

Devido este evento tornou-se necessário avaliar o grau de risco da área. Desta forma, o SGB/CPRM em 2017 constatou que a comunidade Chico do Ponto apresenta um risco alto a erosão fluvial, uma vez que possui aproximadamente dez casas de madeira (Figura 6) sobre palafitas instaladas numa várzea constituída por um solo pouco coeso, muito suscetível a processos erosivos e que sazonalmente é inundada, o que proporciona além do risco de erosão fluvial, o risco de inundação.



Figura 4. Casa de madeira levada por processo de solapamento de margem na comunidade São Braz, município de Porto de Moz. Fonte: Pará (2016).



Figura 5. Casa de madeira, sobre palafitas, sendo desmontada, para que não seja mais ocupada, uma vez que apresenta risco muito alto de ser atingida pela erosão fluvial. Fonte: Pará (2016).



Figura 6. Moradias de madeira instaladas num terreno muito susceptível a erosão fluvial, comunidade São Braz. Município de Porto de Moz – PA.

4 METODOLOGIA

Para análise geológico-geotécnica da margem do rio realizou-se observações de campo, análise granulométrica, difração de raio-x, determinação de condutividade hidráulica e cálculo do fator de erodibilidade.

A análise granulométrica foi feita pelo método espalhamento de laser e a difração de raio - x foi realizada em Difratômetro de raios-x. Ambas análises foram realizadas pelo laboratório do SGB/CPRM de Manaus em novembro de 2017.

Para a medida da condutividade hidráulica utilizou-se o método do infiltrômetro de anéis denominado *open end hole*. Onde se cravou um tubo de PVC de 0,1m de diâmetro com 0,47m de comprimento para impedir a dispersão lateral da água que foi inserida (Figura 7). Tomou-se a medida do parâmetro H (distância entre o topo do tubo e o fundo do furo, no caso 0,47m. Em seguida preencheu-se o tubo com água e mediu-se a distância inicial entre o topo e o nível da água (M) resultando na altura da coluna d'água inicial ($h_0 = H - M_i$). E durante o intervalo de tempo (Δt) de 1 minuto media-se a nova posição da lâmina d'água (M_f) obtendo-se a altura da coluna d'água final ($h = H - M_f$). Esses valores foram aplicados na seguinte fórmula: $k_v = 2,303 \times (R / 4\Delta t) \times [\log(h_0/h)]$

Onde, R = raio do tubo, h_0 = coluna d'água inicial, h = coluna d'água final, Δt = tempo decorrido para o rebaixamento entre h_0 e h.

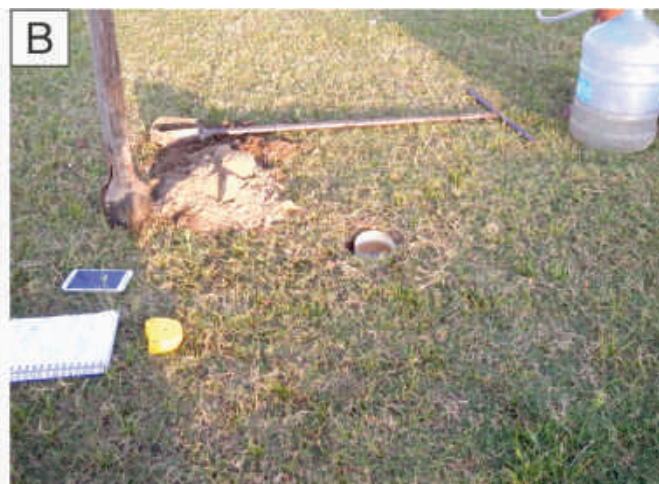


Figura 7 A e B. Obtenção da condutividade hidráulica dos sedimentos marginais da comunidade São Braz, Município de Porto de Moz – PA.

O fator erodibilidade do solo (K) foi calculado pelo método indireto, para cada sub-horizonte, através da seguinte expressão de Bouyoucos (1935): $Fator\ K = ((\% \text{ areia} + \% \text{ silte}) / (\% \text{ argila})) / 100$ (4) onde: Fator K representou o fator erodibilidade do solo de cada sub-horizonte (t.ha.h/ ha.MJ.mm) e % areia, % silte e % argila representaram as porcentagens das respectivas frações para cada sub-horizonte. Assim, foi calculado o fator K para cada horizonte (A e B) através da média aritmética entre os valores dos sub-horizontes.

5 RESULTADOS

Na comunidade São Braz, verificou-se que o talude marginal com inclinação de aproximadamente 80° e altura de 3m, fica totalmente submerso no período da cheia do rio Amazonas (dezembro a julho), deixando toda a área da comunidade inundada. No período de vazante do rio (agosto a novembro) este talude fica emerso por 1,6m.

Durante a vazante do rio coletou-se uma amostra de material da margem a uma profundidade de 0,5m, onde a análise granulométrica por laser identificou 12,4% de grãos de argila, 1% de areia fina e 86,5% de silte, caracterizando assim um sedimento com textura siltico argilosa (Figura 8 e 9).



Figura 8. Talude marginal constituído de sedimentos siltico argiloso mosqueado não consolidado, localizado na comunidade São Braz, município de Porto de Moz-Pará.

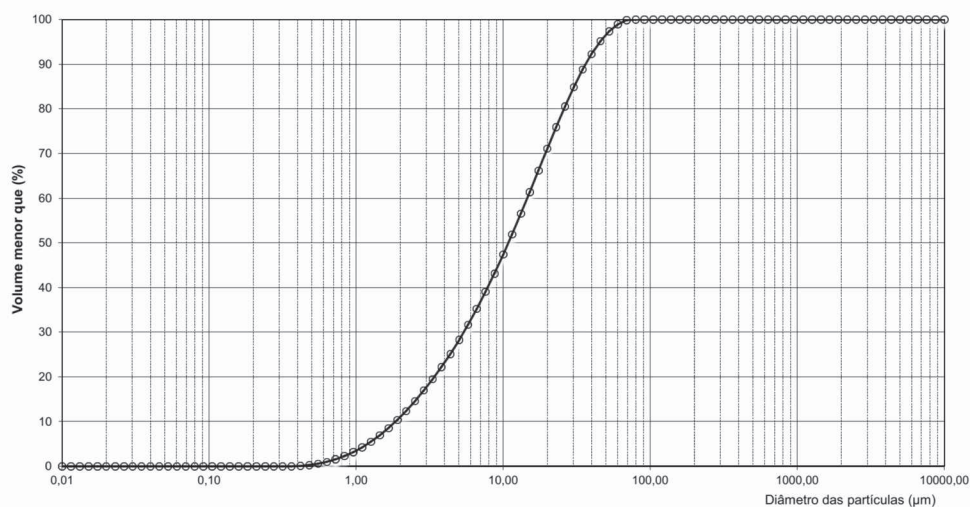


Figura 9. Curva Granulometrica dos sedimentos marginais do rio Amazonas, na comunidade São Braz. Fonte: Serviço Geológico do Brasil, Laboratório de Análises Minerais - LAMIN Manaus.

A difração de raio x, permitiu verificar que além da grande quantidade de quartzo, e porções significativas de muscovita já visualizadas em lâmina, os sedimentos marginais da comuni-

dade São Braz, apresentam clorita e plagioclásio (Figura 10) sem presença de argilo minerais expansivos.

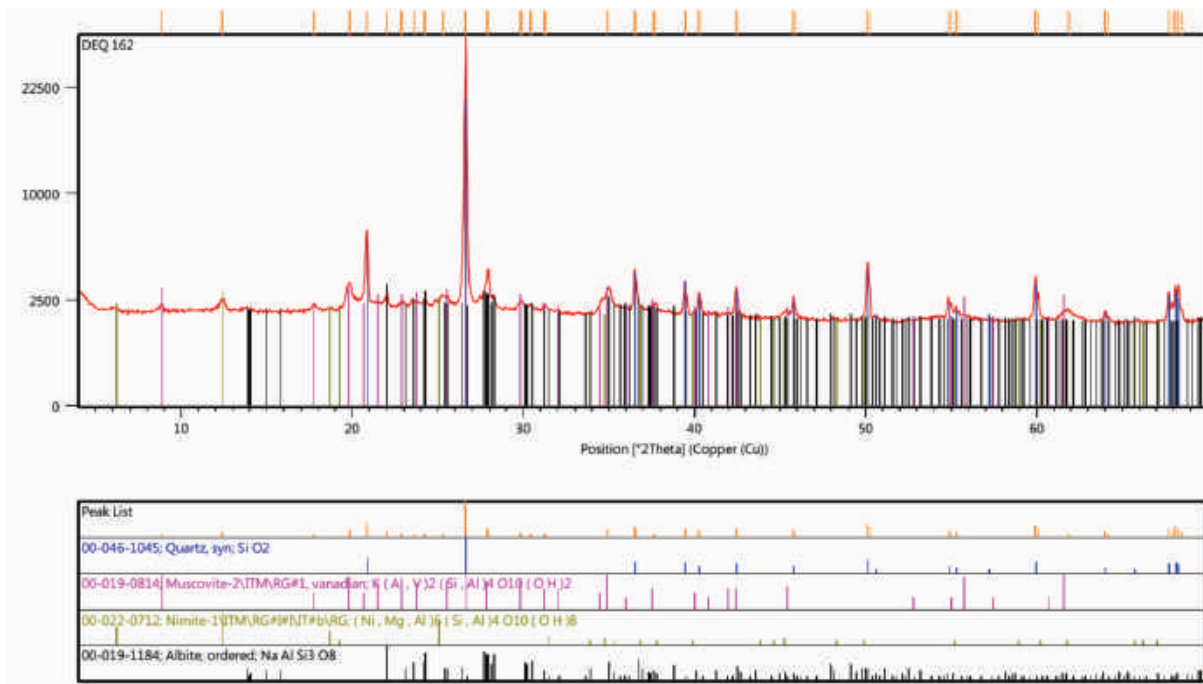


Figura 10. Perfil da difração raio - X da amostra coletada na margem direita do rio Amazonas - Comunidade São Braz. Fonte: Serviço Geológico do Brasil, Laboratório de Análises Minerais - LAMIN Manaus.

A condutividade hidráulica identificada para este sedimento foi de $7,41 \times 10^{-06}$ cm/s, valor diretamente relacionado ao tamanho e seleção dos grãos de silte e uma matriz argilosa. Isto por que segundo Fetter (2001) quanto menor o grão, maior a área de superfície contatada pela água, o que aumenta a resistência à fricção ao fluxo, reduzindo assim a permeabilidade intrínseca, ou seja, à medida que o grão aumenta a permeabilidade também se eleva devido o aumento na abertura dos poros.

Os resultado dos cálculos do fator de erodibilidade (k) mostraram um valor de 0,070572 t.ha.h/há.Mj.mm, considerado alto conforme Foster et al. (1981).

6 CONCLUSÕES

As análises realizadas no talude marginal da comunidade de São Braz mostraram que o terreno é composto predominantemente por um material

fino de textura siltico-argilosa, pouco coeso, de baixa permeabilidade e sem presença de minerais expansivos, porém com alta erodibilidade.

Esta condição de erodibilidade pode estar relacionada à grande quantidade de silte, uma vez que, mesmo com o aspecto da argila, no afloramento, tem pouca viscosidade ou plasticidade e, portanto não pode ser compactado em uma massa tão coesa como a argila. Assim uma massa úmida e compactada de silte poderá apresentar fissuras pela falta de plasticidade e ser facilmente levada pela correnteza. Ou ser levada lentamente por processo de corrosão (abrasão) quando existir um atrito mecânico do material das margens com as partículas existentes na água, que ao se chocarem provocam um desgaste, removendo as camadas intemperizadas, pouco consolidadas, caracterizando assim um terreno com alta suscetibilidade a erosão fluvial.

Observa-se que este trabalho mostra que o talude marginal tem alta suscetibilidade a erosão

fluvial e que pode ser facilmente erodido por processo de corrosão/abrasão devido à correnteza do rio. Mas não apresenta elementos suficientes para explicar o processo de solapamento de grandes massas de terra, como o que ocorreu na comunidade de São Braz. Sabe-se que o terreno é pouco coeso, mas não se tem conhecimento do elemento desencadeador do solapamento. Desta forma, sugere-se que sejam realizados estudos sedimentológicos mais detalhados, como avaliação de um perfil mais profundo pra verificar a sequência estratigráfica do depósito aluvionar, observando diferenças litológicas. Análise de perfis sísmicos para observar tanto a questão da sedimentação, quanto a presença ou não de falhas. Testes geotécnicos mais específicos, como de resistência (limite de ruptura), saturação do solo e pressão hidrostática (poro pressão na cheia e vazante do rio). Assim como uma análise geofísica-geotécnica para avaliar a erosão interna e o fluxo interno da água no terreno.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Serviço geológico do Brasil (SBG/CPRM) pelo fomento à pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANA - AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2017. Banco de dados. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso: 20/04/2017.

BANDEIRA, I. C.N.; ADAMY, A.; ANDRETTA, E. R. COSTA DA CONCEIÇÃO, R. A.; ANDRADE, M. M. N. 2018. Terras caídas: Fluvial erosion or distinct phenomenon in the Amazon?. *Environmental Earth Sciences*, v. 77, p. 1-16.

BOUYOUCOS, G. W. 1935. The clay ration as a criterion as susceptibility of soils to erosion. *Jour. Amer. Soc. Agron.*, v. 27. 738 741 p.

CARVALHO, J.A.L. 2006. Terras caídas e consequências sociais: Costa do Miracauera – Paraná da Trindade, Município de Itacoatiara – AM, Brasil. Dissertação Mestrado em Sociedade e Cultura na Amazônia – Universidade Federal do Amazonas – UFAM, 141p.

CARVALHO, J.A.L.; CUNHA, S. B.; IGREJA, H.L.S.; CARNEIRO, D. de S. 2009. Episódio de Terras Caídas no Rio Amazonas: caso Costa da Águia, Parintins-Am. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande. Anais... Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios>. Acesso 15/04/2017.

FETTER, C. W. 2001. Properties of aquifers In: *Applied hydrogeology*. 4th ed. pp 84-88.

FOSTER, G. R. et al. 1981. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *J. Soil Water Conserv.*, Baltimore, v.36, p.355-359.

FREITAS, F. T. de; ALBUQUERQUE, A. R. 2012. Análise temporal sobre as “Terras Caídas” no médio Solimões/Coari (AM). *Mercator, Fortaleza*, v. 11, n. 25, 129-140p.

LABADESSA, A. S. 2011. “Terras Caídas”, as causas naturais e antrópicas: uma ocorrência na comunidade de São Carlos – Médio Madeira/RO. *Geoiंगा: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia Maringá*, v. 3, n. 1, p. 45-61. available at: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Geoiंगा/article/view/18015/9784>, 2011. ISSN 2175-862X.

PARÁ 2016. Corpo de Bombeiros. Relatório de ocorrência.

RODRIGUES, F. G. de S. 2014. O conceito de “terras caídas” e a caracterização morfodinâmica fluvial do alto Solimões. *Revista Geonordeste, São Cristovão, Ano XXV*, n. 3, 04-23p.

CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO: INSTRUMENTO DE PLANEJAMENTO PARA PREVENÇÃO DE DESASTRES NATURAIS NO MUNICÍPIO DE ITAPECERICA DA SERRA, SP

PLANNING INSTRUMENT FOR THE PREVENTION OF NATURAL DISASTERS
IN THE MUNICIPALITY OF ITAPECERICA DA SERRA, SP.

FERNANDO ROCHA NOGUEIRA

Professor, Dr., CECS/PPGPGT/LabGRIS, Univ. Federal do ABC, fernando.nogueira@ufabc.edu.br

VITOR VIEIRA VASCONCELOS

Professor, Dr., CECS/PPGPGT/LabGRIS, Univ. Federal do ABC, vitor.vasconcelos@ufabc.edu.br

MARCELO RODRIGUES DA MOTTA

Geógrafo e Urbanista, Sec. Mun. de Planejamento e Meio Ambiente, Pref. Mun. Itapecerica da Serra, marcelo.motta@itapecerica.sp.gov.br

LEONARDO SANTOS SALLES VARALLO

Engenheiro Ambiental e Urbano, LabGRIS, Univ. Fed. do ABC, leonardovarallo@gmail.com

RESUMO ABSTRACT

A carta geotécnica de aptidão à urbanização é um novo instrumento para as políticas de planejamento territorial municipal que fornece diretrizes para ocupação do solo frente à susceptibilidade aos desastres. Na Região Metropolitana de São Paulo, diversas cartas foram elaboradas desde a aprovação, em 2012, da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil que criou o instrumento. Este artigo apresenta inovações metodológicas para elaboração dessas cartas, em um cenário de necessária governança entre os atores envolvidos na gestão de risco, a partir do caso do município de Itapecerica da Serra. Do ponto de vista técnico-metodológico, empregou-se o modelo Shalstab (Shallow Slope Stability) para avaliar a susceptibilidade a eventos geodinâmicos. Zonas úmidas foram configuradas utilizando o modelo HAND (Height to the nearest drainage), mapeamento de planícies fluviais e a proximidade de encostas côncavas. Do ponto de vista da gestão do risco foram realizadas diversas atividades envolvendo equipes da prefeitura municipal em um processo de mútuo diálogo, capacitação e empoderamento dos envolvidos nas ações de planejamento e defesa civil municipal e regional.

Palavras-chave – Carta geotécnica de aptidão à urbanização, Itapecerica da Serra, Gestão de Riscos, Planejamento Territorial e Urbano.

The geotechnical map of suitability for urbanization is a new instrument for municipal territorial planning policies, which provides guidelines for land use, in face of susceptibility to disasters. In the Metropolitan Region of São Paulo, various maps were developed since the promulgation, in 2012, of the National Policy of Civil Protection and Defense, which created this instrument. This paper presents the methodological innovations to develop these maps, in a scenario of necessary governance among the stakeholders involved in risk management, based on the study case of the municipality of Itapecerica da Serra. Regarding the technical-methodological framework, the Shalstab (Shallow Slope Stability) model was used to evaluate the susceptibility to geodynamic events. Wet zones were delimited using the HAND (Height to the Nearest Drainage) model, mapping the fluvial floodplains and the proximity to concave slopes. Regarding risk management, many activities were carried out to involve teams from the municipal government in a process of mutual dialogue, training and empowerment of the stakeholders involved in activities of municipal and regional planning and civil defense.

Keywords – Geotechnical cartography aptitude for urbanization, Itapecerica da Serra, Risk Management, Territorial and Urban Planning.

1 INTRODUÇÃO

Uma carta geotécnica sintetiza o conhecimento sobre o meio físico e seus processos atuantes (geo) em uma determinada área, de modo a subsidiar o estabelecimento de medidas para a adequada ocupação do solo (técnica). É composta geralmente por uma carta síntese, quadro-legendas e texto explicativo (BITAR, FREITAS & SEPE, 2012).

No artigo 3º da seção em que estabelece suas diretrizes, a Lei Federal nº 12.608, de 2012, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC –, aponta que esta deve integrar-se “às políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos, geologia, infraestrutura, educação, ciência e tecnologia e às demais políticas setoriais, tendo em vista a promoção do desenvolvimento sustentável”. No seu artigo 22, altera o artigo 3º-A da Lei nº 12.340, de 2010, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil, especificando que o Governo Federal instituirá “cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos, conforme regulamento”. No parágrafo 2º desse artigo, estabelece um conjunto de obrigações legais para os municípios incluídos nesse cadastro, entre as quais “elaborar carta geotécnica de aptidão à urbanização, estabelecendo diretrizes urbanísticas voltadas para a segurança dos novos parcelamentos do solo e para o aproveitamento de agregados para a construção civil”. Em suas disposições finais, altera ainda o artigo 12 da Lei de Parcelamento do Solo Urbano (Lei Federal nº 6.766, de 1979), indicando que, nos municípios inseridos no cadastro nacional, “a aprovação do projeto de que trata o *caput* ficará vinculada ao atendimento dos requisitos constantes da carta geotécnica de aptidão à urbanização”.

Para implementação da PNPDEC, o Ministério das Cidades articulou, junto a um grupo de pesquisadores, a elaboração de um referencial metodológico (COUTINHO, 2013) e estabeleceu convênios com Universidades Federais para aplicação e validação dos procedimentos metodológicos. Nesse sentido, a Universidade Federal do ABC – UFABC, por meio da equipe multidisciplinar de docentes e discentes de graduação e pós-graduação que constitui o Laboratório de Gestão de Riscos – LabGRIS, elaborou, no período 2014

– 2015, Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização dos municípios de São Bernardo do Campo e Rio Grande da Serra, por meio de um Termo de Execução Descentralizada – TED entre o Ministério das Cidades e a UFABC. No ano de 2016, por meio de Convênio com o Consórcio Intermunicipal Grande ABC, foram elaboradas as Cartas Geotécnicas de Santo André e Ribeirão Pires e, como suporte à elaboração do Plano Diretor Regional do ABC, a integração destas com as Cartas de São Bernardo e Rio Grande da Serra e de Mauá (elaborada pela Prefeitura Municipal de Mauá, em 2015, com assessoria técnica do IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo).

O estudo exposto neste artigo fez parte de novo TED entre o Ministério das Cidades e a UFABC para execução de Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização para quatro municípios da Região Metropolitana de São Paulo: Caieiras, Itapevi, Santana do Parnaíba e Itapecerica da Serra. Foca-se na apresentação dos resultados para o município de Itapecerica da Serra. Os resultados para os demais municípios podem ser consultado em Nogueira e Canil (2017).

2 O MUNICÍPIO DE ITAPECERICA DA SERRA: CARACTERIZAÇÃO GERAL

O município de Itapecerica da Serra localiza-se na porção sudoeste da Região Metropolitana de São Paulo. Seu território fica delimitado entre o reverso da Serra do Mar e a Serra de Paranapiacaba no compartimento geomorfológico do Planalto Atlântico Era originalmente coberto pela Floresta Ombrófila Mista, pertencente ao Bioma da Mata Atlântica. O município encontra-se inserido predominantemente na sub-bacia do rio Embu Mirim, este pertencente à bacia do Alto Tietê, em Área de Proteção e Recuperação de Mananciais – APRM-G (Lei Estadual 12.233/2006). Devido à sua proximidade da cidade de São Paulo (33 km) o município é caracterizado pela função de dormitório, tendo sofrido a partir da década de 1980 um processo de incremento populacional desordenado devido à expansão metropolitana, sobremaneira nas divisas com o município de São Paulo e na região urbana central. Este processo gerou assentamentos irregulares de população nestas porções do território com intensa antropização, com a sistemática perda da cobertura vegetal e consequentes processos erosivos.

3 SINTESE DOS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS UTILIZADOS NA ELABORAÇÃO DAS CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO

3.1 Pressupostos teórico–metodológicos

Os procedimentos para elaboração das Cartas aqui apresentadas apoiaram-se, principalmente, nos textos produzidos pelo Governo Federal para subsidiar a elaboração das cartas geotécnicas (COUTINHO, 2013). Os autores propõem a elaboração de Cartas Geotécnicas de Aptidão Urbanística frente aos Desastres Naturais para Parcelamento do Solo na escala 1:10.000, tendo meta central “o fornecimento de informações que orientem o parcelamento do solo no processo de uso e ocupação, de forma equilibrada com a condição de suporte do meio físico, evitando-se os riscos e as consequências dos desastres”. Destacam a especial importância destas cartas como referência nos processos de licenciamento de novos projetos de parcelamento dos terrenos, particularmente nos municípios sujeitos a riscos geotécnicos.

Também foi observada a metodologia sugerida por Prandini et al. (1995), adaptada à leitura da compreensão fenomenológica dos processos, aspectos do meio físico (tipo de substrato e comportamento dos materiais/aspectos geotécnicos – solo e rocha; aspectos morfológicos e morfométricos do relevo; dentre outros) e as formas de uso e ocupação do solo, que permitiu o estabelecimento um roteiro metodológico preliminar para o desenvolvimento do projeto, descrito a seguir:

- I **Formulação de uma hipótese/modelo inicial orientador:** identificação dos processos geohidrodinâmicos e problemas existentes ou esperados, baseados nas formas de uso e ocupação, nas solicitações e transformações inerentes às tipologias de uso do solo e nos parâmetros geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, hidrológicos, dentre outros que auxiliem na compreensão dos processos estudados. Essa primeira análise do terreno, define uma compartimentação prévia dos problemas esperados;
- II. **Análise fenomenológica:** identificação e análise das causas prováveis (naturais e antrópicas) deflagradoras dos processos;
- III. **Mapeamento, identificação e caracterização de compartimentos ou unidades homogêneas do terreno:** estabelecimento das princi-

pais evidências acessíveis à investigação das características de interesse da área mapeada, definindo critérios de correlação, extrapolação e interpretação dos dados coletados, resultando nas representações espaciais dos elementos ou parâmetros selecionados. Realização de levantamentos de dados, análise de informações, atividades de campo, ensaios laboratoriais e *in situ*, com apoio dos sistemas de informação geográfica para construção de banco de dados e espacialização dos resultados. O produto síntese deve consistir numa compartimentação de unidades homogêneas do terreno, de acordo com a probabilidade de ocorrência dos processos norteadores do estudo, bem como definir as classes de uso e ocupação do solo quanto à aptidão, restrição ou inadequação e respectivas diretrizes para as possíveis intervenções propostas; e

- IV. **Representação:** apresentação dos resultados em linguagem acessível ao gestor público. Para tanto é importante e fundamental a participação da equipe técnica da Prefeitura no processo de construção do quadro-legenda.

Ainda foi aqui considerado o referencial constituído pelas cartas geotécnicas já elaboradas e acessíveis (realizadas por várias instituições em Pernambuco, Minas Gerais, Santa Catarina, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul) e o debate contínuo sobre aspectos metodológicos e conceituais realizados ao longo deste período, com destaque especial para as discussões promovidas pela Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental – ABGE durante o 9º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, ocorrido em março de 2015 em Cuiabá, o 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, realizado em Bento Gonçalves em outubro de 2015 e o 1º Workshop do Comitê Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, que aconteceu em agosto de 2017, na UFABC.

A metodologia aqui empregada, por fim, é também resultante da experiência acumulada pela equipe de pesquisadores e discentes do Laboratório de Gestão de Riscos – LabGRIS da UFABC na produção de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização desde 2014, que pode ser expressa no roteiro metodológico exposto pela Figura 1.

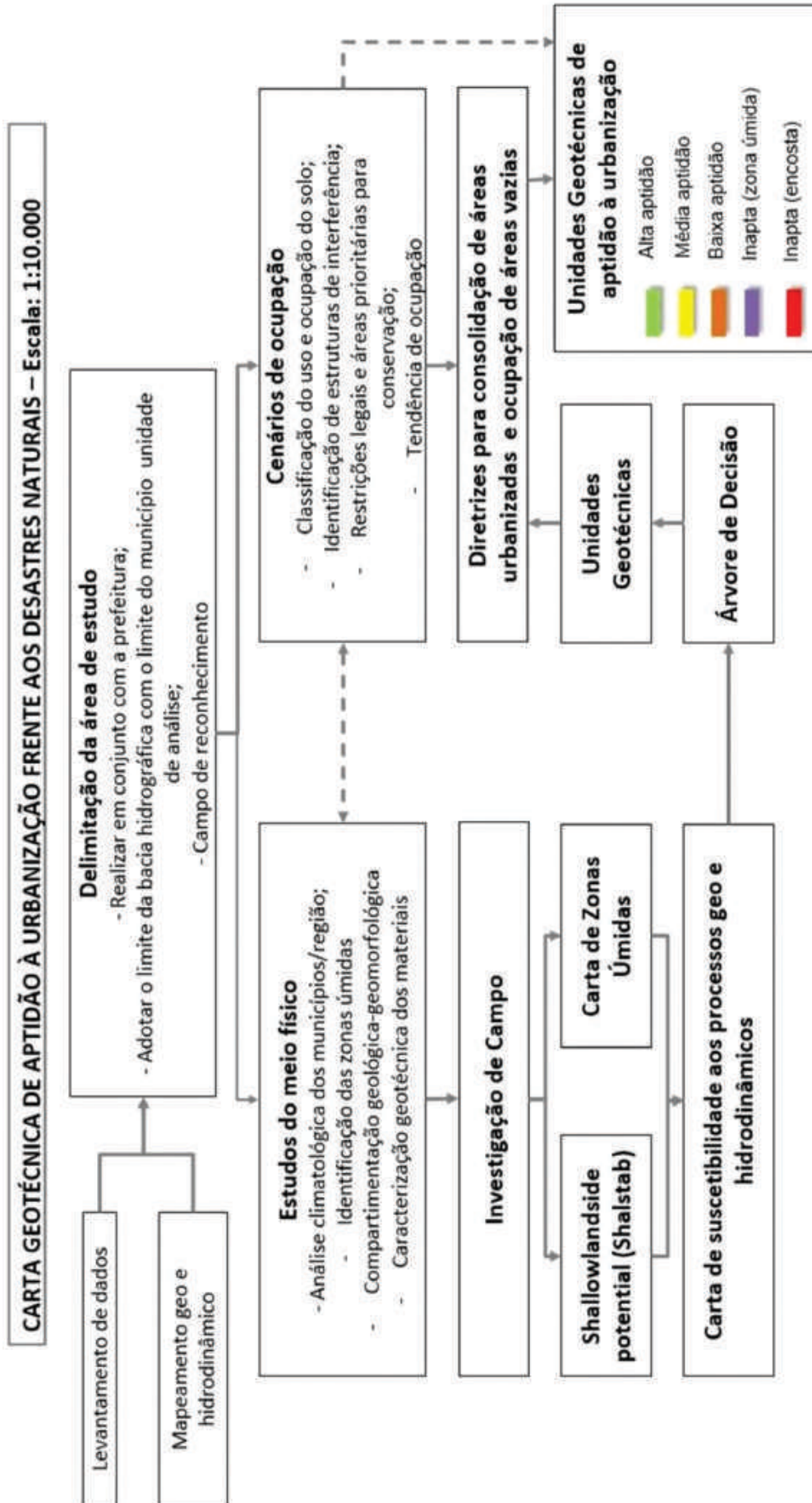


Figura 1. Fluxograma do roteiro metodológico empregado na Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização. Fonte: CANIL & NOGUEIRA, 2017.

3.2 A participação dos técnicos e gestores municipais

Um dos pressupostos adotado pelo texto de referência (DINIZ & FREITAS, 2013) para orientar os procedimentos metodológicos é que o usuário da carta de aptidão é o planejador urbanista, ou seja, é fundamental a participação da equipe técnica e de gestores da Prefeitura do Município no fornecimento de informações e materiais, no acompanhamento da elaboração integral dos estudos para elaboração da carta, na validação das decisões e dos resultados obtidos. Desde a primeira carta de aptidão, a equipe executora da UFABC vem implementando este procedimento (CANIL et al, 2016), buscando a participação e o envolvimento efetivo dos gestores e técnicos locais que atuam nas diversas secretarias municipais (Obras, Meio Ambiente, Habitação, Planejamento, Defesa Civil, dentre outras) em todas as fases do processo: da definição da área de intervenção ao reconhecimento dos principais processos geológico-geotécnico e hidrológicos que atingem o município, até a adequação das legendas e da representação cartográfica. Após a finalização da carta geotécnica, foram realizadas oficinas técnicas para validação dos resultados e capacitação para a utilização desse

instrumento no planejamento e gestão integrada do uso e ocupação do solo do município e na gestão de riscos.

3.3 Delimitação da área de interesse

Para definir a área de intervenção ou de interesse para a elaboração da carta de aptidão à urbanização, devem-se considerar os limites da área de expansão do município definidos pela legislação municipal (se houver essa definição) ou os limites do perímetro urbano municipal previsto no Plano Diretor local, assim como os vetores de expansão urbana que possam ser identificados, especialmente aqueles associados a projetos estratégicos locais do ponto de vista socioeconômico.

Também foi considerado o item IV do artigo 4º da Lei Federal nº 12.608, de 2012, que aponta como uma das diretrizes do Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil: a “adoção da bacia hidrográfica como unidade de análise das ações de prevenção de desastres relacionados a corpos d’água”.

Por fim, este estudo considerou de interesse as áreas urbanas em consolidação e as áreas não urbanizadas do município (Tabela 1), excluindo as áreas já consolidadas.

Tabela 1. Descrição das tipologias de uso e ocupação.

Classe	Descrição geral	Tipos de usos relacionados	Diretrizes e recomendações
Área urbana em consolidação	Densidade populacional média, com as pessoas empregadas em atividades mistas entre os setores primário, secundário e terciário. Características intermediárias entre as áreas de urbanização consolidada e áreas não urbanizadas. Infraestrutura urbana (energia, água, transporte) escassa ou com viabilidade político-econômica de reconversão para outros usos. Algumas das áreas apresentam tendência à expansão da mancha urbana consolidada adjacente e especulação imobiliária, enquanto outras podem encontrar-se estabilizadas. Presença de vazios urbanos ou glebas.	Hortifrutigranjeiro Chácara Favela Aterro Lixão Mineração Loteamento desocupado Movimento de terra e solo exposto	Foram definidas recomendações para consolidação das áreas em acordo com seu o grau de restrição
Área não urbanizada	Baixa densidade populacional, com predomínio de pessoas empregadas no setor primário (agropecuária e extrativismo vegetal). Processos ecológicos menos impactados, podendo ser relevante fornecedora de serviços ecossistêmicos para áreas urbanizadas. Maior permeabilidade do solo, comparada às áreas urbanas e presença de glebas. Pode incluir unidades de conservação e outros espaços legalmente protegidos ou com prioridade para conservação ambiental.	Campo Capoeira Reflorestamento Vegetação várzea Mata	Foram definidas diretrizes para ocupação das áreas em acordo com seu grau de restrição

Fontes: Lei Federal nº 9.636, de 15 de maio de 1998, Art. 16-C; CARDOSO & FRITSCHY, 2012; MARCOTULLIO & SOLECKI, 2013.

3.4 Desenvolvimento da base cartográfica e levantamento de dados

Para a elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização, a primeira etapa de trabalho se concentra no levantamento de informações cartográficas para melhor compreensão das características do meio físico e dos conflitos potenciais do uso e ocupação do solo. Para viabilizar tal etapa foi indispensável o contato com as equipes das Prefeituras e a aquisição de informação e dados espaciais representativos. Após a coleta, a sistematização das bases cartográficas permitiu a representação do território em um ambiente computacional, sendo possível apresentar e analisar a diversidade de condições do terreno e sua relação com os fenômenos geodinâmicos e hidrodinâmicos potenciais no município.

3.5 Espacialização das ocorrências registradas pela Defesa Civil do Município

A Coordenadoria de Defesa Civil de Itapeçerica da Serra disponibilizou registros de ocorrências atendidas entre 2003 e 2015. Estes registros encontravam-se armazenados em diferentes formatos, tanto digital quanto fisicamente em fichas preenchidas pelos agentes de Defesa Civil e sistematizados em planilhas e fichas de campo, contendo informações sobre a localidade de ocorrência, endereço e características do evento. A partir deste material disponibilizado, foi realizada a leitura de cada uma das fichas e planilhas de ocorrências, cada caso sendo avaliado e os dados lançados em duas planilhas de sistematização, uma para deslizamentos e outra para inundação. A triagem dos dados e elaboração das planilhas possibilitou a espacialização de todas as ocorrências selecionadas.

Após a triagem e espacialização das ocorrências, foram elaborados mapas de calor (mapas de Kernel) com a finalidade de analisar o padrão de distribuição espacial de cada tipo de processo na área de estudo. A espacialização das ocorrências em ambiente SIG, associada à elaboração de mapas temáticos, possibilitou o seu cruzamento com os mapas geológicos e geomorfológicos e a associação das ocorrências de deslizamentos e inundações às formas e materiais componentes do meio físico da área de estudo.

3.6 Elaboração do mapa de unidades geológico-geomorfológicas

O mapa de unidades geológico-geomorfológicas das áreas de estudo foi elaborado a partir dos seguintes planos de informação:

- Amplitude e declividade do terreno, gerados a partir de um modelo digital de terreno (MDT) com escala em 1:25.000 e resolução de 5 metros, disponibilizado pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC, 2017); e
- Mapa geológico na escala de 1:50.000, elaborado pela EMPLASA (1979).

Para a definição dos principais padrões de relevo representados no mapa geomorfológico, foram adotados como referência inicial e adaptados para a escala do trabalho os critérios e parâmetros de classificação empregados por Bitar (2014). Com base no MDT, foram gerados os arquivos de classes de amplitude e de declividade, resultando no mapa geomorfológico (indicando os aspectos morfométricos do terreno). Outras ferramentas, tais como sombreado do relevo, obtido pelas imagens, foram utilizadas para fazer os ajustes necessários.

O mapa geomorfológico resultante foi integrado ao de geologia para a elaboração do mapa de unidades geológico-geomorfológicas. A partir das unidades geológicas e geomorfológicas apresentadas, foi realizada a revisão manual das informações, considerando que alguns “cruzamentos” não refletiam de fato os compartimentos observados em campo, devido às dificuldades de readequação relacionadas à escala do mapa geológico disponível. O processo de ajuste e análise dos dados foi sendo refinado a partir das diversas visitas de campo.

3.7 Investigações geológico-geotécnicas

Amostras representativas de cada uma das unidades geológicas foram coletadas em diferentes pontos do município e foram cartograficamente georreferenciadas. A coleta de amostras considerou, dentre outros fatores, a representatividade das unidades geológicas e a ocorrência de processos geodinâmicos na região, além das condições de acesso ao local de amostragem. A caracterização

geotécnica das amostras coletadas baseou-se em observações de campo e trabalhos de laboratório. Desta forma, foi realizada a descrição do solo *in situ* e, posteriormente, em laboratório através de procedimentos de identificação táctil visual, estimando-se a tipologia, textura e mineralogia principal e, portanto, inferindo aspectos acerca do comportamento geomecânico dos solos.

Por fim, foram avaliadas as peculiaridades presentes nos solos tropicais como heterogeneidade, variações mineralógicas, forma dos grãos constituintes, macro e microestrutura, entre outras características que exercem grande influência em seus comportamentos geomecânicos.

3.8 Estudo das zonas úmidas

As tipologias de áreas úmidas (AU) definidas por INAU (2013) utilizadas no presente estudo foram:

- i) AU temporárias (secam periodicamente) lindeiras a cursos d'água que variam de primeira a quinta ordem e apresentam pulsos de curta duração por situar-se nas encostas, geralmente localizadas nos trechos superiores a intermediários das bacias hidrográficas;
- ii) AU permanentes (constantemente úmidas) lindeiras aos cursos d'água de maior ordem situadas nas planícies mais amplas e, geralmente, nos trechos médios a baixos das bacias hidrográficas

Com objetivo de diferenciar os terrenos sujeitos a processos característicos de encostas daqueles recorrentes nas planícies, as AU foram subdivididas em duas zonas i) Zona Úmida de Encosta – ZUE e ii) Zona Úmida de Planície – ZUP (Figura 2).

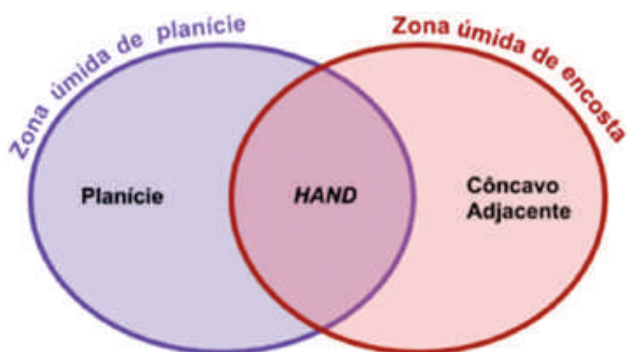


Figura 2. Parâmetros de cruzamento para zoneamento das áreas úmidas¹.

3.9 Elaboração da carta de suscetibilidade a processos geo e hidrodinâmicos

A elaboração da Carta de Suscetibilidade contribui para a compreensão das áreas suscetíveis a processos geo e hidrodinâmicos, a partir da caracterização dos aspectos do meio físico e o mapeamento dos registros dos processos de movimentos gravitacionais de massa (deslizamentos) e inundação. Seu objetivo é indicar a possibilidade de ocorrência desses processos, considerando o grau de intensidade. Constitui em um dos produtos fundamentais utilizados na matriz de cruzamento para a elaboração da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização. Embora o município de Itapeverica da Serra dispusesse de Carta de Suscetibilidade na escala 1:25.000 (BITAR, 2014), a sua adequação à escala da carta de aptidão (1:10.000) foi necessária. Esta carta foi elaborada a partir de duas perspectivas:

- Definição das Áreas Úmidas;
- Identificação de classes de estabilidade de talude (Shalstab).

O modelo HAND foi utilizado para delimitar as áreas suscetíveis a processos hidrológicos, cruzando-o com as planícies delimitadas no mapa geológico-geomorfológico. As classes de suscetibilidade associadas aos processos hidrodinâmicos foram definidas conforme o cruzamento apresentado pela Tabela 2. As demais áreas úmidas, em encosta (ZUE), foram consideradas na análise da suscetibilidade do talude ou vertente. Nestes setores podem ocorrer processos geo e hidrodinâmicos somados.

Tabela 2. Classes de suscetibilidade aos processos hidrodinâmicos.

Áreas úmidas	Altura do HAND (metros)	Suscetibilidade
HAND e planície	Até 1	Alta
	2	Média
Terraço – áreas planas fora do HAND	maior do que 2	Baixa

Também foram realizadas diferentes simulações com os dados e a análise de distribuição espacial das classes do SHALSTAB². Apesar das limitações de dados disponíveis, o modelo per-

mitiu contrapor o comportamento das diferentes litologias e, relacionando à topografia, categorizar as classes do modelo em diferentes níveis de suscetibilidade aos processos geodinâmicos. As

classes de suscetibilidade associadas aos processos geodinâmicos foram definidas conforme os valores apresentados pela Tabela 3.

Tabela 3. Classes de suscetibilidade aos processos geodinâmicos.

Condição de chuva	Descrição da classe	Suscetibilidade
Incondicionalmente estável e saturado	Incondicionalmente estável e saturado	Baixa
0-50 mm/dia	Incondicionalmente estável e não saturado	Média
50-100 mm/dia	Estável e não saturado	Média
100-200 mm/dia	Instável e não saturado	Média
200-400 mm/dia	Instável e saturado	Média
>400 mm/dia	Incondicionalmente instável e não saturado	Média
Incondicionalmente Instável e saturado	Incondicionalmente Instável e saturado	Alta

3.10 Restrições por outros condicionantes

Para além dos elementos analisados na elaboração da carta de suscetibilidade acima, existem condicionantes que por si só já configuram uma situação de ocupação não recomendada, como é o caso das áreas adjacentes às grandes obras de infraestrutura comuns aos centros urbanos (linhas de transmissão de energia elétrica, adutoras, oleodutos), áreas delimitadas como parques e reservas ambientais ou até mesmo áreas afastadas com ausência de infraestrutura e disponibilidade de serviços públicos. Entendendo que a carta geotécnica de aptidão à urbanização é uma ferramenta para auxiliar no planejamento e ordenamento do território, considerou-se fundamental destacar alguns desses aspectos.

Assim, na categoria de limitações associadas à importância ambiental, foram elaborados dois mapeamentos: um primeiro faz a espacialização das legislações que incidem sobre a área de estudo de forma a identificar os perímetros onde a ocupação e a edificação são totalmente vedadas – mapa de restrição legal à ocupação; e um segundo que, por meio de estudos ambientais já existentes, visa identificar áreas com alta prioridade para conservação – mapa de áreas prioritárias para conservação. Na categoria de limitações associadas à presença de risco tecnológico e estruturas de interferência, fez-se uso de informações disponibilizadas pelas prefeituras municipais e pelo governo do Estado de São Paulo para

identificar e representar cartograficamente as principais obras de infraestrutura, pontos de contaminação do solo, áreas de mineração e de aterros sanitários presentes na área de estudo – mapa de estruturas de interferência e áreas contaminadas.

3.11 Elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização

O conceito de aptidão à urbanização, considerando os processos do meio físico que desencadeiam situações de desastres, está baseado na caracterização dos terrenos a partir da suscetibilidade aos processos geológicos (movimentos gravitacionais de massa) ou hidrológicos (inundações) com a indicação de diretrizes para a ocupação, recomendações específicas, e áreas restritivas (PRANDINI et al., 1980; SOBREIRA E SOUZA, 2012). Sua aplicação está voltada para as áreas de expansão urbana dos municípios, incluindo áreas urbanas em consolidação e não urbanizadas. Além dos parâmetros do meio físico, são levados em conta, na sua elaboração, outros condicionantes, como o estágio da cobertura vegetal e aspectos da legislação ambiental que definem restrições de uso e ocupação do solo.

A matriz de cruzamento para elaboração da carta geotécnica considerou as variáveis distintas dos processos que ocorrem nas planícies de inundação (zonas úmidas) e nas áreas de vertentes/encostas (áreas de ocorrências de processos

geodinâmicos – deslizamentos e correlatos). O cruzamento das variáveis foi realizado a partir da aplicação de uma modelagem analítica de múltiplas variáveis, denominada Árvore de Decisão (*Decision Tree*).

4 RESULTADOS

Os resultados da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização de Itapecerica da Serra foram apresentados por um conjunto de cartas (além da própria carta de aptidão, de suscetibilidade, de compartimentos geológico-geomorfológicos, mapas de tipologias de urbanização do Município, de restrições legais e áreas prioritárias para conservação e de tendências à ocupação), por um quadro-legenda com diretrizes para parcelamento, uso e ocupação do solo e também por um Guia para uso da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização. Este Guia teve a intenção de expor, de forma clara, objetiva e com linguagem acessível aos usuários desta Carta, as informações referentes às características geomorfológicas, as potencialidades, as limitações dos terrenos quanto aos tipos de processos geodinâmicos e hidrodinâmicos predominantes, e as diretrizes e recomendações para a ocupação e uso do solo. As unidades geotécnicas estão divididas em Aptas, Aptas com Restrição e Inaptas, descritas em um quadro legenda. Acompanha também uma legenda específica para descrição do comportamento dos materiais de acordo com as litologias observadas na área de estudo. A escala de trabalho e de representação cartográfica adotada é a 1:10.000. A figura 3 mostra a Folha 4 (de 5) da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização de Itapecerica da Serra.

5 CONCLUSÕES

Os resultados da carta (representação gráfica e quadro legenda) auxiliam no planejamento das intervenções em áreas de risco, na definição de novas áreas passíveis de ocupação com segurança ou para reforçar a não ocupação de determinadas áreas para fins de urbanização. Além do quadro-legenda, apresentam-se recomendações de alguns procedimentos gerais com relação às novas obras para áreas em processos de consolidação e urbanização.

NOTAS

¹ HAND: algoritmo descritor de terreno desenvolvido pelo Rennó et al. (2008) que possibilita relacionar a hidrologia e geomorfologia através da normalização de dados topográficos. O modelo foi desenvolvido para delimitar áreas úmidas, podendo ser usado na delimitação de áreas úmidas e zonas de risco de enchentes e inundações.

² SHALSTAB – *Shallow Landslide Stability Model* – modelo matemático utilizado para avaliação de estabilidade em solos rasos (MONTGOMERY e DIETRICH, 1994)

REFERÊNCIAS

BITAR, O. Y. (Coord). Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000: nota técnica explicativa. São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014.

BITAR, O. Y.; FREITAS, C.G.L. de; SEPE, P. M.. Cartografia geotécnica, plano diretor e prevenção de desastres. *Téchne*, v. 20, n.180, p. 68-74, mar., 2012.

CANIL, K.; NOGUEIRA, F.R. ; MORETTI, R.S.; FUKUMOTO, M. M. ; RAMALHO, P. C. ; POLLINI, P. B. ; REGINO, T. M. ; GOMES, A. H. . O processo interativo na elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização e sua aplicação ao planejamento e gestão territorial do município de São Bernardo do Campo, SP.. In: III Congresso da Sociedade de Análise de Risco Latino Americana, 2016, São Paulo. Anais... São Paulo, SP: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. v. 1. p. 1-7.

CARDOSO, M. M.; FRITSCHY, B. A. Revisión de la definición de espacio rururbano y sus criterios de delimitación. *Contribuciones. Científicas*, v. 241, p. 27-39, 2012.

COUTINHO, R. Q. (coord. Geral e org.). Parâmetros para a cartografia geotécnica e diretrizes para medidas de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais. Brasília, Ministério das Cidades/GEGEP/UFPE. 2013.

DINIZ, N. C.; FREITAS, C. G. L. (coord.). Carta Geotécnica. In: COUTINHO, R. Q. (coord. Geral

e org.). Parâmetros para a cartografia geotécnica e diretrizes para medidas de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais. Brasília, Ministério das Cidades/GESEP/UFPE. 2013. Cap. 7, 39 p.

IGC - INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO. Relatório de verificação dos produtos e geração do modelo digital de terreno (MDT) do projeto do Estado de São Paulo. 2017. Disponível em: http://geoportal.igc.sp.gov.br/download_temporario/zxcer/XZXXZXXZX11a_1.pdf. Acesso em: 19 jan 2018.

INAU - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Áreas Úmidas (Mato Grosso) (Ed.). Definição e classificação das áreas úmidas (AUs) brasileiras: Base científica para uma nova política de proteção e manejo sustentável. Cuiabá, 2013. 67 p. Disponível em: <http://www.inau.org.br/classificacao_areas_umidas_completo.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2017.

MARCOTULLIO, P. J.; SOLECKI, W. What is a city? An essential definition for sustainability. In: Boone C., Fragkias M. (eds) Urbanization and Sustainability. Human-Environment Interactions, vol 3. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013, p. 11-25.

MONTGOMERY, D.R.; DIETRICH, W.E. A Physically-Based Model for Topographic Control on Shallow Landsliding. Water Resources Research, v. 30, n. 1, 1994, pp. 1153-1171.

NOGUEIRA, F.R.; CANIL, K. (coord.) Carta geotécnica de aptidão à urbanização: instrumento de planejamento para prevenção de desastres naturais nos municípios de Caieiras, Itapeçerica da Serra, Itapevi e Santana de Parnaíba, Estado de São Paulo. Santo André: Universidade Federal do ABC. Relatório Final. 2017. 133p.

PRANDINI, F. L. et al. Carta geotécnica dos morros de Santos e São Vicente: condicionantes do meio físico para o planejamento da ocupação urbana. São Paulo: IPT, 1980. 31 p. 1 mapa. (Publicação IPT, 1.135).

PRANDINI, F. L., et. al. Cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. In: BITAR, O. Y. Curso de Geologia de Engenharia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: ABGE, 1995.

RENNÓ, C. D., NOBRE, A. D., CUARTAS, L. A., SOARES, J. V., HODNETT, M. G., TOMASELLA, J., WATERLOO, M. J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. Remote Sensing of Environment, v. 112, n. 9, 2008, pp. 3469-3481.

SOBREIRA, F. G.; SOUZA, L. A. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v.2, n.1, 2012. p. 79-97

CARTOGRAFIA MORFOMÉTRICA APLICADA À BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO BREJÃO: CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DOS PROCESSOS MORFODINÂMICOS

MORPHOMETRIC CARTOGRAPHY APPLIED TO BREJÃO STREAM HYDROGRAPHIC BASIN: CONTRIBUTION TO THE STUDY OF MORPHODYNAMIC PROCESSES

BRUNO FERREIRA DA SILVA

Graduando de Geologia, Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (IG/UFU), Campus Monte Carmelo (MG), brunof_silva1998@hotmail.com

ALAN SILVEIRA

Professor do Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (IG/UFU), Campus Monte Carmelo (MG), alan.silveira@ufu.br

RESUMO ABSTRACT

O trabalho teve o objetivo de aplicar técnicas da cartografia morfométrica com intuito de compreender os processos morfodinâmicos atuantes na bacia hidrográfica do Ribeirão do Brejão. Afluente da margem direita do rio Araguari, situada no município de Nova Ponte (MG), na Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, a bacia hidrográfica em estudo está posicionada na unidade geotectônica da Bacia Sedimentar do Paraná (CODEMIG, 2017) e na unidade morfoescultural dos Planaltos e Chapadas da Bacia do Paraná (ROSS, 1985). Partiu-se do pressuposto de que os procedimentos cartográficos morfométricos adotados contribuem com a interpretação geomorfológica da área de estudo, sobretudo quanto à verificação do potencial dos processos morfodinâmicos. Diante disso, propôs-se a organização das Cartas Morfométricas de Declividade (DE BIASI, 1970 e 1992), de Dissecção Horizontal (SPIRIDONOV, 1981, com adaptações de MAURO et al., 1991) e de Dissecção Vertical (SPIRIDONOV, 1981). A análise integrada dos documentos cartográficos produzidos possibilitou a identificação de locais de maior suscetibilidade à ocorrência de processos morfodinâmicos e, conseqüentemente, contribuiu para o apontamento de áreas que necessitam de ações vinculadas ao planejamento ambiental, tendo em vista a interferência antrópica evidenciada.

Palavras-chave: Geomorfologia; Cartografia Morfométrica; Morfodinâmica; Ribeirão do Brejão; Ponte Nova.

The objective of this work was to apply morphometrical cartographic techniques to understand the morphodynamical processes in the Ribeirão do Brejão basin. A tributary of the right bank of the Araguari river, located in the municipality of Nova Ponte (MG), in the Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba Mesoregion, the basin, which is under study, is situated at the Paraná Sedimentary Basin (CODEMIG, 2017) and at the morphoscultural unit of Plateaus and Tablelands of the Paraná Basin (ROSS, 1985). It was assumed that the morphometrical cartographic procedures adopted contribute to the geomorphological interpretation of the study area, especially regarding the verification of the potential of the morphodynamical processes. In this paper, we proposed the organization of the Morphometrical Maps such as Declivity (DE BIASI, 1970 and 1992), Horizontal Dissection (SPIRIDONOV, 1981, with adaptations of MAURO et al, 1991) and Vertical Dissection (SPIRIDONOV, 1981). The integrated analysis of the cartographic documents produced served to identify sites of greater susceptibility to the occurrence of morphodynamical processes and, consequently, this study contributed to the identification of areas that require actions related to environmental planning due to the anthropic interference evidenced.

Keywords: Geomorphology; Morphometric Cartography; Morphodynamics; Ribeirão do Brejão; Ponte Nova.

1 INTRODUÇÃO

A partir da análise de bacias hidrográficas como sistema dinâmico, tem-se a bacia como um sistema aberto com elementos interdependentes. A alteração em uma parte do sistema promove uma mudança em todo o complexo e em seus processos dinâmicos (MATTOS e FILHO, 2014).

Associando essa perspectiva ao quadro geomorfológico da bacia hidrográfica do rio Araguari, verifica-se uma interferência antrópica com capacidade de alterar todo o sistema. Como a bacia do Ribeirão do Brejão é um subsistema da bacia do rio Araguari, evidencia-se a importância da compreensão dos processos morfodinâmicos atuantes neste subsistema.

Sobre o Araguari, tem-se o desaparecimento de canais de primeira ordem e o aumento da erosão diante o modelo agropecuário, uso intensivo de água por captação e a construção de usinas hidrelétricas. Esta interferência no sistema fluvial proporciona uma alteração na dinâmica natural e influi tanto na quantidade como na qualidade da água (RODRIGUES, 2002).

Segundo Cunha, Mendes e Sanchez (2003), o estudo geomorfológico possibilita um melhor planejamento ambiental, visto que há a interação

direta entre as atividades antrópicas e o relevo. Para este trabalho, adotou-se a análise morfométrica como parâmetro investigativo, uma vez que possibilita a percepção acerca da heterogeneidade do relevo, assim como a identificação de áreas mais suscetíveis a condições de adversidade (ANTONELI e THOMAZ, 2007).

A partir dos dados obtidos através das Cartas de Declividade (DE BIASI, 1970 e 1992), Dissecção Horizontal (SPIRIDONOV, 1981, com adaptações de MAURO, 1991) e Dissecção Vertical (SPIRIDONOV, 1981), teve-se uma investigação acerca da morfometria do relevo que contribuiu com a compreensão da potencialidade à ocorrência dos processos morfodinâmicos em cada setor da bacia. Desta forma, tornou-se possível a identificação de locais mais suscetíveis à ocorrência desses processos.

2 ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Ribeirão do Brejão possui uma área de aproximadamente 73,356 km² e está situada no município de Nova Ponte (MG), na Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (Figura 1).

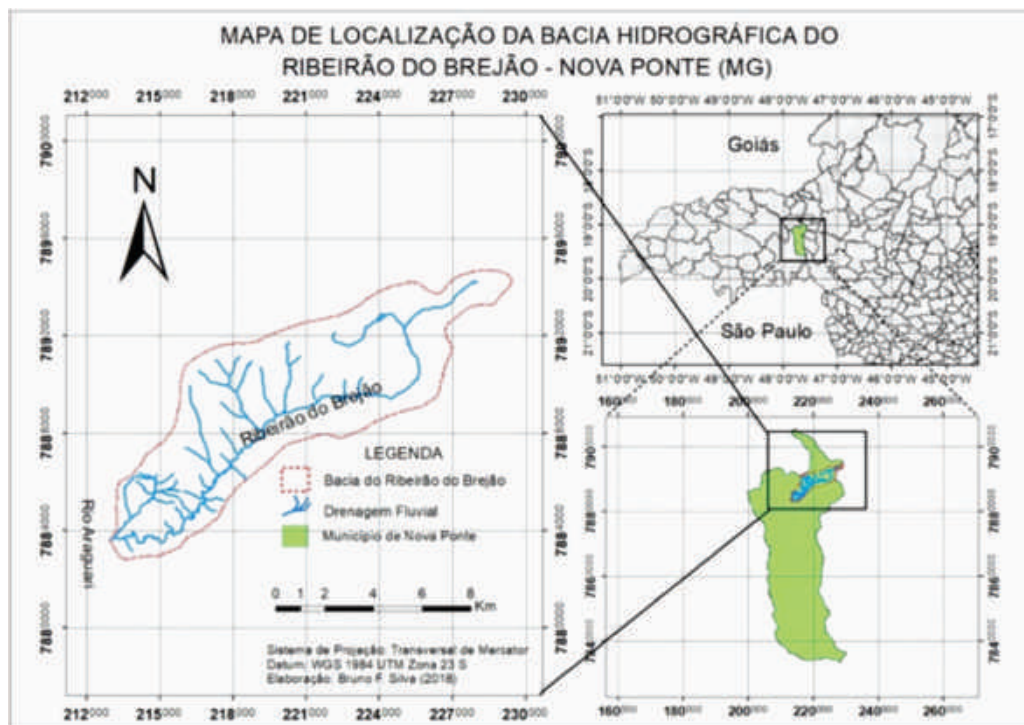


Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica do Ribeirão do Brejão.

O objeto de estudo está inserido na unidade geotectônica da Bacia Sedimentar do Paraná, em área cuja litologia se caracteriza pela presença das Formações Serra Geral e Marília, além de Coberturas Detrítico-Lateríticas Coluvionares (CODEMIG, 2017). A Formação Serra Geral, pertencente ao Grupo São Bento, teve seu desenvolvimento no Cretáceo Inferior associado a derrames e intrusões basálticas com intercalações de arenito e diques de diabásio. A Formação Marília, situada no Grupo Baurú, apresenta grupos litológicos de arenito e laminito arenoso. Já as coberturas quaternárias apresentam depósitos sedimentares predominantemente quartzo silto-arenosos amarelados ou avermelhados, de granulação fina a média (CODEMIG, 2017).

Do ponto de vista geomorfológico, posiciona-se nos Planaltos e Chapadas da Bacia do Paraná (ROSS, 1985), marcados por relevos tabuliformes e relevos com níveis diferenciados de dissecção. Dominam na bacia os solos classificados como Latossolo Amarelo Distrófico e Latossolo Vermelho Acriférico, com áreas restritas de Neossolos Litólicos Distróficos (MOTTA et al, 2004). Os Latossolos apresentam avançado estágio de intemperização (muito evoluídos), como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo, enquanto os Neossolos, por vezes, são pedregosos, cascalhentos e mesmo rochosos (IBGE, 2015).

O tipo climático refere-se ao *Tropical Semi-Úmido*, cujas características indicam: quente o ano todo com 4 a 5 meses secos; temperatura média anual entre 22°C - 26°C; pluviosidade média anual entre 1100mm - 1750mm, concentrados no verão; déficit hídrico anual entre 100mm - 500mm e excedente hídrico anual entre 200mm - 600mm (NOVAIS, 2011).

3 METODOLOGIA

As Cartas Morfométricas são representações cartográficas que apresentam o potencial de quantificar as formas do relevo através de uma abordagem geométrica (CUNHA, MENDES e SANCHEZ, 2003).

Como investigação morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão do Brejão, confeccionou-se os seguintes documentos: Cartas de Declividade

ou Clinográfica, Dissecção Horizontal e Dissecção Vertical. As cartas morfométricas foram produzidas manualmente e editadas no *software* CorelDRAW 2017, tendo em vista que há o interesse na elaboração destes documentos cartográficos de modo digital. Para a confecção das cartas, adotou-se a Carta Topográfica da Folha Nova Ponte (MI-2489-2) de 2007, disponível pelo IBGE, com escala de 1:50.000 e equidistância das curvas de nível de 20 metros.

3.1 Declividade

Tem-se a Carta Clinográfica, ou de Declividade, como um método investigativo do meio natural com fundamentação na análise quantitativa acerca da inclinação das vertentes (DE BIASI, 1992). Seguindo a proposta de De Biasi (1970 e 1992), primeiramente, obtiveram-se os maiores e menores valores de espaçamento entre as curvas de nível que possibilitaram a aquisição dos valores limites de declividade da bacia a partir da seguinte fórmula:

$$Dc = \frac{DN}{DH} \times 100 \quad (1)$$

Onde,

Dc - declividade (%)

DN - equidistância das curvas (m)

DH - distância horizontal (m)

Em seguida, determinaram-se as classes, respeitando os valores de máxima e mínima declividade. Com um ábaco graduado, percorreram-se as áreas entre curvas de nível, designando os diversos graus de declividade de acordo com os diferentes distanciamentos do documento cartográfico (DE BIASI, 1992).

3.2 Dissecção Horizontal

A Carta de Dissecção Horizontal representa a distância que separa os talwegues das linhas de cumeada. Permite identificar a dissecção promovida pela drenagem, possibilitando avaliar áreas de interflúvios mais estreitos e, portanto, áreas suscetíveis aos processos morfodinâmicos.

A partir da proposta de Spiridonov (1981), com adaptações de Mauro et al. (1991), delimitaram-se, primeiramente, as sub-bacias. A classificação da área entre o talvegue e a linha de cumeada foi atribuída pela distância correspondente e que, com um ábaco graduado, estabeleceram-se diferentes classes. Definiram-se as classes através dos valores de máxima e mínima distância entre talvegue e a linha de cumeada, 50 metros e 750 metros neste caso. Obedeceu-se a recomendação de Spiridonov (1981) de que os valores quantitativos das classes fossem correspondentes ao dobro do limite da classe antecedente, desde o mínimo mapeável. Assim, as classes foram: < 50 m; 50 + 100 m; 100 + 200 m; 200 + 400 m; 400 + 800 m; \geq 800m.

3.3 Dissecação Vertical

A dissecação vertical retrata quantitativamente a altitude relativa entre a linha de cumeada e o talvegue, permitindo a análise do grau de entalhamento realizado pelos cursos fluviais.

Para a confecção da Carta de Dissecação Vertical, adotou-se a proposta de Spiridonov (1981). Primeiramente, delimitaram-se todas as sub-bacias.

Em seguida, marcaram-se pontos nos locais de intersecção entre drenagem e curva de nível. Por fim, traçaram-se delimitações que compreendessem a menor distância entre o talvegue e a linha de cumeada a fim de priorizar o traço de maior declive altimétrico, segundo modelo de Cunha, Mendes e Sanches (2003). As classes foram definidas de acordo com a distância entre as curvas de nível e o talvegue. Assim, obtiveram-se as classes: < 20 m; 20 + 40 m; 40 + 60 m; 60 + 80 m; 80 + 100 m; \geq 100 m.

4 RESULTADOS

Para uma melhor compreensão do quadro morfométrico do relevo da bacia hidrográfica do Ribeirão do Brejão, dividiu-se a área de estudo em quatro grandes compartimentos: a Alta Bacia, a Média Alta Bacia, Média Baixa Bacia, e a Baixa Bacia (Figura 2).

O estudo morfométrico foi efetuado a partir da análise integrada dos dados cartográficos obtidos através da Carta de Declividade (Figura 3), Carta de Dissecação Horizontal (Figura 4) e a Carta de Dissecação Vertical (Figura 5).



Figura 2. Divisão em compartimentos da área de estudo.

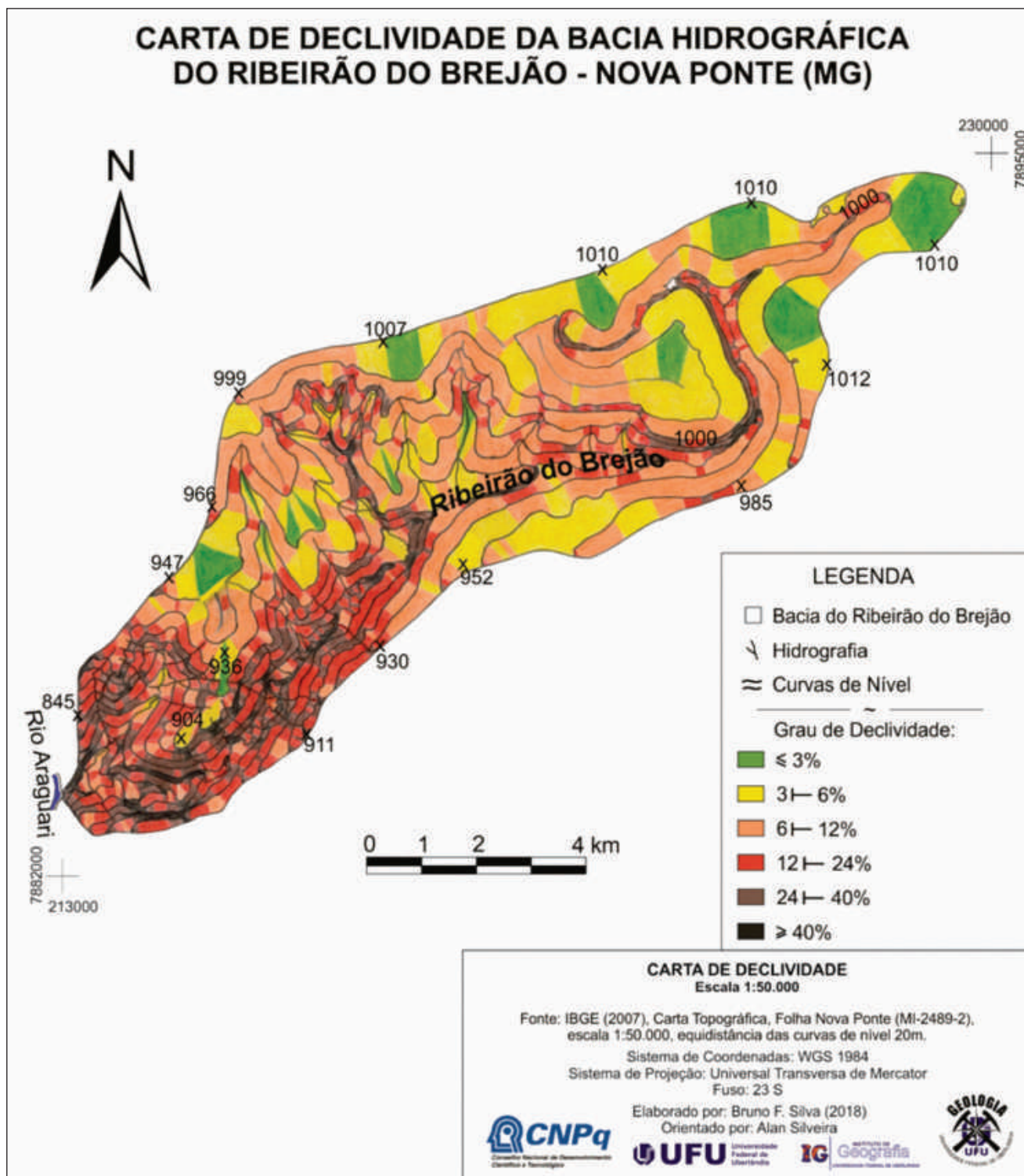


Figura 3. Carta de Declividade.

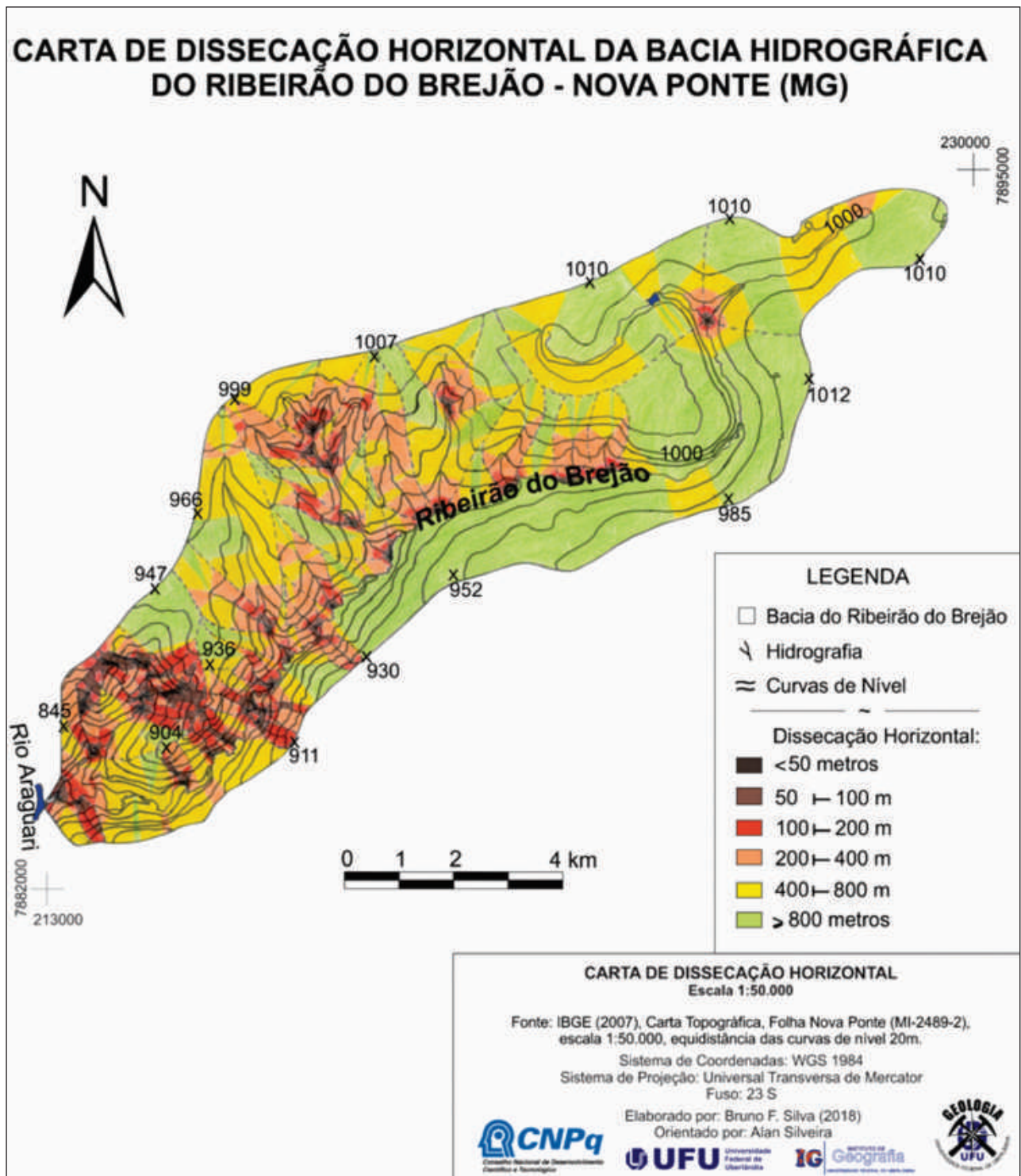


Figura 4. Carta de Dissecação Horizontal.

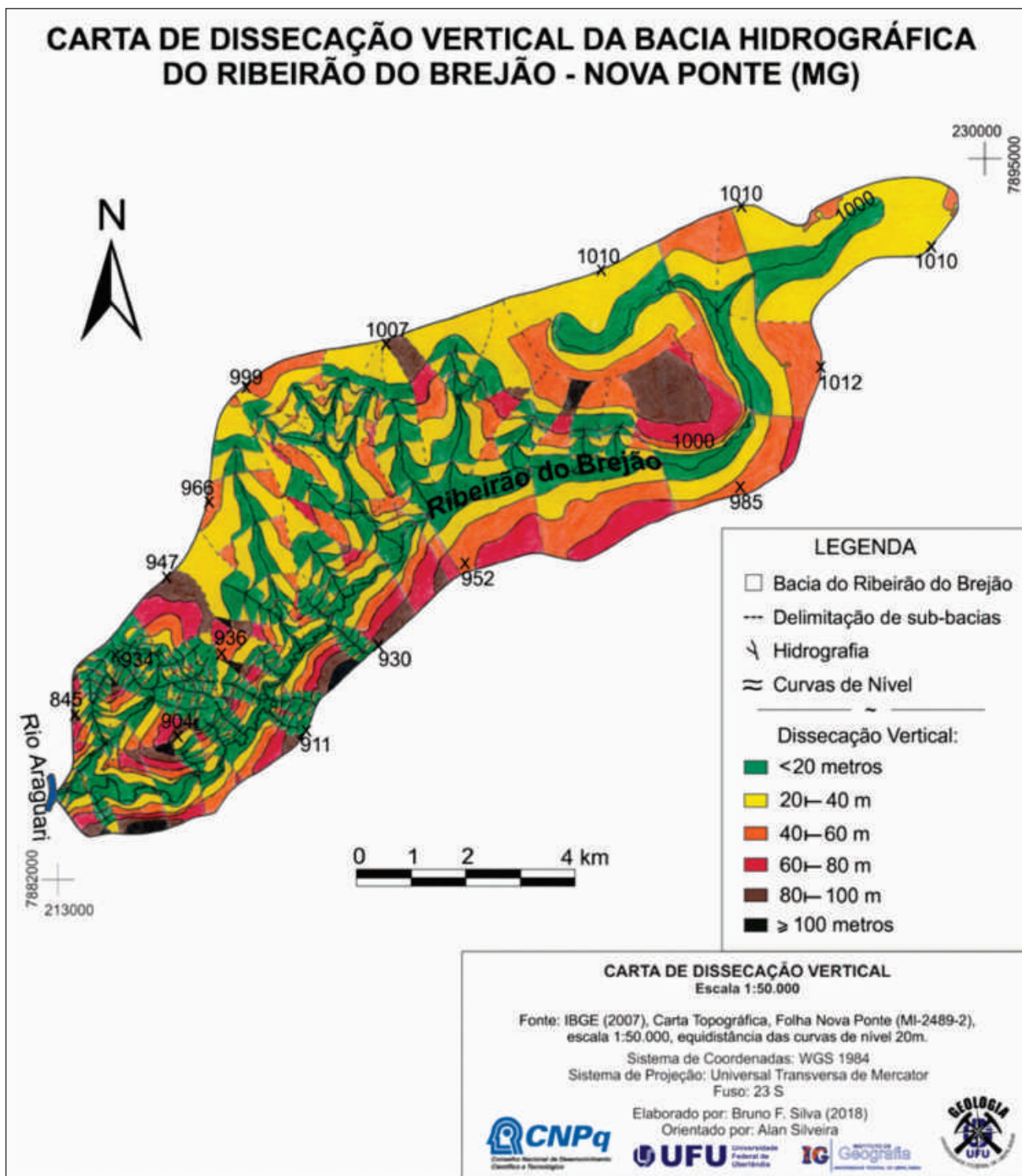


Figura 5. Carta de Dissecação Vertical.

Para o setor da **Alta Bacia**, evidenciaram-se, sobretudo, declividades reduzidas ($\leq 3\%$, 3 a 6% e 6 a 12%) correspondendo ao relevo suavizado (Figura 6). Acerca da dissecação horizontal, pôde-se perceber áreas de interflúvio extensas respectivas às classes de 400 + 800 m e ≥ 800 m, representando baixa densidade de drenagem para este compartimento (Figura 6). Verificou-se, para a dissecação vertical, um reduzido grau de entalhamento (< 20 m, 20 + 40 m e 40 + 60 m).



Com isso, tem-se a Alta Bacia como um setor em que as cabeceiras de drenagem apresentam reduzido grau de entalhamento dos vales, reduzida densidade de drenagem e baixas declividades. Desta forma, tem-se a presença de represamentos nestes vales amplos e pouco entalhados, sobretudo diante uma condição hidromórfica destas áreas que possibilitam o acúmulo de água (Figura 7).



Figuras 6 e 7. À esquerda, relevo suavizado com reduzida declividade, baixa densidade de drenagem e baixo grau de entalhamento dos vales, expresso pela ampla área destinada à agricultura. À direita, represamento em ambiente hidromórfico em área de antiga vereda.

Para a **Média Alta Bacia**, evidenciaram-se baixas declividades ($\leq 3\%$ e 3 a 6%), sobretudo próximo aos canais fluviais. De modo geral, pôde-se perceber dois padrões acerca da dissecação horizontal neste setor. As vertentes da margem direita do canal principal apresentam classes baixas a médias (200 a 400 m e 400 a 800 m), enquanto as vertentes à esquerda do Ribeirão do Brejão apresentaram baixíssima densidade de drenagem, com valores superiores a 800 metros de interflúvio. Quanto à dissecação vertical, tem-se uma va-

riação altimétrica de baixa a média alta (< 20 m, 20 + 40 m, 40 + 60 m e 60 + 80 m), com exceção de algumas áreas com 80 + 100 m.

Este setor apresenta vertentes mais inclinadas quando comparado com a Alta Bacia (Figura 8), tendo em vista a maior presença e atuação dos canais fluviais. O leito sedimentar evidenciado nas áreas de confluência sugere tanto a presença dos arenitos da Formação Marília quanto a potencialidade de transporte do canal, uma vez que há seixos rolados no leito (Figura 9).



Figuras 8 e 9. À esquerda, relevo com vertentes extensas e suavizadas pertencente à Média Alta bacia. À direita, confluência entre o Ribeirão do Brejão (seta) e seu afluente sobre leito aluvionar com seixos.

A **Média Baixa Bacia** exibe dois principais padrões. As vertentes da margem direita apresentaram menor potencial à ocorrência dos processos morfodinâmicos quando comparada às vertentes da margem esquerda. As vertentes à direita do Ribeirão do Brejão apresentam declividades desde baixas até altas ($\leq 3\%$, 3 a 6 %, 6 a 12 %, 12 a 24 % e 24 a 40 %), enquanto as encostas à esquerda exibem o predomínio de altas declividades (12 a 24 %, 24 a 40 % e $\geq 40\%$). Para a dissecação horizontal, observaram-se classes baixas (400 a 800 m e ≥ 800 m) nas porções Leste, enquanto a zona à direita do canal principal apresentou classes baixa a média alta (100 a 200 m, 200 a 400 m e 400 a 800 m). Evidenciou-se o predomínio de um baixo grau

de entalhamento na margem direita, com classe muito baixa a média (< 20 m, 20 + 40 m, 40 + 60 m), ocorrendo também, porém em maior raridade, dissecações verticais de 60 a 80 m. Por outro lado, a margem esquerda ressaltou um maior grau de entalhamento dos vales (80 a 100 m e ≥ 100 m).

Evidenciou-se uma alta potencialidade à ocorrência dos processos morfodinâmicos na margem esquerda do canal principal. Em campo, notou-se um grau de entalhamento dos vales bem marcante (Figura 10), assim como feições de erosão. Pôde-se comprovar a suscetibilidade da área diante dessas feições erosivas lineares encontradas, bem como dos terraceamento agrícola (Figura 11), que objetivam mitigá-las.



Figuras 10 e 11. À esquerda, marcante dissecação vertical e elevada inclinação da vertente (seta). À direita, terraceamento agrícola (seta) implantado para mitigar a erosão.

Em relação a **Baixa Bacia**, constataram-se, em toda a porção deste setor, classes de média a muito alta declividade (6 a 12 %, 12 a 24 %, 24 a 40 % e ≥ 40 %), com exceção de pequenas áreas que apresentaram baixa declividade. Acerca da dissecação horizontal, evidenciou-se um grande grau de dissecação nas zonas ao norte deste setor, sobretudo, diante a presença de uma rica rede de drenagem. Para a dissecação vertical, notou-se que há um alto grau de entalhamento (80 a 100 m e ≥ 100) quando comparado com o restante da bacia diante uma maior densidade de drenagem evidenciada neste setor.



Tem-se para este setor uma alta potencialidade acerca da ocorrência dos processos morfodinâmicos, sobretudo os processos erosivos lineares. A potencialidade da ação pluvial foi evidenciada, diante um relevo entalhado (Figura 12), assim como pela presença de bolsões de contenção de água pluvial (Figura 13). Não se notou procedimentos de recuperação de áreas degradadas, tendo em vista o significativo número de sulcos erosivos, que se não tratados, podem vir a se tornar voçorocas.



Figuras 12 e 13. À esquerda, relevo entalhado (conca) (seta) diante da ação pluvial. À direita, bolsão de contenção de água pluvial margeando estrada posicionada em vertente com elevada declividade (seta).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do pressuposto de que a Geomorfologia contribui com o estudo do relevo, destaca-se que as cartas morfométricas contribuíram para a identificação dos setores que apresentam maiores vulnerabilidades quanto aos processos morfodinâmicos. Com a investigação de cada setor da bacia, notou-se que as porções Baixa e Média Baixa Bacia são mais suscetíveis aos processos morfodinâmicos por apresentarem maiores declividades, alto grau de entalhamento e densidade de drenagem significativa. A partir das características presenciadas em campo, evidenciou-se uma correlação com a condição exibida nas cartas acerca da potencialidade aos processos morfodinâmicos, como os processos erosivos eviden-

ciados, por exemplo. Acerca das adversidades, tem-se um baixo investimento para a recuperação destas áreas. Entre os procedimentos estão o uso do terraceamento agrícola para conter a erosão e a criação de bolsões de contenção de água pluvial para amenizar os sulcos nas estradas. Diante estas condições, faz-se necessário que haja um estudo aprofundado, sobretudo, no setor de Baixa e Média Baixa Bacia a fim de evitar problemas ainda mais graves no futuro.

REFERÊNCIAS

ANTONELI, V; THOMAZ, E. L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. *Revista Caminhos da Geografia*, Uberlândia, v.8, no.21, p. 47, jun. 2007.

CODEMIG, COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta Geológica:** Folha Nova Ponte (SF.23-Y-C-I), escala 1:100.000, 2017.

CUNHA, C.M.L.; MENDES, I.A.; SANCHEZ, M.C. Técnicas de Elaboração, Possibilidades e Restrições de Cartas Morfométricas na Gestão Ambiental. **Geografia**, Rio Claro, v.28, n. 3, p. 415-429, 2003.

DE BIASI, M. Cartas de Declividade: Confecção e Utilização. **Geomorfologia**, São Paulo, n.21, p. 8-12, 1970.

DE BIASI, M. A Carta Clinográfica: Os Métodos de Representação e sua Confecção. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.6, p. 45-60, 1992.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

MATTOS, S. H. V. L de; PEREZ FILHO, A. Complexidade e Estabilidade em Sistemas Geomorfológicos: Uma Introdução ao Tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 5, no.1, p. 11 - 18, 2004.

MAURO, C.A. et. al. Contribuição ao Planejamento Ambiental de Cosmópolis-SP-BR. In:

ENCUENTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA, 3, 1991, Toluca. **Memórias**. Toluca: UAEM, v.4, p. 391-419, 1991

MOTTA, P. E. et al. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da região do Alto Paranaíba, Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004.

NOVAIS, G.T. **Caracterização Climática da Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Parnaíba e do Entrono da Serra da Canastra (MG)**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), 2011.

RODRIGUES, S. C. Mudanças ambientais na região na região do Cerrado. Análise das causas e efeitos da ocupação e uso do solo sobre o relevo. O caso da bacia hidrográfica do Rio Araguari, MG. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, no.12, p. 107-117, 2002.

ROSS, J.L.S. Relevo Brasileiro: uma nova proposta de classificação. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v.4, 1985.

SPIRIDONOV, A.I. **Princípios de la Metodologia de las Investigaciones de Campo y el Mapeo Geomorfológico**. Havana: Universidad de la Havana, Facultad de Geografia, 1981.

CONSIDERAÇÕES SOBRE A PRODUÇÃO DE FINOS EM ENSAIOS DE COMPRESSÃO DIAMETRAL

ON THE PRODUCTION OF FINES IN DIAMETRAL COMPRESSION TESTS

JOÃO ANTONIO CURTIS NETO

Programa de Pós-graduação em Geotecnia, Esc. Eng. São Carlos, Univ. de São Paulo, geol.joaocurtis@gmail.com

ROGÉRIO PINTO RIBEIRO

Departamento de Geotecnia, Esc. Eng. São Carlos, Univ. de São Paulo, rogerioprx@sc.usp.br

RONY SOUZA DOS SANTOS

Programa de Pós-graduação em Geotecnia, Esc. Eng. São Carlos, Univ. de São Paulo, rony.santos@usp.br

JOZIAS CAETANO DE SOUZA BRAVO

Programa de Pós-graduação em Geotecnia, Esc. Eng. São Carlos, Univ. de São Paulo, joziascaetano@gmail.com

JOÃO PAULO MONTICELLI

Programa de Pós-graduação em Engenharia Geotécnica, Esc. Eng. São Carlos, Univ. de São Paulo, jpmonticeli@gmail.com

RESUMO ABSTRACT

As etapas de desmonte e de britagem em minerações de agregados produzem britas de diversas granulometrias. Neste ciclo produtivo também são produzidos “finos” (com diâmetro menor que 4,75 mm) por vezes em quantidades excessivas e com baixa demanda comercial, revelando que estudos quantitativos sobre as faixas granulométricas resultantes do beneficiamento devem enfatizar as frações menores. Nesta perspectiva, o presente trabalho tem como objetivo analisar quantitativamente os finos gerados em ensaios laboratoriais, a partir de três litotipos (basalto, diabásio e monzodiorito com diferentes granulacões), amostrados em uma pedreira em Limeira-SP, constituindo geologicamente uma ocorrência intrusiva na Formação Serra Geral. Foram realizados ensaios de compressão diametral em corpos de provas preparados, a partir de blocos representativos amostrados em campo. Os experimentos envolveram uma campanha com diferentes taxas de carregamento, visando atingir rupturas rápidas em torno de dez e vinte segundos de duração. Foi necessário a utilização cautelosa de uma embalagem plástica envolvendo o aparato experimental, possibilitando a

The blasting and crushing stages in aggregate mining produce materials of different granulometries. In this productive cycle is also produced “finos” (with a diameter smaller than 4.75 mm) sometimes in excessive quantity and with lower commercial demand, what shows that quantitative studies about the granulometry ranges that are resulted from the beneficiation must also emphasize the smaller fractions. Based on these assumptions, the goal of this paper is to analyze quantitatively the fines generated in laboratory tests stem from three lithotypes (basalt, diabase, and monzodiorite with different granulometries) that were sampled in a quarry in Limeira City – São Paulo State, what constitutes geologically an intrusive occurrence in Serra Geral Formation. It was performed diametrical compression tests in specimen that were prepared from representative blocks sampled in the field. The experiments involved a campaign with different loading rates, that aimed to reach quick ruptures with a duration of about ten to twenty seconds. It was necessary the cautious application of a plastic package involving the experimental apparatus, what enables

coleta dos fragmentos resultantes das rupturas. Após a conclusão dos ensaios, efetuou-se o peneiramento dos fragmentos nos diâmetros de 4,75 mm e de 1,00 mm, resultando em índices de perda de massa para cada amostra. Em termos das relações entre as perdas de massa e a resistência à tração dos materiais, observou-se um aumento dos finos relacionado as maiores resistências.

Palavras-chave: Agregados; Finos; Beneficiamento; Compressão diametral; Ensaio brasileiro

the picking of the fragments resulted from the ruptures. After the tests conclusion, it was executed the sieving of the fragments with diameters of 4.75 mm and of 1.00 mm, what results in mass loss rates for each sample. In terms of the relation between the mass loss and the tensile strength of the rocks, it was noticed an increase of the fine according to the strength increases.

Keywords: Aggregates; Fine material; Processing; Diametrical compression; Brazilian Test

1 INTRODUÇÃO

As principais aplicações das rochas na construção civil brasileira são na forma de blocos (paralelepípedos), de placas (pisos e paredes), e na forma granular, como pedra britada, pó de pedra, cascalho, dentre outros. Na forma granular, os agregados podem ser utilizados com ligantes na produção de asfalto e concreto de cimento Portland, e sem ligantes, na confecção de drenos, filtros e lastro de ferrovia (OLIVEIRA & MONTICELLI, 2018). Em concretos de cimento Portland, cerca de 40% a 70% do volume pode ser constituído por agregados, britas, influenciando diversas propriedades físico-mecânicas (METHA & MONTEIRO, 2008 e ASKELAND & FULAY, 2009), bem como em seu custo de produção.

O agregado (brita, por exemplo) é obtido a partir de blocos de rocha provenientes do desmonte da frente de lavra. Furos são realizados no maciço rochoso para carregamento com explosivos, organizados em uma malha ideal de modo a produzir uma detonação satisfatória (ALMEIDA, 2003). Os blocos gerados no desmonte devem estar bem dimensionados para as próximas etapas, do contrário podem ser necessários outras detonações, ou a utilização de martelotes para a quebra dos blocos. O uso de martelotes, inadequados para cominuição dos blocos, de certa forma, aumenta o custo final da brita. Desse modo é importante prever a distribuição dos tamanhos dos blocos para otimizar a fragmentação, ou seja, o plano de desmonte, distribuição e carregamentos dos

furos (ZHANG, 2016). No entanto, as soluções ideais para otimização dos desmontes não envolvem somente o custo por tonelada dos blocos de rocha detonados, mas também os impactos gerados no transporte, britagem e em etapas correlatas (KANCHIBOTLA, 2003).

Se por um lado as propriedades do maciço rochoso, como as descontinuidades, regem o desmonte adequado dos blocos para as etapas subsequentes, por outro, no beneficiamento as propriedades da rocha intacta são mais relevantes. Segundo Frazão (2002), a etapa de britagem tem grande ligação com as propriedades da rocha beneficiada, quantidade e qualidade de produção, operação e manutenção de equipamentos. Chaves & Peres (2009) salientam que os processos de britagem geralmente são feitos em estágios, independentemente do tipo de britador, são processos sucessivos que podem acarretar maiores custos caso as propriedades da rocha intacta não sejam devidamente estudadas. Além disso, durante a britagem, a fragmentação da rocha se processa por meio de carregamentos lentos se comparada ao desmonte, e relacionada a uma combinação de mecanismos, sendo eles: tração indireta, carregamento dinâmico, atrito e cisalhamento (MCNALLY, 1998). Desta forma, parâmetros geomecânicos obtidos por meio de ensaios laboratoriais podem ajudar a levantar informações sobre as rochas e suas possíveis influências no beneficiamento. A Tabela 1 reuni as propriedades mais importantes no desmonte e na britagem de rochas em pedreiras.

As operações realizadas em pedreiras para produção de agregados envolvem as fragmentações de rochas, desde a extração do maciço rochoso até a cominuição ideal. Trata-se de etapas onerosas, visto que se utilizam de explosivos e grande aporte energético na britagem, portanto, as informações sobre o maciço e a rocha intacta são fundamentais para a otimização destas etapas. Muitas técnicas ou procedimentos geológico-geotécnicos avançados ainda não são sistemáticos na resolução de diferentes aspectos produtivos na exploração de pedreiras. Soluções empíricas são empregadas na maioria dos casos e estudos laboratoriais acabam não sendo realizados. Neste cenário a produção de materiais menores que 4,75 mm é desfavorável e denota baixa eficiência do britador, já que, comparativamente a outros agregados, a areia de britagem possui menor valor de mercado. Segundo a norma NBR 9935 (ABNT, 2011), as frações mais finas resultantes das britagens com diâmetro menor que 4.8 mm são classificadas em: areia de britagem com grãos passantes pela peneira com malha de 4.8 mm e retidos na peneira com abertura de 150 µm; e finos com todo material granular passante na peneira de malha 150 µm.

Bohloli *et al.* (2001) realizaram estudos com diferentes rochas em ensaios de compressão diametral, com taxas de carregamento para rupturas rápidas, em menos de 10 segundos para quantificar a produção de finos, areia de britagem. As rochas foram testadas nas condições saturada e seca, com resultados prevendo geração de menor quantidade de finos nas amostras saturadas. O ensaio de compressão diametral em materiais rochosos na maioria das vezes gera uma fratura única no meio do corpo de prova, entretanto próximo aos pontos de carregamentos a tendência é que as amostras sejam fragmentadas em pequenos pedaços (ZHANG, 2016). Em outras palavras, a configuração deste ensaio promove a distribuição do esforço de modo que as bordas dos corpos de prova concentrem a tensão, provocando rupturas nestas extremidades e produção de finos. A avaliação de finos gerados em ensaios de compressão diametral com taxas de carregamentos altas, tem

influência principalmente da rigidez e da resistência das rochas e ao carregamento pós-ruptura (BOHLOLI & HOVEN, 2007), isto é, rochas de alta resistência possuem um maior carregamento pós-ruptura e produzem mais fragmentos.

Nesse sentido é fundamental levantar informações sobre a resistência e a produção de finos dos litotipos lavrados, uma vez que seu conhecimento pode otimizar o beneficiamento da rocha, ou se, inerente do processo utilizado, ter estimativas sobre a produção de material de segunda classe, com baixo valor comercial, ou rejeito. O aproveitamento de materiais descartados, por exemplo, demanda ensaios específicos para sua caracterização e aplicabilidade na construção civil, como referido em Franklin Júnior *et al.* (2019) e Reis *et al.* (2020).

Este trabalho apresenta um estudo sobre a produção de finos de quatro diferentes rochas provenientes de uma pedreira ativa de agregados em Limeira-SP. Essa localidade é vizinha da Região Metropolitana de Campinas (RMC), de considerável demanda de agregados pétreos notadamente para construção civil. As litologias investigadas são relacionadas à uma intrusão da Formação Serra Geral com variações composicionais devido à cristalização fracionada, típica desta forma de jazimento (Figura 1). A influência da heterogeneidade da rocha, os valores de resistência à tração e a quantidade de finos foram investigados por meio de procedimentos tátil visuais e ensaios laboratoriais.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânica das Rochas do Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP). O ensaio de resistência à tração indireta, ensaio brasileiro, foi empregado na determinação dos valores de resistência dos litotipos e na produção de finos passantes nas peneiras de abertura de 1,00 e 4,75 mm, respectivamente as n° 18 e 4. As recomendações da ISRM (1978) foram seguidas para confecção dos corpos de prova e condições dos ensaios. No entanto, conforme sugerido por Bohloli & Hoven (2007), as taxas de carregamentos foram alteradas para provocar rupturas rápidas.

Tabela 1. Fatores geológicos importantes em desmonte e britagem. Modificado de McNally (1998).

Propriedades	Descrição
Litologia	Tipo de rocha; mineralogia (especialmente teor de quartzo e argilominerais) e <i>fabric</i> (estrutura e textura).
Rocha intacta	Resistência: índice de carga pontual (I_s50), resistência à compressão uniaxial (RCU) e tração indireta (<i>Brazilian test</i>); Módulo de elasticidade estático (E_s), Relação Módulo e RCU (E/RCU), características de rigidez e fragilidade; Peso específico, porosidade e absorção de água; Velocidades de propagação de ondas (V_p e V_s), módulo de elasticidade dinâmico (E_d), Relação entre módulos estático e dinâmico (E_s/E_d).
Maciço Rochoso	Orientação espacial e predomínio de cada família de juntas presentes; Espaçamento das juntas (se estão uniformemente espaçadas, agrupadas ou distribuídas de modo aleatório); Abertura das juntas, umidade (presença de água) e tipo de preenchimento e cimento; Espessura de camadas, posição e orientação de camadas ou níveis de materiais brandos e duros.

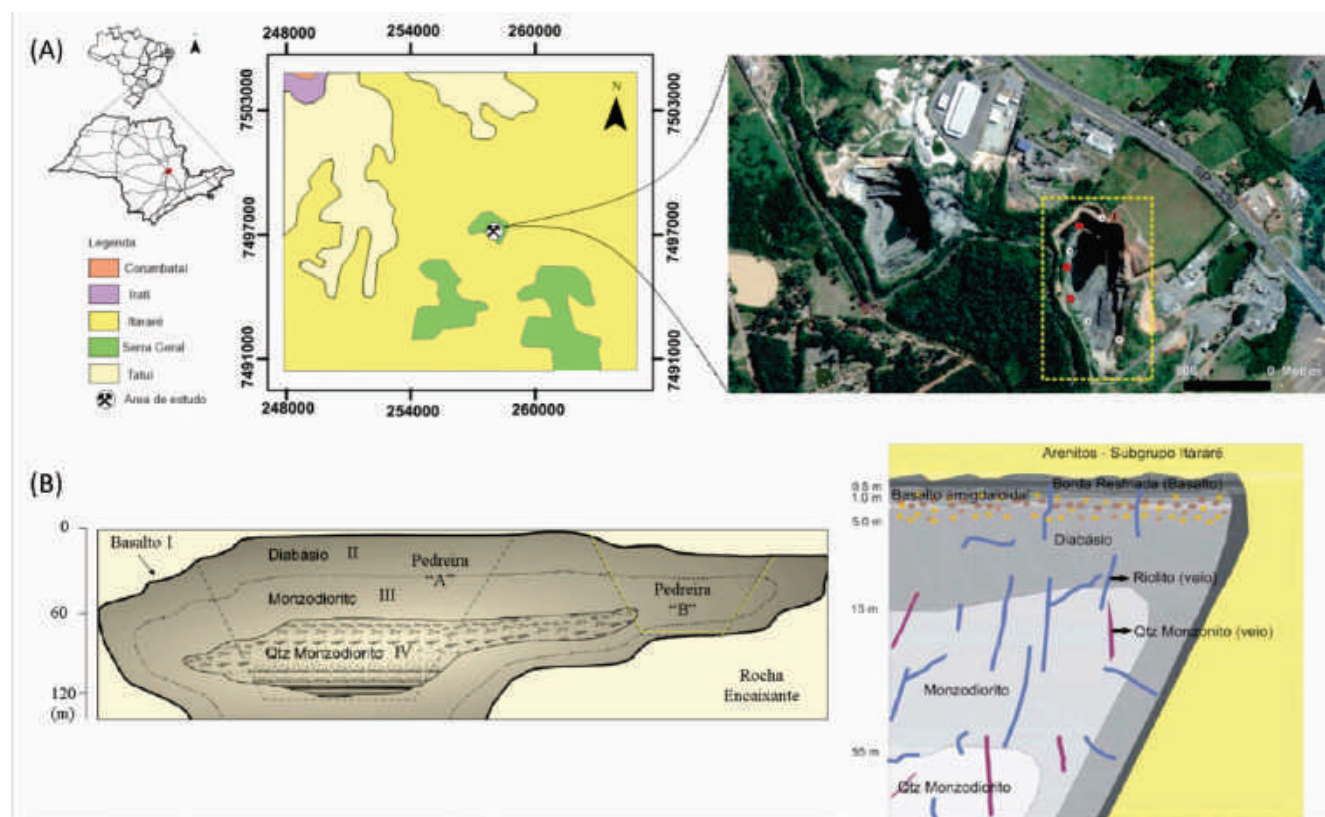


Figura 1. (A) Contexto geológico da área de estudo, modificado de Perrotta et al. (2006); (B) Ilustração de perfis geológicos da Intrusão de Limeira (SP), modificados de Santos (2015) e Faria (2008).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais rochosos e amostragem

Os materiais rochosos selecionados para a pesquisa são provenientes de uma das pedreiras ativas da área de estudo (aqui referida como “Pedreira B”) (Figura 1), que há mais de 40 anos vêm produzindo brita para construção civil no município de Limeira, SP. Estas unidades produtoras de

britas lavram rochas do corpo geológico descrito na literatura como Intrusão de Limeira (FARIA, 2008; SANTOS, 2015, LINO *et al.*, 2018, entre outros), correlacionável aos magmatitos cretácicos da Formação Serra Geral. Segundo estes autores, há uma expressiva variação de litologias decorrentes dos processos de cristalização fracionada, ocorrendo rochas como basaltos nas bordas, diabásios e monzodioritos até quartzo-monzodioritos ao centro. Machado *et al.* (2005) reportam que


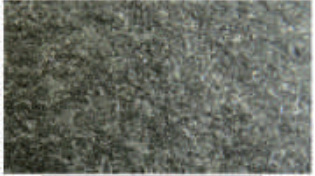
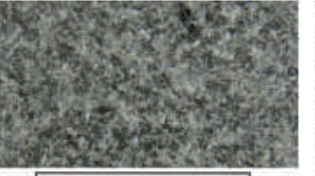
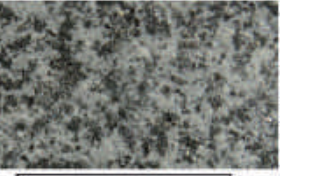
as rochas desta intrusão são as mais diferenciadas em comparação às outras ocorrências da Formação Serra Geral.

É previsível, portanto, que um maciço geologicamente com variação expressiva de rochas (Figura 1) possa incorrer em condições tecnológicas distintas, considerando as utilizações de brita na construção civil e/ou obras de engenharia. Conforme Curtis Neto (2019), alguns materiais da Intrusão de Limeira apresentam diferentes propriedades tecnológicas para o emprego em concretos hidráulicos e de asfalto.

A Pedreira "B" é caracterizada por um basalto (BAS) de borda, rocha afanítica de granulação muito fina, que ocorre em faixas de 1 a 3 metros

em contato com arenitos do Sub-Grupo Itararé. Subjacente ao basalto e com variação ao núcleo da Intrusão, ocorrem diabásios (DIA) de textura fanerítica fina a média, até cerca de 30 metros das bordas do corpo geológico. O corpo central da intrusão é composto por monzodioritos e apresenta veios centimétricos de riolito, não tendo sido encontrado em campo a litologia quartzo-monzodiorito, que ocorre em maiores profundidades, como na pedreira ao lado (Figura 1). No entanto, foram observados que os monzodioritos possuem granulometrias diferentes (MON_M e MON_C). A ilustração e a descrição petrográfica dos litotipos estudados estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2. Rochas amostradas em campo para realização dos ensaios.

Basalto (BAS)	Diabásio (DIA)	Monzodiorito (MON_M)	Monzodiorito (MON_C):
			
Borda de resfriamento: menor que 2 a 3 m. de espessura;	Borda de transição: menor que 30 m. de espessura	corpo central com espessura em torno de 60 metros	Corpo central com espessura em torno de 60 metros
Textura afanítica e granulação muito fina (< 1mm)	Textura fanerítica e granulação fina a média (< 1 a 2 mm)	Textura fanerítica e granulação média (1 a 5 mm)	Textura fanerítica e granulação média a grossa (3 a 6mm)

2.2 Métodos

Por meio de blocos representativos dos materiais pétreos coletados em campo foram obtidas as amostras necessárias aos experimentos, levando-se em conta as diretrizes da ISRM (1978) para extração, corte e retífica dos corpos de prova cilíndricos.

Foram realizados um total de 121 ensaios, alguns deles necessários à previsão de rupturas rápidas, principalmente as menores de 10 e 20 segundos. A taxa de carregamento 0,2 kN/s sugerida pela ISRM (1978), foi empregada em cinco ensaios para cada material rochoso para determinação da resistência a tração segundo procedimentos normativos. Os demais ensaios foram executados com rupturas rápidas, com duração de

até 20 segundos, sendo as taxas de carregamentos previamente testadas e ajustadas em corpos de prova pilotos: taxas de 7 kN/e 3,5 kN/S para os materiais BAS e DIA, respectivamente; para os materiais do núcleo do corpo intrusivo (MON_M e MON_C) as taxas são de 5kN/s e 2,5 kN/s.

Embalagens plásticas envolvendo todo o aparato do ensaio brasileiro foram adaptadas para viabilizar a coleta dos fragmentos gerados nas rupturas para posterior peneiramento (Figura 2). Para a quantificação dos finos foram utilizadas as peneiras de diâmetro equivalente a 1,0 (n° 18) e 4,75 mm (n° 4) (Figura 2E). Por meio da pesagem dos fragmentos retidos nas peneiras calculou-se o índice de perda de massa (P), equação 1, que quantifica a porcentagem de material passante de uma peneira.

$$P = \left(\frac{M_i - M_f}{M_i} \right) * 100 \quad (1)$$

Onde: P = valor de perda de massa (%) nas peneiras n° 4 ($P_{4,75 \text{ mm}}$) ou n° 18 ($P_{1,00 \text{ mm}}$); M_i = Massa inicial (g) do corpo de prova; M_f = Massa final (g) retida nas peneiras n° 4 ou n° 18.

A execução do ensaio brasileiro foi acompanhada por uma câmera de *smartphone*, para documentar a propagação das fraturas e a geração dos finos.

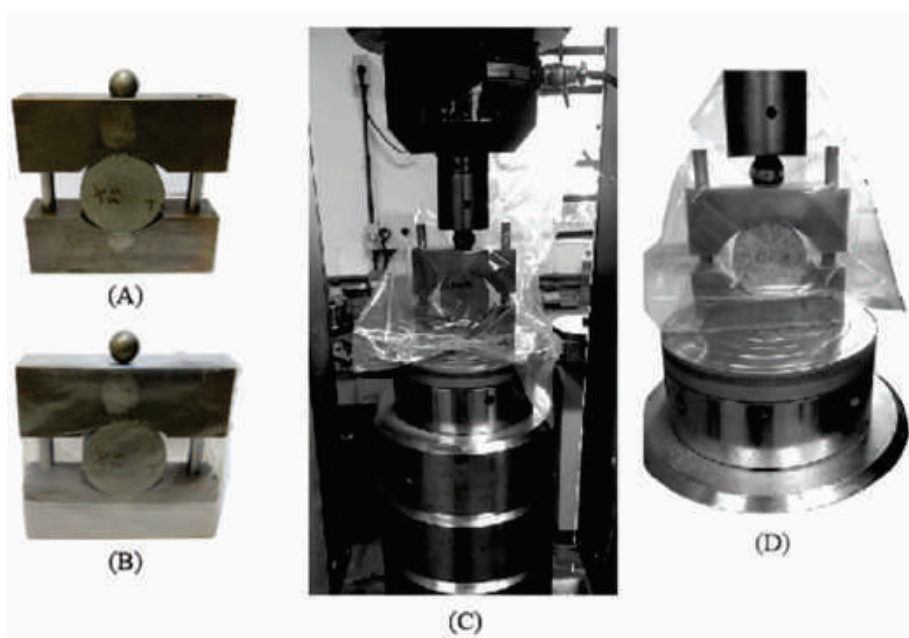


Figura 2. (A) Aparato do ensaio de compressão diametral com corpo de prova, (B) Envolvimento do equipamento para controle dos finos, (C) Configuração do ensaio em prensa servo controlada do Laboratório de Mecânica das Rochas do Depto. de Geotecnia da EESC/USP, (D) Detalhe da foto anterior, mostrando o envolvimento do conjunto aparato de ensaio e corpo de prova.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados médios de resistência à tração apresentados na Tabela 3 foram correlacionados com as taxas de carregamento na Figura 3, sendo obtido o valor de $R^2 = 0,65$ por meio de uma equação exponencial. Isto representa o aumento

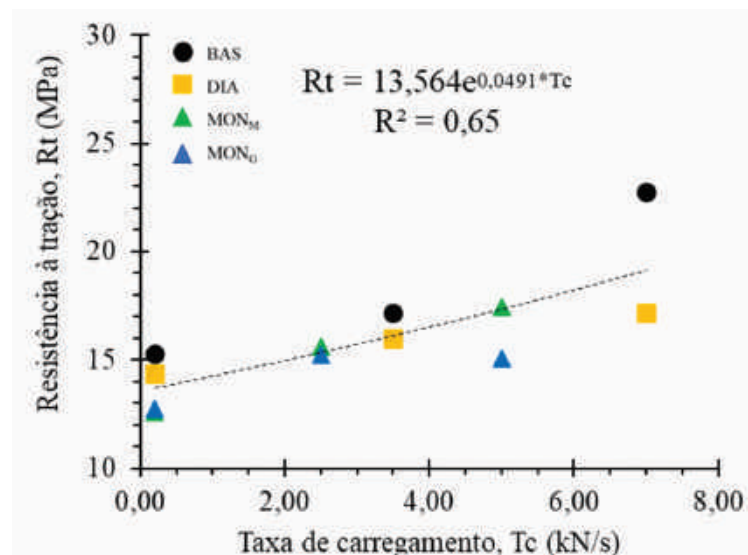
de resistência com maiores taxas de carregamento, ou seja, o comportamento dependente das taxas de carregamento ou do tempo (ZHANG, 2016; AYDAN, 2017), efeito este também notado em ensaios de compressão uniaxial (GREEN & PERKINS, 1970) e de tração indireta (NEWMAN & BENNET, 1990).

Tabela 3. Resultados do ensaio brasileiro segundo a norma e as modificações.

Rocha	Taxa de Carregamento (kN/s)	Tempo de ruptura (s)	Número de amostras	Resistência à tração, Rt (MPa)			
				Média	Máximo	Mínimo	Desvio padrão
A - Ensaio usual, conforme ISRM (1978)							
BAS	0,2	~120s	5	15,3	17,7	13,5	1,59
DIA			5	14,4	16,6	11,1	1,94
MON _M			5	12,6	13,5	11,1	0,84
MON _G			5	12,7	13,6	11,7	0,64
B - Ensaio acelerado, modificado							
BAS	3,5	até 20	10	17,2	20,5	9,7	3,79
	7,0	até 10	10	22,8	28,6	17,4	3,32
DIA	3,5	até 20	10	16,0	17,5	14,5	0,88
	7,0	até 10	10	17,2	18,1	16,5	0,51
MON _M	2,5	até 20	10	15,6	18,3	13,5	1,58
	5,0	até 10	11	17,5	20,8	14,9	1,55
MON _G	2,5	até 20	10	15,2	18,0	12,8	1,47
	5,0	até 10	10	15,0	17,6	13,7	1,40

Na taxa da norma (0,2 kN/s), a variação da resistência entre o BAS e o MON_G pode chegar a 3 Mpa, provocada basicamente pela granulação dos minerais formadores dos litotipos, característica mineral intimamente relacionada à cristalização fracionada do corpo geológico (Figura 1 e Tabela 2). Além disso, a pronunciada dispersão de

resultados do BAS tanto em baixas como altas taxas de carregamento se deve basicamente a veios milimétricos de calcita cortando o litotipo, conforme relatado em análises petrográficas de basaltos da Intrusão de Limeira, realizadas por Santos (2015) e Santos (2018).

**Figura 3.** Relação entre a resistência à tração média dos litotipos e a taxa de carregamento do ensaio brasileiro.

A reprodução dos vídeos em câmera lenta mostrou que uma pequena fratura se forma no centro do corpo de prova (CP) tanto no ensaio normal como no modificado. Entretanto, em taxas maiores, diversas fraturas foram propagadas no instante inicial de ruptura com maior produção de finos. Além disso, notou-se que quando acionado o comando de parar o carregamento da prensa, o atuador de carga, por inércia, continua carregando o CP e produzindo mais fraturas e fragmentos que o ensaio normal (Figura 4).

Em taxas de 7 a 5 kN/s, rupturas em menos de 10 segundos, o BAS apresentou maior de ganho de resistência e maior produção de finos nas peneiras n° 4 e 18 do que os outros litotipos (Figura 5A). Há uma tendência de correlação entre os valores do índice P para a peneira n° 4 e os valores de resistência, conforme o coeficiente de correlação R^2 igual a 0,56, indicando a melhor correlação. As curvas mais bem ajustadas foram as obtidas por equações exponenciais (Figura 5A), indicando que quanto maior a taxa de carregamento, maior é

a quantidade de finos produzida. Por outro lado, em taxas de 3,5 e 2,5 kN/s, rupturas em menos de 20 segundos, não foi possível estabelecer uma correlação de forma satisfatória nem diferenciar de forma clara a produção de finos entre os litotipos, mas percebe-se uma tendência similar dos resultados, maior resistência maior produção de fragmentos menores que 4,75 mm (Figura 5B).

Notou-se também que o MON_M e MON_G produziram maior quantidade de fragmentos menores que 1 mm do que o BAS e o DIA (Figura 5B). Esse aspecto pode estar relacionado à granulação dos minerais formadores dos litotipos. Curtis Neto (2019) obteve resultados de resistência a compressão uniaxial do BAS de 277,33 MPa em comparação ao MON_G com 197,79 MPa. Portanto, o aumento da granulação do BAS ao MON_G pode ser responsável pela maior produção de finos, devido ao aumento do número de fissuras e defeitos cristalinos dos minerais plagioclásios e piroxênios, concordando com as análises petrográficas de Curtis Neto (2019).

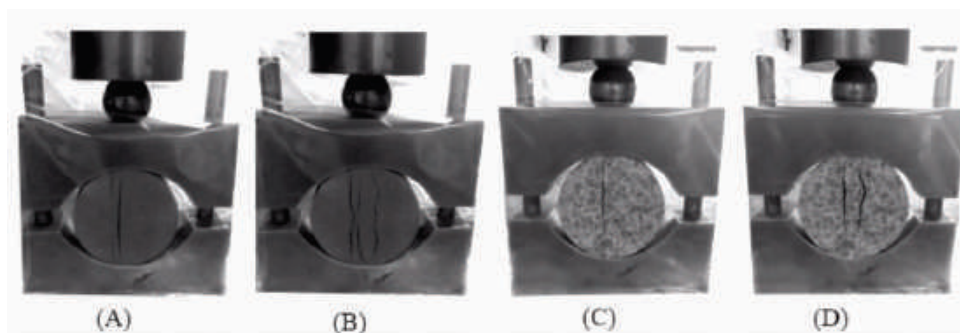


Figura 4. Propagação da fratura e produção de fragmentos em ensaio diametral. (A) Fratura propagada no instante inicial de ruptura e (B) Fraturas secundárias (BAS); (C) Primeira fratura propagada no centro do CP e (D) Fraturas secundárias (MON_G).

A produção de finos provenientes da ruptura do CP durante o ensaio brasileiro dependeu da taxa de carregamento empregada. De modo geral, em taxas mais altas, 5 a 7 kN/s, em comparação a mais baixas, 2,5 a 3,5 kN/s, houve maior produção de materiais passantes nas peneiras n° 4

(4,75 mm) e n° 18 (1 mm) (Figura 6). Esses resultados estão de acordo aos apontados por Bohloli (2001) e Bohloli & Hoven (2007), onde rochas mais resistentes apresentam maior geração de fragmentos em ensaios de tração, quando carregadas com altas taxas.

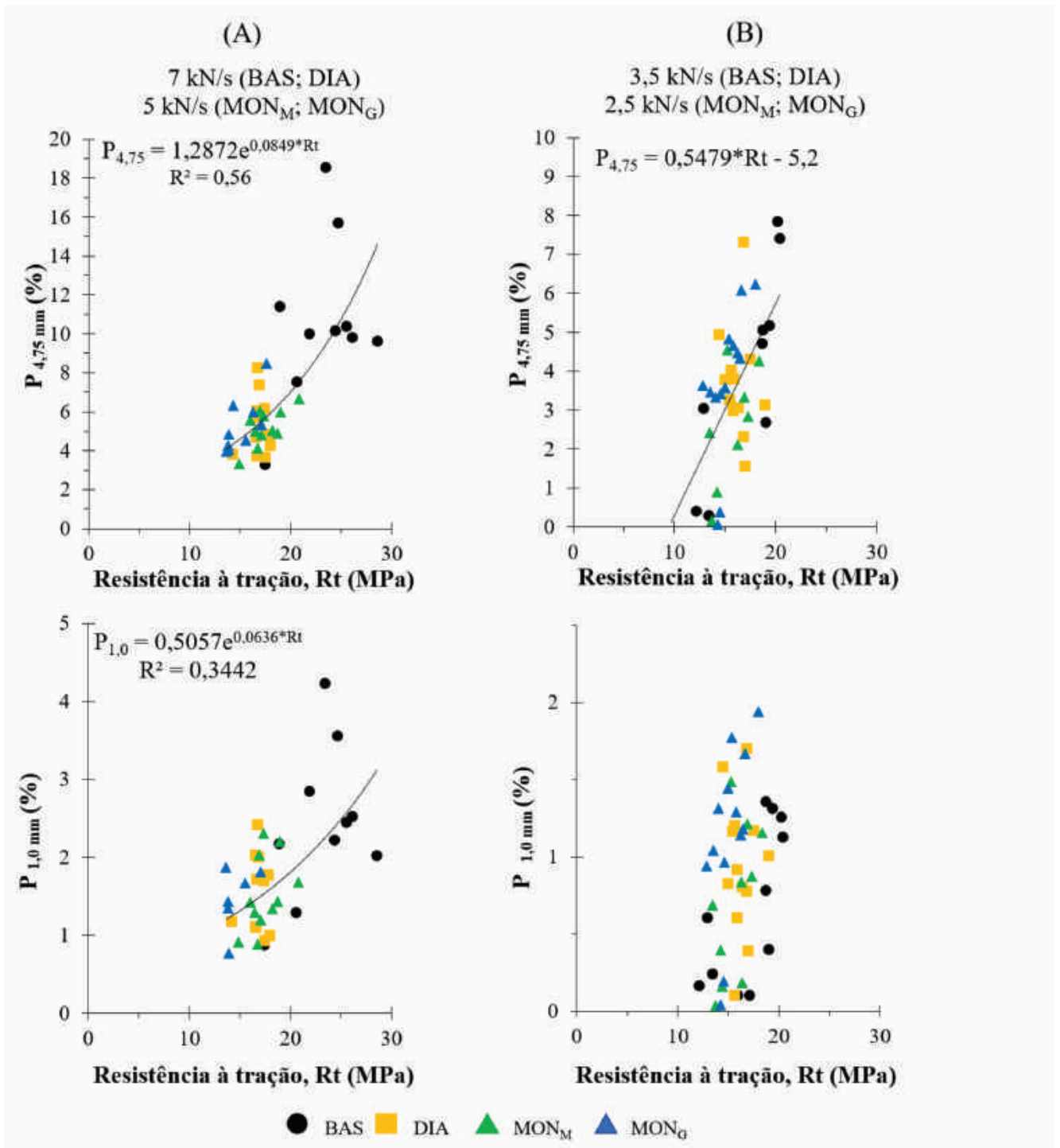


Figura 5. Relação entre o índice P e a resistência à tração em taxas de carregamento de 7 e 5 kN/s (A), rupturas em até 10 segundos, e de 3,5 e 2,5 kN/s (B), rupturas em até 20 segundos.

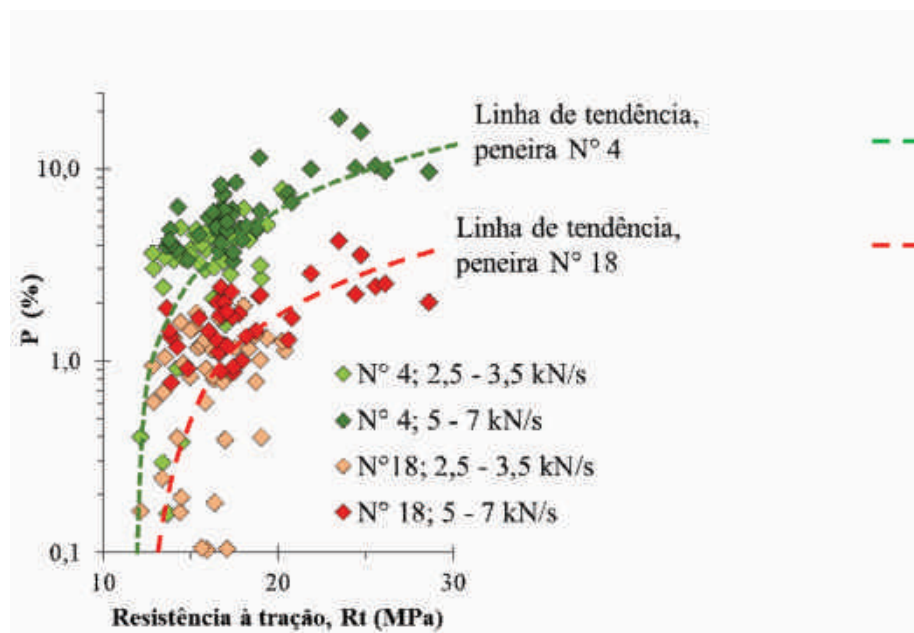


Figura 6. Relação entre o índice P e a resistência à tração de todos os litotipos.

4 CONCLUSÕES

Os valores de resistência à tração de rochas presentes em pedreira correlacionável à Intrusão de Limeira são sensivelmente afetados por suas características mineralógicas e texturais, notadamente as variações da granulação. O aumento da granulação deste corpo geológico é relacionado a processos de cristalização fracionada, que promoveram a diferenciação litológica conforme Figura 1 e Tabela 2. O BAS, rocha afanítica de granulação muito fina apresentou resistência de 15,3 MPa enquanto o MON_C teve resultado de 12,7 MPa, ambos valores médios para os ensaios brasileiros usuais, conforme Tabela 3. Em rupturas rápidas de até 10 segundos, o efeito da granulação aumenta diferenciando os valores de resistência das rochas. A diferença que era de 2,6 MPa passou a ser 7,8 MPa, portanto havendo dependência entre as propriedades mineralógicas, taxas de carregamento e resultados de resistência.

A análise dos dados permitiu indicar correlações, entre os valores de finos e resistência à tração, principalmente nas rupturas rápidas, em menos de 10 segundos (Figura 5A). Para os outros casos, de rupturas em menos de 20 segundos, as correlações não foram tão conclusivas (Figura 5B), situações estas já reportadas por Bohlioli & Hoven

(2007) sobre a configuração do ensaio acelerado. Quanto maiores as taxas de carregamento, maior a produção de finos, pois maiores são as taxas de ruptura, havendo assim um maior carregamento pós ruptura (Figura 6).

De modo geral, os dados deste trabalho poderão contribuir com estudos sobre a produção de finos nas etapas de britagens, onde ganham destaque as propriedades da rocha intacta (McNALLY, 1998; FRAZÃO, 2002; BOHLOLI & HOVEN, 2007). Nesta perspectiva, estudos laboratoriais em rocha intacta devem ser realizados em situações mais próximas a carregamentos dinâmicos, portanto com variações nas taxas de carregamento a depender das características mineralógicas dos materiais. Adaptações dos ensaios convencionais configuram alternativas na obtenção de dados mais bem correlacionados e ajustados com aspectos do beneficiamento e de variações geológicas do maciço rochoso, completando assim outra etapa de pesquisa de maior detalhe em termos de levantamentos de campo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Grupo Estrutural pelo suporte oferecido e por ter permitido o acesso

às suas instalações. O primeiro autor foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- Almeida A.S. 2003. Métodos de Mineração. In: L.C. Tanno & A. Sintoni (Coords.) Mineração & município: bases para planejamento e gestão dos recursos minerais. Publicação IPT, São Paulo, 194 pp.
- Askeland, D.R., Fulay P.P. 2009. Essentials of Materials Science & Engineering. Cengage Learning, Boston, 624 pp.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 2015. NBR 9935: Agregados- Terminologia. ABNT, Rio de Janeiro, 12 pp.
- Aydan Ö. 2017. Time-Dependency in Rock Mechanics and Rock Engineering. CRC Press, London, 260 pp.
- Bohlooli B., Gustafson G., Ronge B. 2001. A laboratory study on reducing the quantity of rock fines at failure: application to rock blasting and crushing. Bull. Eng. Geol. Env., 60(4): 271-276.
- Bohlooli B., Hoven E. 2007. A laboratory and full-scale study on the fragmentation behavior of rocks. Eng. Geol., 89(1-2): 1-8.
- Chaves A.P. & Peres A.E.C. 2009. Teoria e Prática do Tratamento de Minérios Britagem, Peneiramento e Moagem. Signus Editora, São Paulo, 260 pp.
- Curtis Neto J.A. 2019. Estudos tecnológicos de rochas da intrusão de Limeira, visando aplicação como agregados em obras de engenharia. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 167p.
- Faria C.A. 2008. Evolução magmática do Sill de Limeira: petrografia e geoquímica. 2008. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 145 p.
- Frazão E.B. 2002. Tecnologia de Rochas na Construção Civil. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, São Paulo, 131 pp.
- Francklin Júnior I., Ribeiro R.P., Da Silva M.H., Aureliano F.S., Costa A.A.F., Garcia V.L.G. 2019. Study of reactive powder concrete using quartzite tailings from the state of Minas Gerais- Brazil. Procedia Manuf, 38: 1758-1765.
- International Society of Rock Mechanics. 1978. Suggested Method for Determining Tensile Strength of Rock Materials. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 15(3): 99-103.
- Kanchibotla S.S. 2003. Optimum Blasting? Is it Minimum Cost Per Broken Rock or Maximum Value Per Broken Rock? Int J Blast Frag, 7(1): 35-48.
- Lino L.M., Cavallaro F.A., Vlach S.R.F., Coelho D.C. 2018. 2D magnetometric modeling of a basic-intermediate intrusion geometry: geophysical and geological approaches applied to the Limeira intrusion, Paraná Magmatic Province (SP, Brazil). Braz J Geol, 48(2): 305-315.
- Machado F.B., Nardy A.J.R., Mello R.P., Oliveira M.A.F., Squisato E. 2005. As rochas intrusivas da formação serra geral na porção leste da bacia do paraná no estado de São Paulo: aspectos petrográficos e geoquímicos - resultados preliminares. Geociências, 24(1): 5-17.
- McNally G. 1998. Soil and Rock Construction Materials. New Fetter Lane, London, 403 pp.
- Mehta P.K. & Monteiro P.J.M. 2008. Concreto: Estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Ibracon, 674p.
- Newman D.A., Bennett D.G. 1990. The effect of specimen size and stress rate for the Brazilian test—A statistical analysis. Rock. Mech. Rock. Eng., (23) 123-134.
- Oliveira A. & Monticeli J. (Eds.) 2018. Geologia de engenharia e ambiental. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, São Paulo, 479 pp.
- Perkins R.D., Green S.J. 1970. Uniaxial stress behaviour of porphyritic tonalite at strain rates

to 10^3s^{-1} . *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomec. Abst.*, (7):527-35.

Perrotta M.M., Salvador E.D., Lopes R.C., D'Agostino L.Z., Chierigati L.A., Peruffo N., Gomes S.D., Sachs L.L.B., Meira V.T., Garcia M.G.M., Lacerda Filho J.V. 2006. Geologia e recursos minerais do estado de São Paulo: Sistema de Informações Geográficas - SIG. CPRM, Rio de Janeiro, 195 pp.

Reis F.M.D., Ribeiro R.P., Reis M.J. 2020. Physical-mechanical properties of soil-cement bricks with the addition of the fine fraction from the quartzite mining tailings (State of Minas Gerais - Brazil). *Bull Eng. Geol. Env. Publish Online*. 10p.

Santos L.M.A. 2015. A Intrusão Toleítica de Limeira (SP): Contribuição à Geologia, Petrografia e Alteração Hidrotermal. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 66p.

Santos L.M.A. 2018. Geometry and stratigraphy of the Limeira tholeiitic intrusion, Paraná; magmatic province (SP-Brazil). Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 94p.

Zhang Z. 2016. Rock Fracture and Blasting: Theory and Applications. Elsevier, New York, 528 pp.

METODOLOGIA DE DELIMITAÇÃO DE DEPÓSITOS TECNOGÊNICOS

METHODOLOGY FOR DELIMITING TECHNOGENIC DEPOSITS

PEDRO LUIZ FERREIRA GOMES

Graduando Eng. Civil, Universidade Federal de São Carlos – SP, pedroluizfgomes@hotmail.com

DENISE BALESTRERO MENEZES

Geóloga, DECiv, Universidade Federal de São Carlos – SP, denisebm@ufscar.br

GEISY CANDIDO DA SILVA

Gestora Analista Ambiental, UNESP Rio Claro – SP, silva_geisi@yahoo.com.br

RESUMO ABSTRACT

Áreas de descarte irregular de resíduos de construção civil são comuns por todo o país. Tais resíduos apresentam grandes riscos à população, pois, dependendo do local em que são depositados, podem afetar o solo da região e os lençóis freáticos próximos, além de gerarem dificuldades de ocupação do solo. Alguns desses depósitos são feitos pelo próprio poder público, com pouca fiscalização do que é depositado. A classificação de depósitos tecnogênicos tem diferentes formas de abordagem, seja pelo tamanho, pela constituição dos resíduos ou pelo tempo em que estão incorporados na natureza. Este artigo tem enfoque na determinação da área ocupada pelos depósitos com o de tratamento de mapas e imagens utilizando o programa ArcGis, através do cruzamento de dados de anos distintos. O estudo possibilitou a avaliação dos depósitos no decorrer do tempo, delimitando as áreas persistentes, indicativas de locais com maiores volumes aterrados, e os resultados demonstram que o método é um bom indicador da evolução dos depósitos. Os dados gráficos gerados, possibilitaram avaliações como o ano que apresentou maior deposição, o intervalo com maior variação do volume, entre outros indicativos da própria gestão municipal de resíduos ao longo do tempo.

Palavras-chave: Descarte irregular; resíduos de construção civil; depósitos antropogênicos; SIG; imagens históricas; São Carlos.

Areas of irregular disposal of construction waste are common all over the country. Such residues present great risks to the population, since, depending on where they are deposited, they can affect the soil of the region and the nearby groundwater, besides generating difficulties of occupation of the soil. Some of these deposits are made by the public power itself, with little supervision of what is deposited. The classification of technogenic deposits has different forms of approach, whether by size, by the constitution of the residues or by the time in which they are incorporated in nature. This article focuses on the determination of the area occupied by the deposits with the treatment of maps and images using the ArcGis program, through the crossing of data from different years. The study made it possible to evaluate the deposits over time, delimiting the persistent areas, indicative of sites with larger volumes of landfills, and the results show that the method is a good indicator of the evolution of deposits. The graphical data generated allowed evaluations such as the year with the largest deposit, the interval with the largest volume variation, among other indicators of the municipal waste management itself over time.

Keywords: Irregular disposal; construction waste; anthropogenic deposits; GIS; historical images; São Carlos.

1 INTRODUÇÃO

Áreas com descarte irregular de Resíduos da Construção Civil (RCC) são muito comuns nas cidades do país, principalmente cidades em processo de expansão ou renovação urbana, podendo alcançar até duas toneladas de entulho para cada tonelada de lixo domiciliar (MMA,2010).

Mesmo com as legislações existentes sobre a gestão e manejo adequado de resíduos de construção e demolição, ainda ocorrem muitos descartes clandestinos, quer seja pelo custo elevado de destinação, pela falta de locais adequados para os resíduos ou pela dificuldade de separação de outros resíduos para a entrega em destinos corretos, gerando graves problemas ambientais (MMA, 2010).

Estes descartes irregulares resultam na degradação do meio físico e do ambiente, sendo que recebem uma mistura de materiais composta de RCCs recicláveis, não recicláveis, associados à

podas, volumosos e uma pequena quantidade de resíduos domiciliares.

A cidade de São Carlos tem sérios problemas de gestão de resíduos irregulares, não havendo diminuição dos pontos clandestinos de depósito de RCC, já que de 2003 a 2009 houve um aumento de 92% (27 pontos em 2003, 42 pontos em 2009) e de 2009 a 2013 um aumento de 76% (74 pontos em 2014). Tais dados demonstram a ineficácia da gestão corretiva municipal até o momento analisado (MICELI & MENEZES, 2014), e que não teve mudanças, visto a persistência destes pontos e outros cadastrados posteriormente e estudados neste trabalho.

Através de cadastro georreferenciado de áreas irregulares no município de São Carlos que foi sendo montado (MICELI, 2014; NIZO, 2015; VALENTE, 2015), definiram-se áreas de estudo que são depósitos persistentes e, conseqüentemente, podem ser considerados depósitos tecnogênicos (Figura 1) a serem estudados em detalhe (VALENTE et al., 2017).

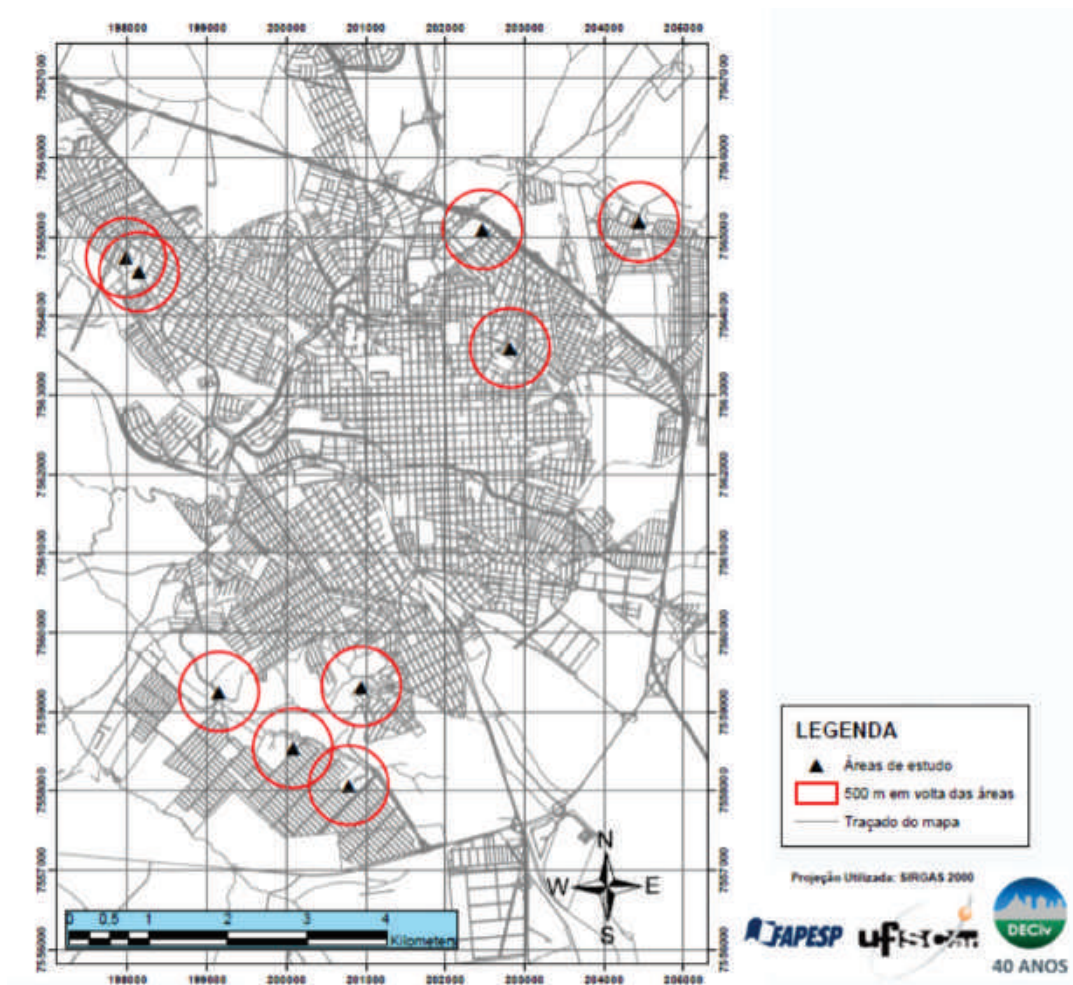


Figura 1. Pontos estudados na área urbana de São Carlos. Fonte: Modificada de Valente et al. (2017).

Depósitos tecnogênicos foram definidos como “depósitos superficiais correlativos, comparáveis aos quaternários” de acordo com Pellogia (1997) que se refere a aterros, depósitos de “bota-fora”, coberturas remobilizadas, depósitos de assoreamento, entre outros criados pela ação humana.

Estes depósitos (Figura 2) vêm sendo estudados por pesquisadores do grupo de pesquisas

Geologia de Planejamento do Meio Físico do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) quanto à sua localização, características do meio físico onde estão inseridos, sua relação com áreas de fragilidade ambiental à contaminação e à proximidade de cursos d’água.



Figura 2. Imagens de alguns dos pontos, volumes e materiais aterrados. Fonte: Acervo dos pesquisadores.

Também estão sendo estudadas as características intrínsecas destes materiais (VALENTE et al., 2017) e suas propriedades geotécnicas relacionadas com as formas de infiltração de água (GOMES, 2017) e resistência à penetração (GOMES, 2018), além de detalhamento em mestrado na fase de finalização.

Uma questão difícil de ser respondida, pela ausência de dados oficiais ou levantamentos de campo, é a área e volume ocupados pelos depósitos persistentes de resíduos que se tornam depósitos antropogênicos.

A determinação da área pode, com dados de campo de superfície, uso de GPS e uso de imagens de satélite, ser mais facilmente obtida.

Quanto à definição de volume, diversas tentativas de mapeamento em 3 dimensões estão sendo desenvolvidas, como as proposições de Beer et al. (2012) utilizando dados de sondagem, de Tame et al. (2013) com ensaios geofísicos, ou mesmo de Luberti (2018) que se baseou em imagens aéreas e mapas topográficos históricos. Mas todos estes dependem destas informações oficiais pouco

disponíveis nas cidades brasileiras ou de levantamentos de alto custo.

Este estudo foi feito com base nos trabalhos anteriores sobre a modificação das áreas com deposição de resíduos de construção civil através de diversos ensaios, além da análise histórica de imagens e sobreposição das mesmas, objetos desse artigo.

2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho são testar e avaliar métodos para a delimitação de áreas de depósitos antropogênicos gerados por descartes irregulares de resíduos da construção civil associados ou não com outros resíduos, identificando sua evolução no tempo.

3 METODOLOGIA

Para elaboração deste trabalho foram seguidas as etapas apresentadas na Figura 3.



Figura 3. Sequência de etapas metodológicas.

3.1 Caracterização das áreas de estudo

A caracterização consiste no estudo dos resíduos existentes nas áreas em relação a diferentes aspectos, sendo eles: a proximidade de Áreas de Proteção Permanente, composição dos resíduos através de inspeção visual e de fichas de classificação utilizando metodologias de trabalhos existentes (FORD et al., 2014; OLIVEIRA & PELOGGIA, 2014; MIRANDOLA & MACEDO, 2014), análise da envoltória da área, tipos de solo e materiais inconsolidados sobre os quais os resíduos encontram-se, fragilidade existente nas áreas, usos de solo urbano e abrangência em área dos resíduos.

3.2 Tratamento de dados em SIG

As áreas de estudo foram delimitadas e inseridas em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), por meio do programa ArcGis v 10.4. O ambiente foi configurado utilizando-se o Datum Sirgas 2000 e projeção UTM, fuso 23S.

Posteriormente, foram elaborados Planos de Informações (PI), constituindo um banco de dados que incluiu: vetorização da topografia, extraída das cartas 1:10.000 do Instituto Geográfico e

Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC, 1979); pontos georreferenciados de contorno das áreas; delimitação de bairros e ruas (PMSC, 2013) e cursos d'água extraídos e atualizados das cartas topográficas citadas anteriormente.

Por fim, utilizou-se imagens históricas dos pontos estudados (2004 a 2017) obtidas na plataforma Google Earth Pro® (GOOGLE EARTH, 2018) de diferentes satélites (Digital Globe, CNES / Airbus, SPOT/ NASA), com o intuito de se delimitar as áreas de depósito e observar sua relação com ocupação.

3.3 Delimitação das áreas através das imagens históricas

Através das imagens georreferenciadas (GOOGLE EARTH, 2018) foram delimitados polígonos no programa ArcGis para se obter uma melhor representação da área ocupada pelos depósitos em cada data analisada. Através de tais imagens foi possível perceber a evolução dos depósitos ao longo do tempo. A Figura 4 apresenta um exemplo de tratamento da evolução dos depósitos.

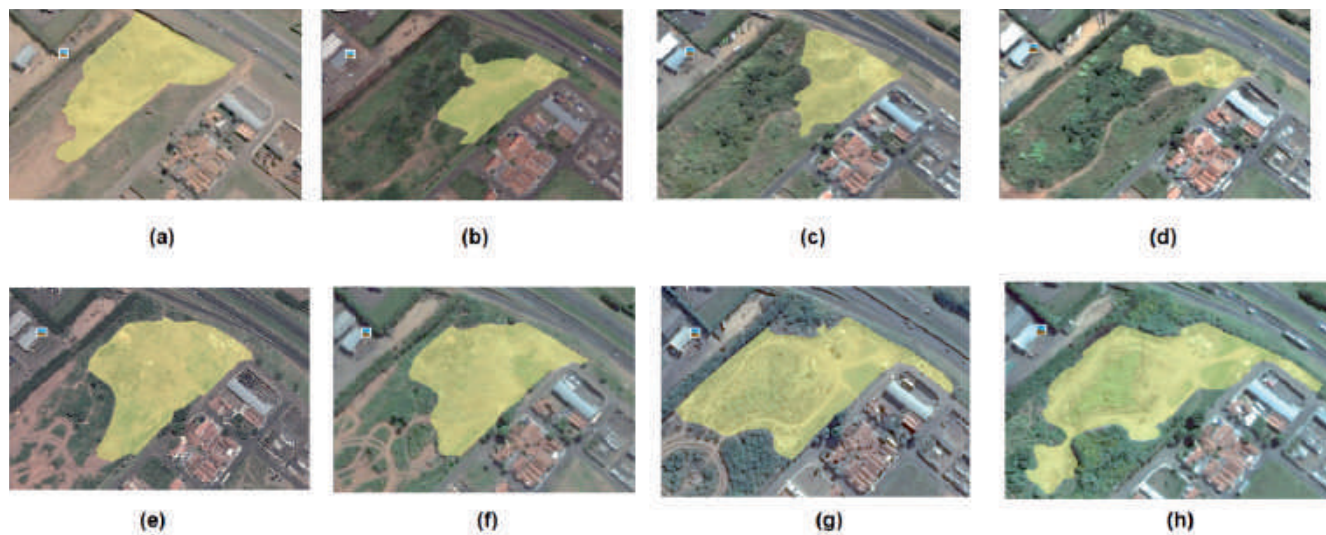


Figura 4. Evolução dos depósitos no ponto 18 sobre imagens obtidas da plataforma Google Earth Pro®. Onde (a) 30 de junho de 2004; (b) 17 de novembro de 2010; (c) 1º de junho de 2011; (d) 1º de abril de 2012; (e) 28 de outubro de 2013; (f) 09 de maio de 2014; (g) 21 de junho de 2016 e (h) 25 de maio de 2017. Fonte: Gomes, 2017.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Utilizando as áreas encontradas através do ArcGis, estudou-se a evolução dos depósitos no

decorrer do tempo através de dois aspectos principais: elaboração de polígonos de sobreposição, definição de áreas limites de deposição e elaboração de gráficos de volume em relação ao tempo.

4.1 Elaboração de polígonos de sobreposição e definição das áreas limites de deposição

Uma das formas utilizadas para estudar a evolução dos depósitos nas áreas foi a de elaborar polígonos de sobreposição, os quais se referem às áreas com resíduos persistentes nos locais estudados. Tais polígonos foram feitos através da justaposição das áreas de deposição já definidas sobre as imagens nas datas disponíveis. Outra forma utilizada foi a definição das áreas limites de deposição através das mesmas áreas utilizadas para o polígono de sobreposição. A Figura 4 apresenta a elaboração de um desses polígonos e de sua respectiva área limite, sobrepostos à imagem mais recente do local, datada de 25 de maio de 2017.

Observa-se a partir das imagens da Figura 5 que o polígono de sobreposição é feito considerando as áreas com coloração mais saturada, obtidas da sobreposição de todas as delimitações feitas. Dessa forma, obtêm-se os locais de deposição com maior incidência de descarte de resíduos de construção civil durante o período de 2004 a 2017. Em alguns casos, a sobreposição obtida, quando comparada à imagem mais recente ocorre sobre locais em que foram construídos edifícios posteriormente (Figura 5b). Percebe-se também que as áreas limites são feitas considerando os maiores espaços ocupados pelos resíduos no decorrer do tempo, não significando a área atual.

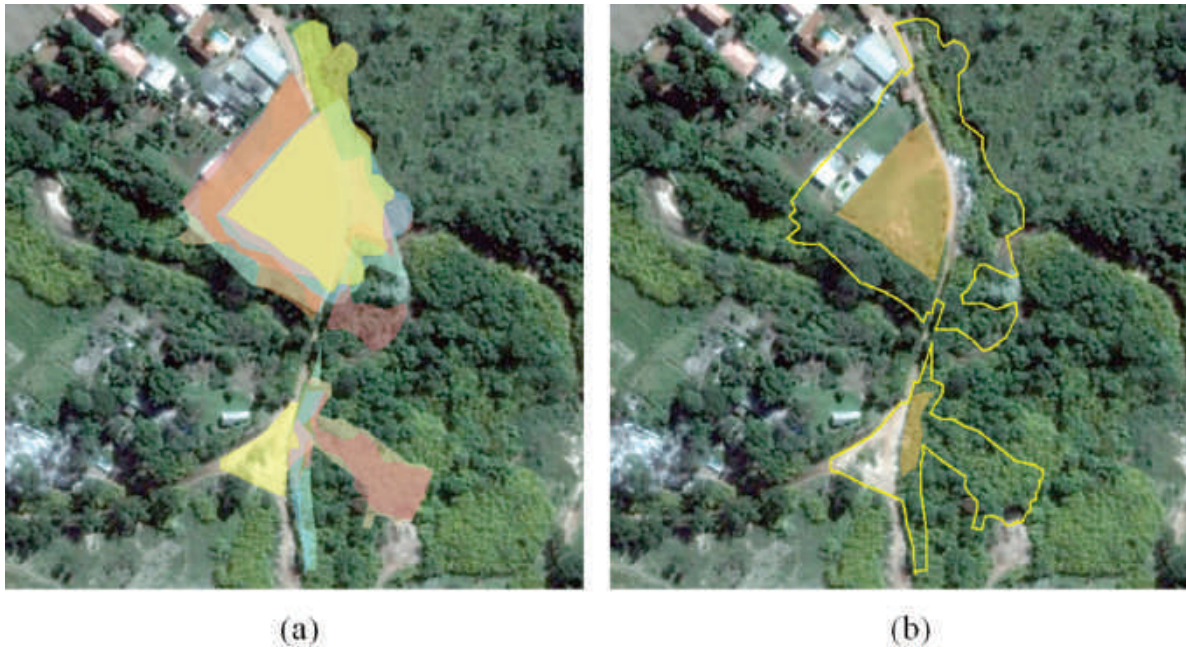


Figura 5. Elaboração dos polígonos da área 32. Onde (a) Sobreposição dos depósitos retirados das imagens históricas e (b) Área limite de deposição e área persistente Fonte: modificada de Google Earth (2018).

Feito isso, foi possível elaborar uma tabela com as áreas de deposição persistente e as áreas limites de cada local estudado, assim como as porcentagens relativas à área persistente quando comparada aos limites de locais já ocupados. A

Tabela 1 apresenta os resultados obtidos. O cálculo das áreas foi feito utilizando o próprio Arcmap, o qual obtém a área dos polígonos feitos e demonstra tais resultados de acordo com a unidade selecionada.

Tabela 1. Áreas de depósitos permanentes em cada local estudado.

Ponto estudado	Área persistente (m ²)	Área limite (m ²)	Área persistente / área total (%)
18	10.835,65	28.582,47	37,91
22	2.184,46	12.107,51	18,04
26	832,45	5.400,91	15,41
32	2.709,81	13.020,60	20,81
40	1.227,18	8.485,72	14,46
68	1.077,25	9.268,20	11,62
70	13.828,92	33.709,28	41,02
71	60.571,89	85.096,83	71,18
77	819,48	5.324,82	15,39

Fonte: Autor, 2018.

Das áreas estudadas, o ponto 71 apresenta a maior área de deposição persistente e a maior porcentagem de persistência. Outras que apresentam área limite ampla (18, 70) não apresentaram área persistente significativa, indicando dispersão de descarte pela área total ao longo dos anos.

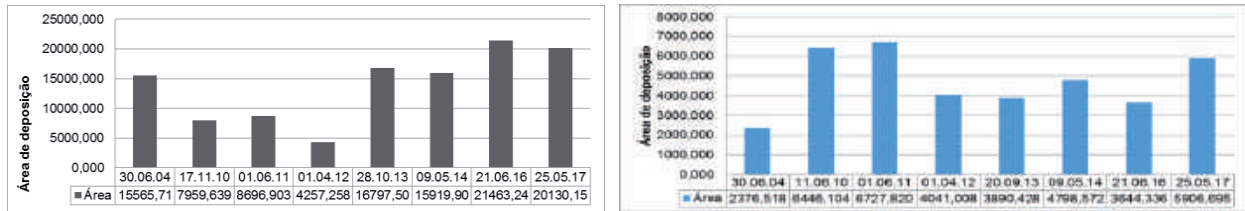
4.2 Elaboração de gráficos de deposição ao longo do tempo

Utilizando o mesmo procedimento em SIG descrito no item anterior, definiu-se a área de deposição de cada ponto estudado na data da imagem na qual o polígono feito se baseia. Através disso, construíram-se gráficos de deposição ao longo do tempo, com as áreas (m²) obtidas representadas no eixo Y e as datas específicas das imagens analisadas colocadas no eixo X. A Figura 6 apresenta os gráficos das nove áreas estudadas.

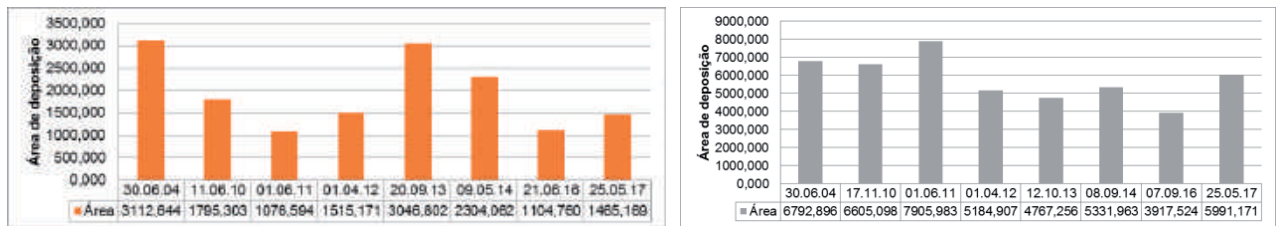
Através desses gráficos é possível analisar diversos aspectos referentes às áreas de deposição. Inicialmente se observa que todos os pontos já recebiam descartes em 2004. São possíveis as identificações de períodos (anos) onde ocorreu um maior volume de deposição a partir da maior área ocupada pelo depósito, intervalos com maior crescimento ou decréscimo, além de possíveis estabilizações da área dos depósitos.

O ano de 2013 no geral apresentou um acréscimo de área com resíduos em quase todos os pontos. O maior acréscimo de área se deu no ponto 18 entre abril de 2012 e outubro de 2013. Já o maior decréscimo ocorreu entre outubro de 2013 e 9 de maio de 2014 no ponto 70, ano de encerramento deste ponto que era de recebimento oficial da prefeitura municipal, passando a receber descartes clandestinos posteriormente. A variação ao longo do tempo é distinta para os diferentes depósitos, não demonstrando um padrão.

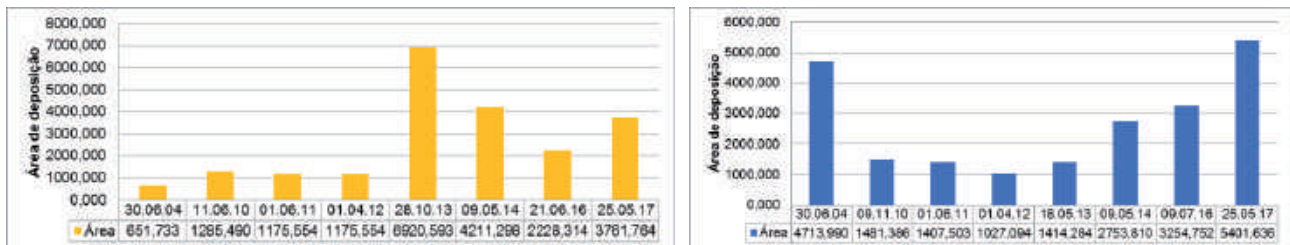
Áreas de descarte no ponto 18 e no ponto 22



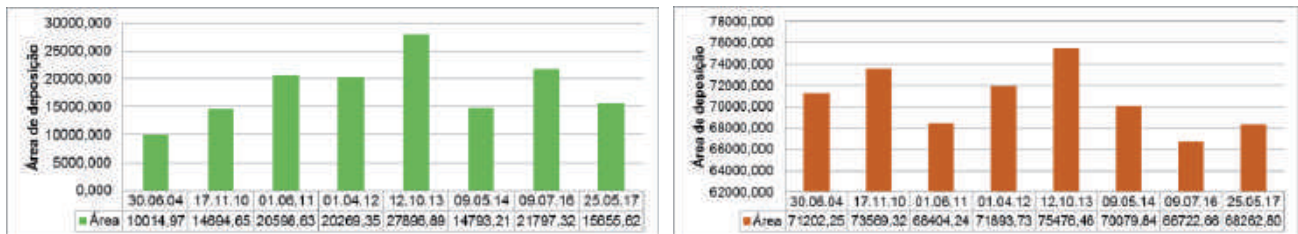
Áreas de descarte no ponto 26 e no ponto 32



Áreas de descarte no ponto 40 e no ponto 68



Áreas de descarte no ponto 70 e no ponto 71



Áreas de descarte no ponto 77

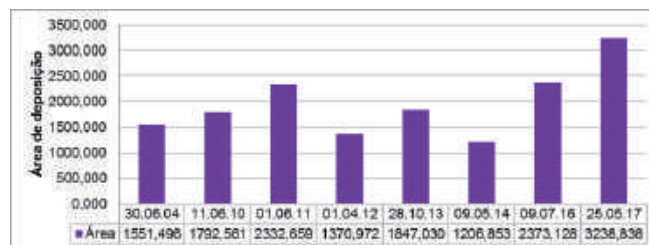


Figura 6. Gráficos de evolução das áreas com descarte (m²) nos pontos estudados de 2004 a 2017. Fonte: Autor, 2018.

4.3 Dificuldades encontradas

A utilização de imagens históricas dos satélites Digital Globe, CNES / Airbus e SPOT/ NASA obtidas na plataforma Google Earth Pro© gera algumas imprecisões na análise dos depósitos estu-

dados. Entre elas está a falta de imagens entre os anos de 2004 e 2010, assim como o ano de 2015. A adequação das imagens com suas coordenadas dentro do *Arcgis*, além da precisão existente nas próprias imagens, também podem gerar áreas diferentes das apresentadas realmente. Em etapa

futura das investigações serão buscadas imagens aéreas de detalhe destes períodos não observados.

Outro aspecto importante é que os polígonos são feitos de acordo com os resíduos encontrados na imagem, não sendo possível através desse método analisar a composição dos solos abaixo da camada superficial, sendo, portanto, indicativo de área ocupada por um maior volume de resíduos nas datas das respectivas imagens.

Originalmente, a equipe de pesquisa decidiu tratar a evolução dos resíduos de acordo com o volume ocupado pelos depósitos em cada tempo. Porém, devido à dificuldade de se obter tais volumes, ainda mais avaliar a evolução desde os primeiros depósitos, levou a analisar os locais através das áreas de deposição existentes.

Há imprecisões geradas também pela presença de cobertura vegetal sobre os resíduos. Observou-se em todas as áreas o crescimento de vegetação herbácea e arbustiva, notadamente mamona (*Ricinus communis* L) e margaridão (*Tithonia diversifolia*), de crescimento rápido mesmo em meio aos resíduos, podendo mascará-los nas imagens.

5 CONCLUSÕES

Analisando-se as áreas estudadas através da sua caracterização, percebe-se que grande parte está localizada em Áreas de Proteção Permanente, sendo em sua maioria sobre solos arenosos com alta fragilidade, obtendo-se assim um impacto ainda maior sobre os lençóis freáticos próximos e os cursos d'água.

Através das imagens apresentadas e do quadro de áreas dos locais estudados percebe-se que há uma grande variação da área abrangida pelos resíduos existentes nos locais ao longo do tempo. Também é importante destacar que a falta de informações entre o período de 2004 e 2010, assim como 2015, fazem com que a evolução histórica das áreas tenha lacunas de tempo das quais não foi possível adquirir informações para o estudo em questão. Estão sendo buscadas imagens de detalhe em outras bases para uma melhor observação desta dinâmica.

Os gráficos gerados permitem observar, juntamente à avaliação da sobreposição de limites de áreas ocupadas nos diferentes anos, a dinâmica de

cada área quanto à sua utilização como depósito de resíduos.

Das áreas estudadas, o ponto 71 apresenta a maior área de deposição persistente e a maior porcentagem de persistência. Isso pode ter ocorrido porque este local funcionava como local de descarte próprio da prefeitura de São Carlos, porém, com o tempo a prefeitura parou de utilizar a área para tal fim, mas a deposição clandestina continuou. Esta área está sendo estudada em detalhe em relação às suas características geotécnicas.

Deve-se destacar também que os valores apresentados mostram que as áreas apresentam áreas de deposição bem discrepantes; isso se deve à própria configuração dos locais, que vão desde locais pequenos em extensão, como o ponto 68, até locais com grandes dimensões, como os pontos 71 e 18.

Por fim, o estudo das áreas de deposição ao longo do tempo, assim como o estudo das áreas mais persistentes demonstram que tal método é um bom indicador da evolução dos depósitos em questão, podendo indicar os locais de maior volume depositado. Também se observou que podem ser feitas avaliações dos dados apresentados como, por exemplo, o ano que apresentou maior deposição, o intervalo com maior variação do volume, entre outros indicativos da própria gestão de resíduos do município.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao projeto de iniciação científica processo nº 2017/00717-3, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e ao Departamento de Engenharia Civil da UFSCar pelo suporte oferecido.

REFERÊNCIAS

BEER, J.; PRICE, S.J., FORD, J.R. 3D modelling of geological and anthropogenic deposits at the World Heritage Site of Bryggen in Bergen, Norway. *Quaternary International*. 2012, Vol. 251, p.107-116.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria Nacional de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Melhoria da gestão ambiental urbana no

- Brasil - BRA/OEA/08/001. *Manual para implantação de sistema de gestão de resíduos de construção civil em consórcios públicos*. Brasília, DF, 2010, 63p.
- GOMES, P.L.F. *Estudo do potencial de contaminação de solo e água subterrânea em áreas degradadas por resíduos de construção*. Relatório Final. Iniciação Científica. Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). São Carlos, 2017.
- FORD, J. R; PRICE, S.J; COOPER, A.H; WATERS, C.N. An assessment of lithostratigraphy for anthropogenic deposits. *Geological Society, London, Special Publications*, 2014, v.395; p55-89.
- GOMES, P.L.F. *Estudo de depósitos antropogênicos de resíduos de construção e demolição e seu potencial de contaminação de solo e água subterrânea*. Relatório Final. Iniciação Científica FAPESP. Departamento de Engenharia Civil - UFSCar. São Carlos, 2018.
- GOOGLE EARTH (2018) *Google Earth Pro*. Versão: 7.3.1.4507 (64-bit), Disponível em: <<https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>>. Acesso em: 20 de abril de 2018.
- LUBERTI, G.M. Computation of modern anthropogenic-deposit thicknesses in urban areas: A case study in Rome, Italy. *The Anthropocene Review*. 2018, Vol. 5, no 1, p. 2-27
- MICELI, V.G.; MENEZES, D. B. *Estudo das áreas degradadas do município de São Carlos*. 22º CIC - UFSCar (11/2014). Resumo. *Anais: ...Eventos da UFSCar*. São Carlos: UFSCar, 2014. Vol. 10. 1p.
- MICELI, V.G. *Estudo das áreas degradadas do município de São Carlos*. Relatório final. Bolsa Jovens Talentos para a Ciência. Departamento de Engenharia Civil - UFSCar. São Carlos, 2014.
- MIRANDOLA, F. A., MACEDO, E. S. Proposta de classificação do tecnógeno para uso no mapeamento de áreas de risco de deslizamento (Technogenic classification proposal for use in landslide risk mapping). *Quaternary and Environmental Geosciences* (2014) 05(1):66-81
- NIZO, A.I. *Estudo das áreas degradadas do município de São Carlos*. Relatório final. Programa Jovens Talentos para a Ciência. Departamento de Engenharia Civil - UFSCar. São Carlos, 2016.
- OLIVEIRA, A.M.S.; PELOGGIA, A.U.G. The Anthropocene and the Technogene: stratigraphic temporal implications of the geological action of humankind. O Antropoceno e o Tecnógeno: implicações geocronológicas da ação geológica da humanidade. *Quaternary and Environmental Geosciences* 05(2):103-111, 2014.
- PELOGGIA, A.U.G. A ação do homem enquanto ponto fundamental da geologia do Tecnógeno: proposição teórica básica e discussão acerca do caso do município de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, Vol. 27, nº 3, p.257-268,1997.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS - PMSC. Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano. *Base municipal de ruas e bairros*. Arquivo digital. São Carlos-SP, 2013.
- TAME, C.; CUNDY, A.B.; ROYSE, K.R.; SMITH, M., MOLES, N.R. Three-dimensional geological modelling of anthropogenic deposits at small urban sites: A case study from Sheepcote Valley, Brighton, UK. *Journal of Environmental Management*, 2013, Vol.129, p. 628-634.
- VALENTE, L.N. *Depósitos irregulares de resíduos de construção civil: da degradação ambiental à contaminação e formação de depósito tecnogênico*. Iniciação Científica. Departamento de Engenharia Civil - UFSCar. São Carlos, 2015.
- VALENTE, L.N.; GOMES, P.L.F.; MENEZES, D.B. Potencial contaminante de depósitos tecnogênicos de resíduos de construção no município de São Carlos. *Anais...SINGEURB 2017*. PPGEU/UFSCar. São Carlos, 2017, p. 26-38.

■ PORQUE E COMO TORNAR O ESTUDO MAIS ■ PARECIDO COM O TRABALHO

■ WHY AND HOW THE STUDY CAN BECOME MORE LIKELY WORK.

LEANDRO EUGENIO DA SILVA CERRI

Professor Adjunto Aposentado e Empresário, lescerri@gmail.com

MAURO CERRI NETO

Empresário, Advogado e Professor, maurocerri@direitoanimal.com.br

CARLOS EDUARDO FISCHER CERRI

Empresário e Educador Físico, eduardofischer@ibptrainer.com.br

RESUMO ABSTRACT

O presente artigo trata do distanciamento entre a formação acadêmica de profissionais recém-graduados e as exigências impostas pelo mercado de trabalho empresarial. As discussões apresentadas pretendem contribuir com docentes de disciplinas profissionalizantes, para que possam praticar um ensino de melhor qualidade.

Palavras-chave: ensino, mercado de trabalho, aspectos didáticos pedagógicos.

This paper deals with the distance between the academic training of newly graduated professionals and the requirements imposed by the business labor market. The discussions are intended to collaborate with teachers of vocational disciplines, so that they can practice a better quality teaching.

Keywords: teaching, labor market, pedagogical didactic aspects.

1 INTRODUÇÃO

É cada vez mais flagrante o distanciamento entre o que as práticas de ensino oportunizam em relação ao efetivo aprendizado de graduandos e as necessidades atuais do mercado de trabalho empresarial.

Acredita-se que a principal razão deste fato seja porque o mercado empresarial é dinâmico, enquanto as estratégias didático-pedagógicas frequentemente adotadas são muito pouco alteradas há décadas, embora a informação – antes limitada e escassa – atualmente esteja disponível em grande quantidade, em diferentes linguagens e formatos.

No meio acadêmico, o argumento que mais se ouve a esse respeito é que não é função das universidades preparar os alunos para atuar em empresas, já que elas próprias devem investir no treinamento de seus funcionários. É provável que essa afirmativa seja apenas uma enorme nuvem de fumaça.

Considera-se indiscutível que os cursos de graduação devam preparar seus egressos para atuar nos primeiros anos da atividade profissional e, a partir daí, tais profissionais devem buscar novos aprendizados, seja por iniciativa própria, seja por motivação das empresas nas quais trabalham.

Porém, todos os que passamos por formação acadêmica e tivemos a oportunidade de atuar no mercado de trabalho empresarial nos sentimos absolutamente despreparados ao concluir ou prestes a concluir a graduação.

Há até uma bem humorada frase – e também muito triste – que profissionais mais experientes que atuam no mercado de trabalho empresarial dizem quando recebem os jovens recém-formados contratados:

“Esqueça tudo o que você aprendeu na universidade porque agora vamos ensiná-lo a trabalhar.”

Qual será a verdadeira razão deste distanciamento entre o que se pretende ensinar e o que deveria ser aprendido quando se consideram as atividades que os profissionais executarão no início de suas carreiras em empresas públicas e privadas?

Acredita-se que uma das principais causas esteja fortemente relacionada ao fato de que os

docentes que ministram as denominadas disciplinas profissionalizantes na verdade desconhecem o mercado empresarial, pois em sua quase totalidade só tem experiência no meio acadêmico.

O que é exigido nos concursos para ingresso no corpo docente de nossas universidades é restrito ao universo acadêmico, como titulações, publicações, orientações, experiência didática etc., nada sendo exigido em termos de experiência no mercado de trabalho empresarial, ainda que o docente esteja sendo contratado especificamente para ministrar disciplinas profissionalizantes.

Diante deste fato, o presente artigo tem como principal objetivo apresentar uma síntese do que é exigido do profissional iniciante pelo mercado de trabalho empresarial. Tal objetivo ganha importância destacada diante da grande renovação do quadro docente de nossas universidades, em razão de uma enorme onda de aposentadorias.

Espera-se que os novos docentes possam utilizar as informações aqui descritas, que também incluem uma síntese das estratégias didático-pedagógicas comprovadamente eficientes, para optar por práticas de ensino mais dinâmicas e motivadoras, em comparação com as antiquadas e exaustivas aulas expositivas.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PROBLEMÁTICA

A escolha do título do presente artigo foi inspirada em frase à página 27 do excelente (e antigo) livro “Revolucionando o Aprendizado” (Dryden & Vos, 1996), publicado originalmente no já distante ano de 1994, com a edição brasileira publicada em 1996.

O livro citado é resultado da inusitada colaboração entre duas pessoas extremamente ligadas à comunicação e à educação, sendo um do mercado empresarial e o outro com extensa carreira acadêmica.

Gordon Dryden, neozelandês, deixou a escola formal aos 14 anos. Veio a se tornar célebre locutor nos Estados Unidos, com rica experiência em jornalismo, produção de TV, também atuando em propaganda, marketing internacional etc. É palestrante famoso.

Dra Jeannette Vos, nascida na Holanda, é cidadã norte americana, especialista em educação,

com vasta experiência de ensino em vários níveis, incluindo o ensino superior.

A proposta de “tornar o estudo mais parecido com o trabalho” representa a essência do que é tratado com muito detalhe por todo o livro.

O livro é antigo, mas a adoção de suas propostas, ainda que de forma bem tímida, seria uma verdadeira revolução em nosso ensino superior.

O texto reproduzido a seguir, de autoria do jornalista Gilberto Dimenstein (Dimenstein, 2003), também não é novo, dado que foi obtido em maio de 2003 no site www.aprendiz.com.br:

“Não se sabe ao certo, como ensinar – mas, pelo menos, sabemos como não se deve ensinar. Idiotizar o aprendizado é obrigar a memorização de regras, numa era de abundância de informação. Idiotizar é estimular o aluno a ir bem nos testes, em vez de envolvê-lo na experimentação para que desenvolva paixão pela curiosidade. É não mostrar como as várias disciplinas se relacionam, aplicadas ao cotidiano.

Os educadores bem informados, em qualquer parte do planeta, sentem-se desinformados. Não conseguem acompanhar, como gostariam, a mudança de perfil das profissões, o surgimento de novas carreiras, impactadas pela velocidade tecnológica jamais vista. Qualquer educador sério está com um olho na sala de aula e outro na empresa, vendo o que se pede do futuro profissional”.

Como pode ser facilmente verificado, o apelo para que a prática de ensino adotada considere o que exige o mercado de trabalho empresarial é comum nas duas referências citadas.

Mas será que este apelo foi considerado por aqueles que tem o poder de decidir qual estratégia didático-pedagógica deve ser adotada? Acredita-se fortemente que não.

Para concluir a contextualização proposta, apoia-se em parte da experiência como professor universitário do primeiro autor do presente artigo, que ministrou a disciplina Geologia de Engenharia por 18 anos consecutivos no curso de graduação em Geologia da Unesp – Rio Claro (SP), no período de 1997 a 2014.

A disciplina, com carga horária de 120 horas, era oferecida nos dois últimos semestres ou no penúltimo semestre letivo do curso, dependendo da época.

Logo nas primeiras aulas da disciplina, o docente citado aplicava um exercício muito simples.

Era perguntado a cada aluno presente em qual área pretendia atuar como profissional quando concluísse a graduação, se na área acadêmica ou no mercado empresarial. Em todos os anos em que essa pergunta foi feita, mais de 90% dos alunos responderam que pretendiam atuar no mercado empresarial.

Em seguida, era perguntado ao mesmo grupo de alunos quantos professores das disciplinas geológicas tiveram ao longo de toda a graduação e, desse total de professores, quantos os haviam preparado para o mercado empresarial e quantos os haviam preparado para o meio acadêmico.

Invariavelmente, em todos os anos de aplicação deste exercício, os alunos responderam que o número de docentes que os haviam preparado para o meio acadêmico nunca foi inferior a 90%.

Diante desses singelos dados pode-se constatar que o descompasso entre o que se pretende ensinar e o que deveria ser aprendido é enorme, não é mesmo?

Salienta-se aqui que a interação com docentes de várias universidades permite afirmar que esse descompasso não é restrito ao que ocorre no Curso de Graduação em Geologia da Unesp – Rio Claro (SP), possivelmente sendo verificado em todas as nossas universidades.

3 HABILIDADES VALORIZADAS PELO MERCADO DE TRABALHO EMPRESARIAL

É importante esclarecer que o perfil do profissional para atuar no meio acadêmico é muito distinto do perfil do profissional para atuar no mercado empresarial. Os graduandos deveriam receber essa informação de forma detalhada, até para poderem fazer suas escolhas com mais objetividade e diminuir substancialmente a possibilidade de uma escolha equivocada.

Em geral, o acadêmico atua na produção do conhecimento básico, ainda que não vislumbre uma aplicação imediata para o saber que irá produzir. Não raro faz suas pesquisas de forma isolada ou em grupos numericamente restritos.

Já o profissional do mercado empresarial necessariamente se envolve na resolução de problemas concretos, tendo o conhecimento básico como

principal fonte de dados. Em geral faz parte de uma equipe de trabalho na qual cada participante é responsável por determinada tarefa.

Assim, enquanto para o acadêmico o método é o foco principal da investigação, para o profissional do mercado empresarial o foco está na resolução do problema investigado, independente de qual método é empregado.

O profissional que atua no mercado empresarial não pode correr riscos, de tal modo que a não resolução do problema que investiga corresponde a um insucesso ou mesmo fracasso.

Já o acadêmico contribui para o avanço do conhecimento mesmo que sua pesquisa não alcance o objetivo delineado e ainda que não atinja o resultado desejado.

Em geral, o profissional do mercado empresarial trabalha com prazos mais exíguos em relação aos prazos dispendidos para as pesquisas acadêmicas.

O acadêmico tem seu sucesso medido principalmente pela repercussão de suas publicações, enquanto a moeda de troca do profissional do mercado empresarial é sua competência, atestada por sua capacidade acumulada para solucionar problemas concretos.

Não é objetivo do presente artigo analisar de modo aprofundado importantes conceitos referentes ao processo ensino-aprendizado, mas é necessário esclarecer que entende-se que “estudar” é absolutamente diferente de “aprender”, assim como “saber” é completamente diferente de “saber fazer”.

Ainda que se corra o risco de pecar pela simplificação, em sua maioria o acadêmico está voltado para o conhecimento teórico (saber), enquanto o profissional que atua no mercado empresarial deveria receber formação também em conhecimento prático (saber fazer). No presente texto denominaremos o saber fazer de “habilidade”.

Em fevereiro de 2011, uma conceituada empresa nacional disparou e-mail divulgando as habilidades requeridas para os candidatos a vagas de geólogos e engenheiros. As habilidades requeridas eram:

- Foco em Resultado
- Extrema habilidade de comunicação escrita e falada
- Habilidade em convencer e influenciar pessoas

- Habilidade para trabalho em equipe
- Iniciativa
- Liderança
- Tolerância, argumentação, diplomacia
- Flexibilidade
- Orientação para o cliente
- Maturidade emocional
- Construção de relacionamentos e parcerias
- Desenvolvimento de pessoas
- Capacidade decisória

A esta altura do presente texto sugere-se a seguinte reflexão: a estratégia didático-pedagógica que atualmente é mais largamente praticada em nossas universidades favorece o efetivo desenvolvimento das habilidades requeridas pelo mercado de trabalho empresarial, conforme descrito?

Diante da estratégia didático-pedagógica mais largamente praticada em nossas universidades e que não estimula o desenvolvimento das habilidades citadas anteriormente, a única forma dos futuros profissionais do mercado empresarial desenvolver tais habilidades durante a graduação é por meio de intenso envolvimento em atividades extracurriculares, especialmente os estágios.

Note-se que nas exigências da empresa não foi sequer citada a necessidade de um bom nível de conhecimento técnico-científico, dado que isso é pressuposto básico. Atualmente, o aluno que durante a graduação não aprender a aprender continuamente não terá oportunidades duradouras e boas colocações no mercado de trabalho empresarial.

Já não existe mais a estruturação da vida em três fases sucessivas, a) pouco mais de duas décadas de estudos; b) pouco mais de três décadas de trabalho; e c) determinado número de anos para desfrutar a aposentadoria. Hoje os limites entre essas fases inexistem. É necessário continuar aprendendo mesmo depois de concluída a graduação, bem como a maior longevidade acaba por retardar por muito tempo a aposentaria.

O mercado de trabalho empresarial atual exige um profissional que se conheça mais e que tenha claro seu propósito de vida. Tem sido cada vez mais característico das novas gerações a ausência de identificação com o que fazem. Desta forma, os profissionais trocam de empregos e funções rapidamente, em busca da auto-realização

que não sabem onde conseguir, tampouco se um dia a conseguirão.

Robinson (2010) defende que o sistema de ensino deveria estimular o aluno a encontrar seu Elemento-Chave (título de seu livro), que corresponde ao ponto de encontro entre a aptidão natural e a paixão pessoal. Descreve, ainda, que encontramos nosso Elemento-Chave quando sentimos que estamos no lugar onde o que gostamos de fazer se encontra com o que sabemos (ou aprendemos) fazer bem.

Estamos em uma era na qual a humanização predomina e as empresas perceberam que o bem estar dos seus colaboradores está totalmente ligado a resultados e por isso tem investido cada vez mais em gestão de pessoas e em profissionais que ajudem os colaboradores a se sentirem parte integrante dos processos empresariais e, consequentemente, dos resultados da empresa.

Os coordenadores de equipe de perfil mais tradicional estão tendo de se adaptar às novas formas de relação entre líder e liderados e a uma condição de hierarquia fluida, em contraposição à rigidez da hierarquia antiquada. Hoje, a liderança não se dá mais pela antiguidade, mas pela competência e capacidade de realização, ou seja, o líder não é mais imposto, é reconhecido e aceito naturalmente.

Por seu lado, os jovens profissionais do meio empresarial precisam entender que a persistência e a disciplina continuam sendo características essenciais dos profissionais de sucesso. É preciso que esses jovens profissionais encontrem seus mentores e cuidem de aproveitar ao máximo as oportunidades de compor equipes com pessoas de diferentes níveis de experiência profissional.

4 BREVES CONSIDERAÇÕES SOBRE ESTRATÉGIAS DIDÁTICO-PEDAGÓGICAS

Os educadores consideram que o processo ensino-aprendizado é estruturado em três pilares básicos:

- a) o conteúdo programático ou currículo: que corresponde àquilo que os alunos devem aprender;
- b) a estratégia didático-pedagógica: que trata da forma como se pretende apresentar o

conteúdo aos alunos, motivando-os para o aprendizado; e

- c) o sistema de avaliação: que se refere às formas de verificação do efetivo aprendizado dos alunos.

Robinson (2010) enfatiza (pg 227): “Acredito com veemência, baseando-me em décadas de trabalho na área, que a maneira mais eficaz de melhorar a educação não é por meio do currículo e avaliação, embora sejam importantes. O método mais poderoso é investir na melhoria do ensino e na qualificação de professores para que se tornem grandes profissionais. Não existe nenhuma grande escola em nenhum lugar do mundo que não tenha grandes professores.”

Entende-se que um grande professor é aquele que vai ajustando a prática de ensino que adota às mudanças apresentadas pelos alunos ao longo do tempo.

Cerri *et. al.* (2011) descrevem com detalhe as mudanças apresentadas pelos alunos, alertando que alunos das gerações Veteranos, *Baby Boomers* e X (nascidos até 1980) foram habituados a aprender como base no sistema passo a passo, com abordagem sequencial e gradativa; enquanto os alunos das gerações Y (nascidos entre 1981-89) e Z (nascidos após 1990) aprendem com maior facilidade por meio de abordagem não linear, com integração de formas e conteúdos, sem a adoção de uma sequência pré-estabelecida.

O livro “Aprender na vida e aprender na escola” (Delval, 2001), discorre sobre a baixa eficácia da concepção didático-pedagógica conteudista. O autor citado afirma que os alunos passam longos períodos em sala de aula e aprendem uma minúscula parcela do que é ensinado. Ao propor modernizar a prática de ensino, sugere a adoção de estratégia didático-pedagógica fundamentada na resolução de problemas.

O livro “Estratégias de ensino-aprendizagem” (Bordenave & Pereira, 2002) trata das vantagens da “educação problematizadora” (ou “libertadora”), quando comparada à abordagem tradicional e conteudista (“educação bancária ou convergente”).

Cerri & Reis (2014) descrevem o método PBL (*Problem Based Learning*), adotado há mais de trinta anos em alguns cursos de graduação, com

eficiência comprovada. No método PBL o ensino não é estruturado em disciplinas e o aprendizado se dá por meio do estudo de temas agrupados em módulos temáticos. Cada tema é apresentado a grupos de alunos no formato de problemas que refletem situações do futuro exercício profissional. Por meio da execução de atividades assistidas por docentes e voltadas à resolução dos problemas, os alunos identificam os conteúdos necessários e aprendem a buscar este conhecimento.

Stice (1987; *apud* Felder & Silverman, 1988) correlaciona o meio de ensino utilizado com o percentual de conhecimento que os estudantes efetivamente retêm. O autor citado explica que os alunos retêm 10% do que leem; 26% do que ouvem; 30% do que veem; 50% do que veem e ouvem; 70% do que explicam; e 90% do que explicam enquanto fazem.

Veen & Vrakking (2009) apresentam os sete princípios gerais que devem fundamentar a educação na era digital: confiança, relevância, talento, desafio, imersão, paixão e autodirecionamento.

Cerri & Musso (2018) consideram que o resultado do processo ensino-aprendizado é mais consistente quando há convergência entre a forma como os alunos aprendem mais facilmente e aquilo que os docentes podem fazer para facilitar o aprendizado dos alunos. Sugerem, ainda, que os docentes utilizem, conforme suas características e preferências, uma combinação de técnicas de ensino para motivar os alunos para o aprendizado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Robinson (2010) afirma que (pg 227): “O fato é que devido aos desafios que estamos enfrentando, a educação não precisa ser reformada. Ela tem de ser transformada.”

Cerri (2013), em artigo intitulado “Uma visita imaginária à Universidade do Amanhã”, trata de vários aspectos que integram essa transformação.

Conforme referido, o livro “Revolucionando o Aprendizado” (Dryden & Vos, 1996), embora antigo, poderia contribuir imensamente para essa transformação nas estratégias didático-pedagógicas, com a adoção de suas propostas mais elementares.

Auxiliar o aluno a encontrar seu Elemento-Chave (Robinson, 2010) deve ser o compromisso

principal de um professor atualizado e consciente de sua nobre função de educador.

Também se considera essencial, para garantir resultados efetivos no processo ensino-aprendizado, que os educadores mantenham um olho na sala de aula e outro na empresa, observando o que se pede do futuro profissional (Dimenstein, 2003).

Educadores atualizados esclarecem sobre a importância de se promover uma mudança radical na prática de ensino, com o eixo central passando a ser o aluno e não mais o professor.

Ou seja, no processo ensino-aprendizado moderno, não importa o que o docente ensina, mas sim aquilo que o aluno efetivamente aprende.

O professor que se dispuser a cumprir essa tarefa, além de se tornar um educador, será um autêntico mentor para seus alunos.

REFERÊNCIAS

BORDENAVE, J.D.; PEREIRA, A.M. **Estratégias de ensino-aprendizagem**. Petrópolis: Editora Vozes. 24^a Ed., 2002. 312p.

CERRI, L.E.S. **Uma visita imaginária à Universidade do Amanhã**. In: Perspectivas da Geologia de Engenharia e Ambiental e o papel da ABGE – Depoimentos 45 Anos. Publicação ABGE, 2013. p. 91-99

CERRI, L.E.S.; MUSSO, M. Ensino. In: Oliveira, A.M.S. & Monticeli, J.J.(Eds.). Geologia de Engenharia e Ambiental. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. ABGE. V. 2, Cap. 22, p. 453-466, 2018.

CERRI, L.E.S.; REIS, F.A.G.V. Método PBL: uma revolução nos projetos pedagógicos dos Cursos de Geologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 47, 2014. Boletim de Resumos. SBG. Salvador, BA, 1p.

CERRI, L.E.S.; REIS, F.A.G.V.; DOMINGUES, L.S.V.; CERRI NETO, M. **Uma Experiência Inovadora de Ensino de Geologia de Engenharia e Ambiental para a Geração Z**. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 13, 2011. Anais (CD-Rom)... ABGE. São Paulo, SP, 10p.

DELVAL, J. **Aprender na vida e aprender na escola**. Porto Alegre: Artmed, 2001. 118 p.
DIMENSTEIN, G. Disponível em: <http://www.aprendiz.com.br>. Acesso em: 18 maio 2003

DRYDEN, G.; VOS, J. **Revolucionando o aprendizado**. 1994. Tradução Marisa do Nascimento Paro. São Paulo: MAKRON Books, 1996. 475 p.

ROBINSON, K. **O Elemento-Chave**. Rio de Janeiro: Ediouro, Tradução de Evelyn Kay Massaro. 2010. 263p.

STICE, J.E., Using Kolb's Learning Cycle to Improve Student Learning. *Eng. Education*, V.77, n. 5, p. 291-296, 1987. *apud* FELDER, R.M. e SILVERMAN, L.K. Learning and teaching styles in engineering education. *Eng. Education*. v. 78, n. 7, p. 674-681, 1988.

VEEN, W.; VRAKING, B. **Homo zappiens: educando na era digital**. Tradução de Vinícius Figueira. Porto Alegre: Artmed, 2009. 141 p.

SIMULADOR DE REDE DE VENTILAÇÃO DE MINA SUBTERRÂNEA COM FORMULAÇÃO MATRICIAL DE UM SISTEMA DE EQUAÇÕES NÃO LINEARES

MINE VENTILATION NETWORK SIMULATOR WITH MATRIX FORMULATION OF A SYSTEM OF NONLINEAR EQUATIONS

PAULO GUSTAVO CAVALCANTE LINS
Professor, Universidade Federal da Bahia, plins@ufba.br

CLARICE SILVA DOS SANTOS
Graduanda, Universidade Federal da Bahia, ssilvoclarice@gmail.com

JOSEVAN OLIVEIRA DOS SANTOS ROCHA
Graduando, Universidade Federal da Bahia, josevan_oliveira@hotmail.com

ROBSON RIBEIRO LIMA
Professor, Universidade Federal de Pernambuco, robsonlimal@yahoo.com.br

SANDRO LIMA FONTES
Professor, Universidade Federal da Bahia, sandrolfontes@hotmail.com

ROBERTO SANTOS LIMA
Engenheiro de Minas, AngloGold Ashanti: Santa Bárbara – MG, eu_sou_roberto@yahoo.com.br

RESUMO ABSTRACT

A solução de redes de ventilação de minas subterrâneas é usualmente realizada por métodos iterativos. Este trabalho apresenta uma formulação para o problema de ventilação de mina subterrânea onde a contribuição de cada duto de ar é representada por uma matriz do elemento de duto de ar. Um sistema global é montado considerando a contribuição de cada elemento de duto de ar. A não linearidade do problema é tratada pelo método de Newton-Raphson. A implementação realizada possui analogia com o método dos elementos finitos. O simulador implementado foi comparado com um simulador baseado no método de Hardy-Cross. Os resultados foram consistentes. As limitações e futuras ampliações do simulador são discutidas.

Palavras-chave: Rede de Ventilação; Mina Subterrânea; Simulação.

The solution of underground mine ventilation networks is usually performed by iterative methods. This paper presents a formulation for the underground mine ventilation problem where the contribution of each air duct is represented by a matrix of the air duct element. A global system is assembled considering the contribution of each air duct element. The nonlinearity problem is treated by the Newton-Raphson method. The implementation performed is analogous to the finite element method. The simulator implemented was compared with a simulator based on the Hardy-Cross method. The results were consistent. The limitations and future extensions of the simulator are discussed.

Keywords: Ventilation Network; Underground Mine; Simulation.

1 INTRODUÇÃO

A determinação computacional da distribuição de pressões e vazões em uma rede de ventilação de minas subterrâneas realiza-se muitas vezes utilizando o método de Cross (1936). Algumas destas implementações são descritas em Wang & Hartman (1967), Wang & Saperstein (1970) e Wang (1982). A utilização de programação não linear para resolver o mesmo problema é encontrada em Wang (1984). Sereshki et al. (2016) fizeram uma comparação entre diferentes métodos de solução do problema.

Gregory et al. (1976) discutem as analogias na simulação de diferentes sistemas de condução de fluidos. Uma grande similaridade pode ser observada na solução de redes de distribuição de água e redes de ventilação de minas. No presente trabalho o programa de solução de redes de distribuição de água apresentado por Brebbia & Ferrante (1983) foi adaptado para solução de redes de ventilação de minas. O programa implementado utiliza uma formulação matricial e o método de Newton-Raphson.

O simulador de redes de ventilação de minas que utiliza o método de Cross (1936) apresentado em Wang (1982) e implementado por Lins et al. (2008) foi utilizado para gerar resultados que permitiram testar o programa com o método de Newton-Raphson implementado no presente trabalho. Os testes mostraram um bom funcionamento do novo programa.

2 LEI DE ATKINSON

Segundo Hartman et al. (1997) a perda de carga (H_f) em um duto de ar pode ser relacionada com a vazão de ar (Q) no duto, pela conhecida Lei de Atkinson, representada pela expressão:

$$H_f = R \cdot Q^2 \quad (1)$$

A chamada resistência (R) é função do fator de atrito (K) que representa a condição de rugosidade das paredes do duto, do perímetro do duto pelo qual o ar é conduzido (O), do comprimento do duto (L) e da área da seção transversal do duto (A). Utilizando unidades do sistema imperial, K em $\text{lb} \cdot \text{min}^2 / \text{ft}^4$, O e L em ft e A em ft^2 , a expressão para a resistência é dada por:

$$R = \frac{K \cdot O \cdot L}{5,2 \cdot A^3} \quad (2)$$

Utilizando unidades do sistema internacional, K em kg/m^3 , O e L em m e A em m^2 , a expressão para a resistência é dada por:

$$R = \frac{K \cdot O \cdot L}{A^3} \quad (3)$$

Para a implementação realizada no presente trabalho é conveniente escrever a equação (1) na forma:

$$Q = \frac{1}{R^{0,5}} \cdot H_f^{0,5} \quad (4)$$

3 REPRESENTAÇÃO MATRICIAL DO PROBLEMA

Para representar o problema, toma-se uma rede de dutos, conectados por nós. Inicialmente, será esquecido o expoente que existe na equação (4) e será considerada uma relação linear entre vazão e pressão; para calcular a vazão de um duto indicado por i em termos da perda de carga entre dois nós. Uma vazão será positiva quando indo de um nó k para um nó j , quando se tem uma pressão maior no nó k que no nó j .

Para o elemento i , o vetor das vazões nodais, é relacionado com o vetor das pressões nodais por meio de uma matriz de forma:

$$\begin{Bmatrix} Q_k^i \\ Q_j^i \end{Bmatrix} = k^i \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} H_k^i \\ H_j^i \end{Bmatrix} \quad (5)$$

O somatório das vazões que entram e saem em um nó qualquer deve ser nula. A Figura 1 ilustra o equilíbrio de vazões em um nó 5. Para garantir o equilíbrio de vazões em toda a rede de dutos faz-se necessário montar uma matriz global que relacione o vetor de vazões global $\{Q\}$ com o vetor de pressões global $\{H\}$. Esta matriz global pode

ser chamada de matriz propriedade, ou matriz de condutividade de ar. O problema fica representado por um sistema linear de forma:

$$\{Q\} = [k]\{H\} \quad (6)$$

Para cada duto, pode ser montada uma matriz que represente o elemento, dada por uma equação com forma da equação (5). A montagem desta matriz global pode ser feita colocando a contribuição de cada matriz do elemento na posição apropriada da matriz global. Este processo é ilustrado na Figura 2, onde uma matriz de um elemento que liga o nó n1 ao nó n2 é colocada na matriz global. A Figura 2 representa uma situação genérica em que em cada nó existe um determinado número de graus de liberdade por nó. No presente problema existe apenas um grau de liberdade por nó (que é a pressão).

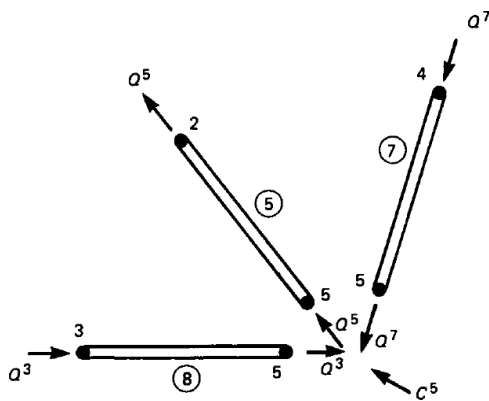


Figura 1. Equilíbrio no nó 5 (BREBBIA & FERRANTE, 1983).

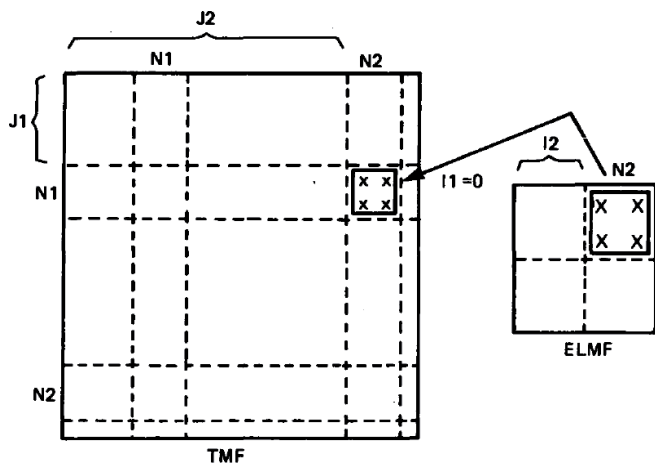


Figura 2. Montagem dos coeficientes dos elementos na matriz global (BREBBIA & FERRANTE, 1983).

4 IMPOSIÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONTORNO

A matriz global representada na equação (6) tem determinante nulo. Para representar um problema de ventilação de mina, é necessário condicionar a matriz para impor no mínimo que um nó possua uma pressão conhecida. No problema de ventilação de mina subterrânea, faz-se necessário representar os pontos de acesso à superfície, e nesses pontos o valor da pressão nodal é zero (pressão atmosférica de referência).

De um ponto de vista numérico, o condicionamento da matriz global pode ser feito colocando o valor unitário na diagonal principal e zerar o resto da linha e o resto da coluna, além de zerar o termo correspondente do vetor de termos independentes. Isto é ilustrado na Figura 3(a).

Uma peculiaridade deste tipo de formulação é que a matriz global é simétrica. Além disso a matriz global tem termos não nulos a uma determinada distância da diagonal principal. Esta distância é chamada de largura de semibanda. Isto é ilustrado na Figura 3(b). A numeração dos nós adotada define a largura de semibanda.

O fato de a matriz global ser simétrica e de banda, permite a adoção de técnicas de armazenamento da matriz global, por exemplo, em semibanda, o que é ilustrado na Figura 3(c). O programa implementado utiliza este tipo de armazenamento da matriz global.

Uma condição de contorno que represente impor uma vazão em um determinado nó é conseguida colocando o valor da vazão de ar no vetor dos termos independentes.

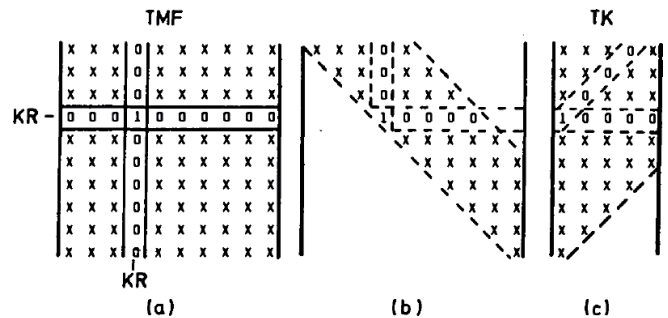


Figura 3. Imposição das condições de contorno (BREBBIA & FERRANTE, 1983).

5 ANÁLISE NÃO LINEAR DA REDE DE VENTILAÇÃO

Adaptando a formulação apresentada em Brebbia & Ferrante (1983), o sistema global de equações que representa o comportamento de uma rede de ventilação, quando a Lei de Atkinson, é utilizada, tem a forma:

$$\mathbf{K} \cdot (\mathbf{H}) \cdot \mathbf{H} = \mathbf{C} \quad (7)$$

Que, pelo fato de a matriz \mathbf{K} depender das incógnitas nodais de pressão, é um sistema não linear.

Brebbia & Ferrante (1983) destacam que muitos diferentes enfoques podem ser utilizados para resolver este tipo de sistema não linear. Um esquema de solução simples para resolver um sistema similar para redes de distribuição de água foi implementado por estes autores. O esquema foi adaptado para resolver o problema da rede de ventilação de mina. Os passos do esquema são:

- Assumir valores iniciais para as pressões nodais.
- Calcular os coeficientes que formam a matriz \mathbf{K} , baseados nos valores correntes das pressões nodais, e formar o sistema de equações.
- Resolver o sistema de equações e obter um novo conjunto de pressões nodais.
- Comparar com o conjunto anterior de pressões nodais; se a diferença for maior que uma tolerância estipulada, repetir as operações começando do passo (b), caso contrário terminar o processo.

Uma descrição gráfica simplificada desta técnica é apresentada na Figura 4, para um sistema com uma pressão nodal H , associada a uma vazão C . Após selecionar um valor inicial para a pressão, H^0 , o valor do coeficiente ligando a pressão e a vazão é computado, para o nível da vazão, sendo mostrada na Figura 4 como k^1 . Conhecendo este coeficiente, e conhecendo o valor de C , um novo valor de pressão, chamado H^1 na Figura 4, pode ser computado. Este valor será, em geral, diferente da solução H , que é a incógnita. Então, o valor aproximado H^1 é usado para computar um novo coeficiente k^2 , e o processo é repetido até que a diferença nas pressões em dois passos sucessivos seja menor que uma dada tolerância. Um limite no

número de iterações pode, também, ser imposto eventualmente (BREBBIA & FERRANTE, 1983).

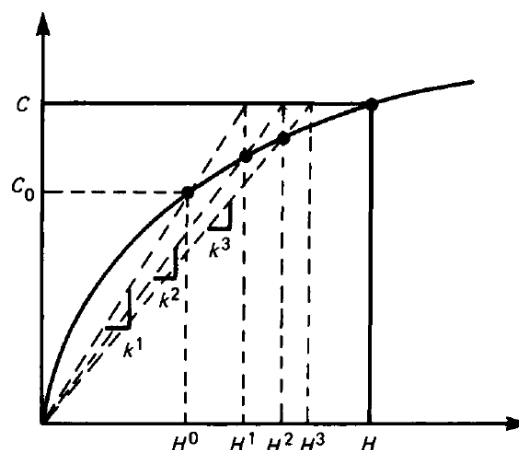


Figura 4. Processo iterativo (BREBBIA & FERRANTE, 1983).

Brebbia & Ferrante (1983) descrevem o esquema computacional implementado como a seguir:

- Inicializar o contador de passos ' i ' e o vetor de pressões \mathbf{H} .
- Computar a matriz \mathbf{K}^i , utilizando as pressões \mathbf{H} .
- Resolver o sistema $\mathbf{K} \cdot \bar{\mathbf{H}} = \mathbf{C}$.
- Comparar as pressões \mathbf{H} e $\bar{\mathbf{H}}$. Se a diferença for maior que a tolerância, ir para o passo (e), caso contrário ir para o passo (f).
- Incrementar o contador de passos ' i ' de uma unidade e comparar com o número máximo de iterações; se excedido, imprimir um alerta e ir para o passo (f). Senão fazer $\mathbf{H} = \bar{\mathbf{H}}$ e ir para o passo (b).
- Calcular as vazões nos elementos de duto e as vazões nodais, imprimir estas variáveis secundárias, e encerrar o programa.

$$\frac{\left[\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H}_i)^2 \right]^{1/2}}{\sum_{i=1}^n |\bar{H}_i|} \leq TOL \quad (8)$$

Brebbia & Ferrante (1983) afirmam que para um valor de tolerância aceitável TOL , a convergência é suposta como atingida quando:

Apesar de o esquema apresentado ser de fácil implementação, a convergência pode ser lenta para aplicações práticas. Pode ser conveniente utilizar um método com melhor comportamento de convergência, como o método de Newton-Raphson.

O método de Newton-Raphson é uma técnica frequentemente utilizada para encontrar raízes de equações não lineares e resolver outros problemas não lineares. Resumidamente o método de Newton-Raphson pode ser descrito como a seguir. Suponha-se que se deseje encontrar um valor de x que faça uma função $f(x) \equiv 0$. Este valor será chamado x_o , onde:

$$f(x) \equiv 0 \quad (9)$$

Se for feita uma aproximação para o valor de x , tomando x_k , pode ser expandido:

$$f(x_o) \equiv f(x_k) + \frac{\partial f(x_k)}{\partial x} \delta x \quad (10)$$

Por consequente:

$$\delta x_k = -\frac{f(x_k)}{\partial f(x_k)/\partial x} \quad (11)$$

Desta forma, é possível encontrar um incremento de x para que o novo valor possa ser escrito:

$$x_{k+1} = x_k + \delta x_k \quad (12)$$

Isto é indicado na Figura 5. O processo pode ser repetido até que a solução seja obtida com o grau de acurácia requerido.

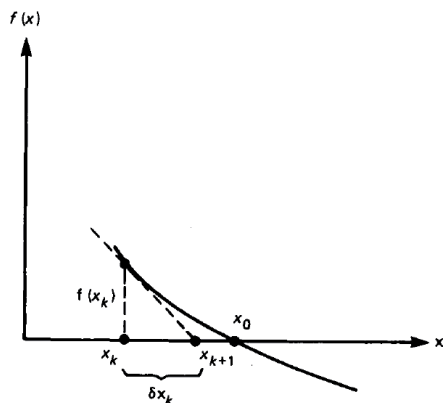


Figura 5. Aproximação para uma raiz de $f(x)=0$ (BREBBIA & FERRANTE, 1983).

Segundo Brebbia & Ferrante (1983) o processo pode ser aplicado em sistemas matriciais como descrito a seguir. Assumindo que após montar todos os elementos de uma rede, se possui um sistema com \mathbf{K} como uma função de \mathbf{H} , isto é:

$$\mathbf{K} \cdot (\mathbf{H}) \cdot \mathbf{H} = \mathbf{C} \quad (13)$$

Para a próxima iteração, pode ser escrita uma função \mathbf{F} de forma que:

$$\mathbf{F}(\mathbf{H}) = \mathbf{K} \cdot (\mathbf{H}) \cdot \mathbf{H} - \mathbf{C} = 0 \quad (14)$$

O método de Newton-Raphson apresenta o incremento de \mathbf{H} , isto é, $\delta \mathbf{H}_{k+1}$, como uma função da derivada de $\mathbf{K}(\mathbf{H}_k)$, isto é:

$$\mathbf{F}' = \frac{\partial}{\partial \mathbf{H}} [\mathbf{K} \cdot (\mathbf{H}) \cdot \mathbf{H} - \mathbf{C}] = \frac{\partial}{\partial \mathbf{H}} [\mathbf{K} \cdot (\mathbf{H}) \cdot \mathbf{H}] \quad (15)$$

A matriz \mathbf{F}' pode ser encontrada fazendo as derivadas com relação a \mathbf{H}_i para todos os elementos da coluna 'i' de \mathbf{KH} , e δ representa o incremento na função, o que, leva a uma nova matriz incremental de forma:

$$\begin{Bmatrix} \delta Q_j \\ \delta Q_k \end{Bmatrix} = \left(0,5 \cdot \frac{1}{R^{0,5}} \cdot \frac{1}{\Delta H^{0,5}} \right) \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta H_j \\ \delta H_k \end{Bmatrix} \quad (16)$$

Deve ser feito um registro de que a equação (16) utiliza a derivada da Lei de Atkinson, na forma da equação (4). Esta é a principal diferença do programa implementado no presente trabalho para estudo de redes de ventilação de minas com relação ao programa implementado por Brebbia & Ferrante (1983) para redes de distribuição de água.

Agora é possível escrever:

$$\begin{Bmatrix} \delta Q_j \\ \delta Q_k \end{Bmatrix} = \bar{k}_i \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta H_j \\ \delta H_k \end{Bmatrix} \quad (17)$$

Montando estas matrizes como anteriormente, se obtém um novo sistema de equações:

$$K_t \cdot \delta H = \delta C \quad (18)$$

Note-se que o vetor δC no lado direito da equação é obtido pela falta de equilíbrio, isto é, encontrando a diferença entre as ações externas e essa que pode ser equilibrada com a solução prévia, isto é:

$$\delta C = C - K(H_k)H_k \quad (19)$$

Geralmente, $\delta C \neq 0$ mas se tornará praticamente zero após poucas iterações. O método de Newton-Raphson geralmente assegura uma convergência rápida. Uma discussão detalhada do método pode ser encontrada em Brebbia & Ferrante (1983).

6 IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA

O programa implementado no presente trabalho foi denominado VentoNL. A implementação foi feita em linguagem Fortran. O simulador foi desenvolvido por meio do simulador de redes de água de Brebbia & Ferrante (1983).

Na implementação os pontos nodais passaram a ter coordenadas cartesianas em três dimensões. Rotinas adicionais permitem ao programa a geração de um arquivo de intercâmbio de desenhos do AutoCAD (dxf). Com este procedimento

é possível visualizar a rede de ventilação em três dimensões no AutoCAD ou em outro programa que suporte o formato dxf.

7 TESTE DO PROGRAMA

O programa VentoNL foi testado com uma rede hipotética. Nesta rede os pontos nodais 1 e 8 representam os pontos de acesso à a superfície em uma mina subterrânea, onde a pressão destes nós é zero (pressão atmosférica). A mesma rede foi modelada com o programa Vento2007, cuja implementação é descrita em Lins et al. (2008). A principal diferença na modelagem é que o ventilador no programa VentoNL é representado por uma carga nodal no ponto nodal 6. No programa Vento2007, a ação do ventilador é representada no ramal que liga os pontos nodais 6 a 8.

A Figura 6 apresenta as vazões nos ramais calculadas pelo programa VentoNL e a Figura 7, as vazões calculadas pelo programa Vento2007. Os valores de vazões calculados pelos dois programas são muito próximos. A única diferença está no ramal que ligas os pontos nodais 6 e 8, o que se deve à forma de consideração da carga do ventilador.

Os resultados dos cálculos das cargas nodais pelos programas VentoNL e Vento2007 são apresentados na Tabela 1. As diferenças nos resultados são coerentes com as tolerâncias impostas em cada programa.

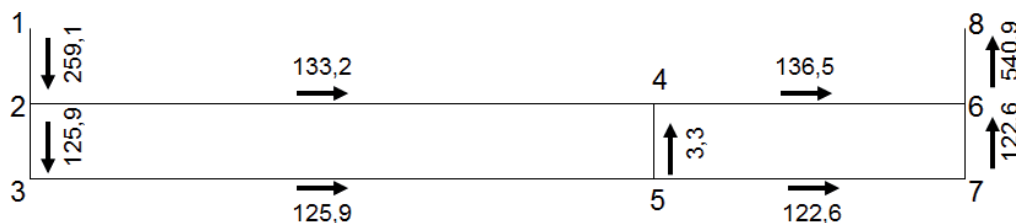


Figura 6. Vazões nos ramais calculadas pelo programa VentoNL, método de Newton-Raphson.

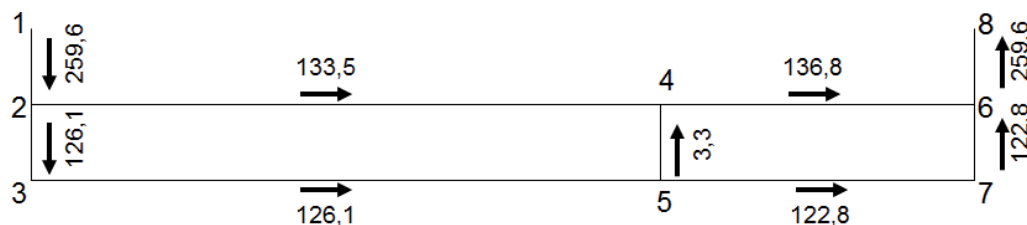


Figura 7. Vazões nos ramais calculadas pelo programa Vento2007, método de Cross (1936).

Tabela 1. Cargas nodais calculadas pelos programas Vento2007 e VentoNL.

Ponto Nodal	Método de Newton-Raphson Programa VentoNL	Método de Cross (1936) Programa Vento2007
1	0,0000	0,000
2	1,4869	1,493
3	1,8378	1,845
4	4,7627	4,781
5	4,7624	4,781
6	6,4823	6,507
7	6,1494	6,173
8	0,0000	0,000

8 CONCLUSÕES

Um simulador computacional de redes de ventilação de minas foi implementado e testado com sucesso. O simulador utiliza uma representação matricial do problema similar à estrutura de programas de elementos finitos. A não linearidade do problema foi resolvida utilizando o método de Newton-Raphson. Diversas melhorias podem ser implementadas no programa. A primeira é a representação da curva característica do ventilador. Na presente versão, o ventilador é representado por uma vazão fixa.

Durante os testes, detectaram-se diversos problemas com relação à convergência do método implementado, para alguns casos o programa não converge para a solução de referência do programa do método de Cross (1936). Estes problemas de convergência devem ser estudados com mais detalhes.

Para representação de redes de ventilação de minas reais, com grande quantidade de ramais, faz-se necessária a criação de uma interface gráfica para visualização dos resultados. O uso de OpenGL pode ser um caminho para a implementação da interface.

REFERÊNCIAS

BREBBIA, C.A. & FERRANTE, A.J. (1983) *Computational Hydraulics*. Butterworths, London. 290p.

CROSS, H. (1936) *Analysis of flow in networks of conduits or conductors*. Bulletin 286, Engineering Experiment Station, University of Illinois. 32p.

GREGORY, W.S.; DUERRE, K.H. & BENNETT, G.A. (1976) *Ventilation systems analysis during tornado conditions*. Los Alamos scientific laboratory of the University of California, Technical Report LA-6293-PR. 19p.

HARTMAN, H.L.; MUTMANSKY, J.M.; RAMANI, R.V. & WANG, Y.J. (1997) *Mine ventilation and*

air conditioning. Third Edition. John Wiley & Sons, New York. 730p.

LINS, P.G.C.; ANDRADE JÚNIOR, F.S.; COSTA, J.M. & BOMFIM, T.S.B. (2008) Implementação

Multiplataforma de um Simulador Computacional de Redes de Ventilação de Mina. In 12º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2008, Porto de Galinhas, PE.

SERESHKI, F.; SAFFARI, A. & ELAHI, E. (2016) Comparison of mathematical approximation methods for mine ventilation network analysis. In *International Journal of Mining Science*, Vol. 2, No. 1, p.1-14.

WANG, Y. J. (1982) APPENDIX C - A Computer Program for Mine Ventilation Network Analysis. In: HARTMAN, H.L., et al. (eds.) *Mine Ventilation and Air Conditioning*. Second Edition. John Wiley & Sons, New York. P.751-771.

WANG, Y.J. & HARTMAN, H.L. (1967) Computer solution of three-dimensional mine ventilation networks with multiple fans and natural ventilation. In *International Journal of Rock*

Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Vol. 4, No. 2, p.129-154.

WANG, Y.J. & SAPERSTEIN, L.W. (1970) *Computer-aided solution of complex ventilation networks*. In *Trans. SME-AIME*, vol. 247, p.238-250.

WANG, Y.J. (1984) *A Non-linear Programming Formulation for Mine Ventilation Networks with Natural Splitting*. In *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, Vol. 21, No. 1, p.43-45.

NOSSA HISTÓRIA

RELATO DA NOSSA HISTÓRIA

Em agosto de 1969, a Associação Paulista de Geologia Aplicada (APGA), precursora da ABGE, realizava a 1ª Semana Paulista de Geologia Aplicada (1ª SPGA), ocasião que foi o centro convergente dos profissionais que se aventuravam pela nova área de aplicação da geologia à engenharia. O pioneirismo do evento ficou registrado nas palavras do Geólogo Murilo Ruiz, então presidente da APGA, dizendo na ocasião que *“a reduzida literatura de Geologia Aplicada em língua portuguesa será aos poucos substituída por uma documentação valiosa com a realização das futuras Semanas, que certamente obterão sucesso crescente na mesma medida em que nossos meios técnicos se convençam da necessidade de diálogo”*.

Os anais da 1ª SPGA contam com 33 trabalhos organizados em temas que representam de maneira objetiva as demandas técnicas da época. São eles: Geologia de Barragens, Geologia de Táludes, Geologia de Estradas e Ensino de Geologia Aplicada.

Ressaltando a importância dada desde o início ao ensino da geologia aplicada, ou da geologia de engenharia, apresentamos neste número da RBGEA a reedição do artigo que compôs o tema de ensino da 1ª SPGA, intitulado *“QUATRO PROBLEMAS SIMPLES DE GEOLOGIA APLICADA”*.

Além do seu significado histórico, apontando os quatro problemas simples de geologia aplicada, o texto apresenta uma interessante reflexão sobre a dificuldade de comunicação entre geólogos e engenheiros, ressaltando que, além da falta de uma linguagem comum, são diferentes também os enfoques dados por estes profissionais a um mesmo problema geotécnico.

Por fim, os autores oferecem sugestões para um currículo integrado, baseadas na periodização da oferta de disciplinas ao longo do curso de engenharia e de geologia, alternando entre eles apenas a ênfase e a intensidade dos conteúdos disciplinares.

Apesar das décadas que os separam, é possível estabelecer uma conexão direta entre este trabalho e o artigo *“PORQUE E COMO TORNAR O ESTUDO MAIS PARECIDO COM O TRABALHO”*, integrante do 4º Simpósio de Educação e Ensino (4º SEGE – 16º CBGE) e selecionado para ser publicado nesta edição. Mesmo com a diversidade dos argumentos, ambos são complementares e confluentes na ideia de que é através da educação, do ensino e da eficaz aprendizagem que se faz profissionais melhores e mais preparados para atuação na geologia aplicada ou, nos termos atuais, na Geologia de Engenharia e Ambiental.

QUATRO PROBLEMAS SIMPLES DE GEOLOGIA APLICADA

PAULO TEIXEIRA DA CRUZ

*Professor de Mecânica dos Solos da Escola Politécnica da USP e da Escola de Engenharia de Lins
Consultor da CESP para Solos e Geologia.*

NIVALDO JOSÉ CHIOSSI

*Professor de Geologia Aplicada da Escola de Engenharia de Lins
Geólogo da Promon na H-M-D Estudos e Planejamento do Metro de São Paulo*

RESUMO

Os autores apresentam quatro problemas que envolvem conhecimentos de Geologia e Mecânica das Rochas, com o intuito de mostrar a importância de se desenvolver uma Geologia Aplicada que, além de informar sobre os processos genéticos dos maciços rochosos, possibilite definir o comportamento destes maciços em termos de Engenharia. Pelo fato de problemas análogos já virem sendo estudados e discutidos em cursos normais de Engenharia, quando os mesmos se referem Mecânica dos Solos, os autores indagam em que níveis ou em que cursos tal natureza de problemas deveria ser abordada. Analisando de maneira sumária as várias opções que vem sendo adotadas em diferentes Escolas no tocante a este problema, são então resumidas as tendências mais gerais. Finalmente os autores propõem, em caráter experimental, um curriculum para um curso integrado de Mecânica dos Solos e Geologia Aplicada, curso este no qual as duas disciplinas não apenas pertenceriam ao mesmo Departamento, mas seriam ministradas simultaneamente ou alternadamente. A sugestão básica refere-se a um curso em Escola de Engenharia. Para Escolas de Geologia a sugestão seria bastante semelhante fazendo-se, entretanto, variar a ênfase e a intensidade nas duas disciplinas. Os autores ainda assinalam a conveniência de se desenvolver determinados aspectos do problema em nível de Pós-Graduação.

INTRODUÇÃO

Um lance rápido sobre várias obras ligadas a aproveitamentos hidroelétricos, abertura e duplicação de rodovias e estabilização de encostas, já em construção, em fase de projeto ou apenas em termos prioritários, programados para os próximos 10 a 20 anos, permitiria identificar entre

outras, no campo de barragens (e somente nas Regiões Centro-Sul e Sul do país), as seguintes obras: barragens de Promissão, Três Irmãos, Ilha Solteira, Taquaruçu, D. Francisca, Canoas, Capivara, Água Vermelha, Itaúba, Passo Real, Salto Santiago, Passo Fundo, Salto Ozório, Cerrito, Segredo, Ponte Nova, Jaguari, Capivari-Cachoeira, Encruzilhada, Lança e Laras.

No campo das rodovias, bastaria citar a proposta duplicação da Rodovia São Paulo-Paraná, a Estrada do Imigrante, a Rio-Santos, a continuação da Rodovia Castelo Branco e as várias ligações entre o Vale do Paraíba e o Litoral.

No campo da estabilização de encostas, lembraríamos os escorregamentos verificados em Santos, Rio de Janeiro, na Serra das Araras, na estrada Paraibuna-Caraguatatuba e os movimentos quase permanentes que se verificam ao longo das estradas que cortam a Serra do Mar, tais como os escorregamentos da Via Anchieta e os da ligação São Paulo-Curitiba.

Dizer da importância que assumem a Geologia Aplicada e a Mecânica dos Solos, nestas obras seria repetir o óbvio. A experiência acumulada nestes últimos anos tem mostrado que tanto a Geologia, como a Mecânica dos Solos, muitas vezes desenvolvida por Geólogos, no primeiro caso e Engenheiros, no segundo caso, tem se preocupado e contribuído de maneira importante, na formulação e na solução de problemas ligados a natureza das obras acima enunciadas. Nota-se, no entanto, que existe por parte destes profissionais a falta de uma linguagem comum. Esta deficiência leva às vezes, a dificuldades de um entendimento que poderia ser explicado, considerando-se os fatores básicos seguintes:

- Elaboração por parte dos Geólogos, de relatórios "Ultra Geológicos";
- Desconhecimento pelos Engenheiros Civis da Aplicação da Geologia em vista da natureza dos cursos de Geologia ministrados para Engenheiros, cujos currículos, muitas vezes, podem ser considerados inadequados e até superados.

No primeiro caso, a falta de objetividade e praticidade do Relatório Geológico se manifesta através de descrições não objetivas, onde são abordadas frequentemente e até cansativamente (para o engenheiro) teorias genéticas, datações geológicas, mineralogia exaustiva, por um lado, mas ao mesmo tempo, generalizações extremas, como por exemplo, a identificação de uma rocha como sendo muito fraturada ou ainda uma outra como estando mais ou menos alterada.

No segundo caso, em vista da falta de conhecimentos geológicos pelos engenheiros, muitas vezes, torna-se difícil uma visualização e uma compreensão da aplicação da Geologia.

Esta falta de linguagem e, além disso, diferença de enfoque, leva muitas vezes, a nos depararmos com problemas que envolvem tanto Solos como Geologia e que muitas vezes não são resolvidos da maneira mais satisfatória, porque nem os Geólogos são capazes de resolver o problema globalmente e nem os Engenheiros são capazes de elucidar as implicações da Geologia.

A nosso ver, um primeiro passo no sentido de integrar estas duas áreas da Engenharia Civil, seria aquele de introduzir nas Escolas de Engenharia, cursos adequados de Geologia Aplicada e por outra parte, nas Escolas de Geologia, cursos de Mecânica dos Solos.

QUATRO PROBLEMAS SIMPLES DE GEOLOGIA APLICADA

A seguir são mostrados quatro problemas que envolvem conhecimentos de Geologia Aplicada e Mecânica das Rochas.

1) No primeiro problema temos o caso de uma barragem de terra assente sobre uma espessa camada de rocha, que apresenta planos preferenciais de percolação de água. A situação crítica seria aquela que levaria ao levantamento da área

de jusante da barragem devido a um excesso de sub-pressões num determinado plano. Suponhamos que as pressões nesse plano, a uma profundidade H , têm um valor equivalente a z metros de água. Uma vez que o peso do maciço rochoso seja superior ao empuxo resultante desta sub-pressão, há uma condição de equilíbrio, O problema que se propõe seria de que esta sub-pressão atuante no plano 0-0 pudesse se transmitir em parte, ao plano superior 0'-0' e provocar uma condição de instabilidade neste plano superior, A questão básica seria de se poder definir como esta pressão se transmite de um plano ao outro, através de um estudo do sistema de fissuramento em planos verticais que ocorresse neste tipo de rocha.

Se não se puder definir a contento esta transmissão de pressões a cotas mais elevadas, o projetista poderá ser levado à adoção de uma solução alternativa, tal como uma injeção de cimento a montante o que pode representar um custo elevado, e que poderia ser evitado se os problemas de infiltração de água nesse maciço rochoso fossem convenientemente definidos.

2) No problema 2 encontramos uma super-estrutura de concreto, apoiada sobre o maciço rochoso formado por uma sucessão de derrames de basalto. Os planos de contato entre os derrames ou os planos de diaclases ou fissuras deste maciço rochoso, se apresentam em cotas diferentes e com diferentes valores de resistência ao cisalhamento, Equacionando-se as forças horizontais atuantes nesta estrutura (de uma maneira simplificada) verificamos que poderá ocorrer um deslocamento da estrutura para jusante, tanto no plano superior do contato concreto-fundação, como em planos inferiores.

Se a resistência ao cisalhamento nestes planos, puder ser convenientemente definida, poder-se-á limitar a escavação da fundação e seu reenchimento com concreto à menor cota, ou seja, aquele plano que representa o coeficiente de segurança mínimo aceitável, O desconhecimento do mecanismo de resistência ao cisalhamento da rocha, nestes vários planos, poderá levar o projetista a escavações relativamente profundas ou ainda a adoção de uma série de sistemas de injeções, ou de chumbamentos que representam, tanto um maior tempo de construção, como um custo elevado.

3) No problema 3, encontramos um túnel aberto em maciço rochoso. Este túnel é revestido

com uma camada de concreto e será submetido a pressões internas, correspondentes a uma determinada coluna d'água. Entre o concreto e a rocha serão procedidas injeções de colagem e preenchimento.

Se parte desta pressão interna transmitida ao revestimento de concreto, puder ser absorvida pela rocha, sendo transmitida pela injeção de colagem, este revestimento poderá ser reduzido, o que implica num menor custo e também num menor tempo de execução. A determinação dos módulos de elasticidade destes três materiais seria fundamental para se definir as parcelas de pressão absorvidas por cada um dos materiais. Se estas propriedades mecânicas não forem conhecidas, o projetista poderá ser levado à adoção de um revestimento blindado, que certamente seria mais caro.

4) O último problema se refere à abertura de um Canal num maciço rochoso, com capeamento de solo. As heterogeneidades deste maciço rochoso, bem como o seu sistema de diaclases, poderão levar à abertura deste Canal com taludes instáveis. A adoção de um talude estável a priori, que levasse em conta todas as probabilidades de fatores desfavoráveis poderá tornar a obra antieconômica. Por outro lado, a abertura de taludes excessivamente íngremes, poderia levar a surpresas desagradáveis. O problema, portanto, exigiria um conhecimento adequado do tipo de material e de suas propriedades mecânicas, para que os princípios teóricos de estabilidade de taludes, pudessem ser considerados.

Associada ainda a este problema do Canal, estaria a definição ou o estudo do comportamento deste maciço rochoso durante o tempo e submetido à erosão provocada pela incidência de chuvas e mesmo à erosão na base resultante da oscilação sistemática do nível d'água.

Estes quatro problemas simples são aqui introduzidos para mostrar a importância de se desenvolver uma Geologia Aplicada, que além de poder informar sobre os processos formativos dos maciços rochosos, sua história, e seu desenvolvimento em eras geológicas, possa chegar à definição, num ponto (por assim dizer) do comportamento em termos de Engenharia destes maciços, quando submetidos aos tipos de solicitação elucidados.

Ora, problemas semelhantes da mesma natureza, já veem sendo estudados e discutidos em cursos normais de Engenharia, quando os mesmos se referem à Mecânica dos Solos. O problema portanto, seria de se perguntar em que níveis ou em que cursos tal natureza de problemas deveria ser abordada, uma vez que este tipo de problemas, certamente poderão ocorrer simultânea ou isoladamente, nas inúmeras obras ligadas a aproveitamentos hidroelétricos, rodovias e a estabilização de encostas, já citados na Introdução deste trabalho.

SOBRE UM CURRÍCULO PARA UM CURSO INTEGRADO DE MECÂNICA DOS SOLOS E GEOLOGIA APLICADA

Analisando de maneira sumaria as várias opções que vêm sendo adotadas em diferentes Escolas no tocante a este problema, poderíamos enunciar quatro enfoques que resumiriam as tendências mais gerais:

1) As disciplinas de Mecânica dos Solos e de Geologia são integradas e ficam associadas ao(s) Departamento(s) de Engenharia Civil das várias Escolas, e mesmo num caso extremo poderiam chegar a se constituir num Departamento a parte, de Solos e Geologia.

2). As disciplinas de Geologia e Mecânica dos Solos, são ministradas numa mesma Escola, mas em níveis diversos, uma vez que a Geologia é considerada disciplina fundamental e portanto incluída nos primeiros anos (biênio fundamental), enquanto que as disciplinas de Mecânica dos Solos, são consideradas de aplicação e são ministradas nos últimos anos do curso.

3) Tem-se reconhecido a necessidade de introduzir nas Escolas de Geologia, cursos fundamentais de Mecânica dos Solos e vice-versa. A disciplina de Solos assume então um caráter de disciplina autônoma nas Escolas de Geologia, podendo ocorrer o mesmo com as disciplinas de Geologia nas Escolas de Engenharia.

4) No curso normal para Escolas de Engenharia deveria ser apenas ministrada a disciplina de Geologia Fundamental, bem como, disciplinas relacionadas com os fundamentos de Mecânica dos Solos, deixando-se para o nível de Pós-Gra-

duação, a discussão de problemas específicos que seriam incluídos em disciplinas tais como: Mecânica dos Solos Avançada (Complementos de Mecânica dos Solos), Aplicações da Mecânica dos Solos, Geologia Aplicada e Mecânica das Rochas.

Nossa posição no tocante ao ensino de disciplinas de Geologia Aplicada se inclui melhor na primeira das alternativas acima enunciadas. Reconhecemos, no entanto, a importância de em cursos de Pós-Graduação bem formulados, a necessidade de se introduzir disciplinas adiantadas tanto em Solos, como em Geologia, mesmo porque dentro do atual conceito de formação de Engenheiro Civil, não se deve pretender que os Engenheiros formados numa grande gama de áreas específicas, possam chegar a alguma especialização, quer neste, quer naquele campo. A ideia, de se associar disciplinas de Geologia e Mecânica dos Solos, se deve ao fato de que estes dois materiais são “parentes” extremamente próximos e que entre os solos, propriamente ditos e as rochas, propriamente ditas, existe toda uma faixa de transição, de rochas alteradas e solos ainda com vestígios da rocha-mãe, que são estudados numa e noutra disciplina, mas com ênfase diversa.

O que se propõe a seguir é feito em caráter experimental e mesmo submetido a discussão neste Seminário, uma vez que ele resulta de algumas experiências didáticas nestes campos, dos autores deste trabalho, mas também de alguma especulação em torno do tema.

A nosso ver, as disciplinas de Solos e Geologia não deviam apenas pertencer ao mesmo Departamento, mas deveriam ser ministradas simultaneamente ou alternadamente. Desta forma, o aluno seria levado a compreender a interligação destes dois tipos de formações naturais e aprenderia, se possível, a resolver os quatro problemas simples enunciados neste trabalho.

Como sugestão básica para um curso de Escola de Engenharia teríamos a propor que o curso deveria ser dividido em várias partes.

No caso de currículos para Escolas de Geologia, a sugestão seria bastante semelhante, fazendo-se variar, no entanto, a ênfase e a intensidade nas disciplinas de Solos e Geologia, envolvidas.

PRIMEIRA PARTE - CONHECIMENTOS BÁSICOS DE SOLOS E GEOLOGIA (1SEMESTRE)

- Origem e Evolução de Solos e Rochas
- Caracterização e Identificação de Solos e Rochas
- Ensaio básicos de laboratório e campo
- Classificação mineralógica e textural de Rochas
- Classificações gerais de Solos
- Alteração, Desagregação e Fraturamento de Rochas
- Propriedades Básicas de Solos e Rochas, associadas a características de classificação e identificação
- Investigações de sub-solos e Métodos de Prospecção
- Aerofoto interpretação: Poços e Trincheiras; Sondagens (trado, percussão, rotativa); Sondagens Especiais; Métodos sísmicos, elétricos, gravimétricos.
- Estruturas de Solos” e “Estruturas de Rochas”
- Intemperismo; Processos Pedológicos; Laterização.

SEGUNDA PARTE - PROPRIEDADES DE ENGENHARIA DE SOLOS E ROCHAS (1SEMESTRE)

- Conceitos Teóricos de Permeabilidade, Deformabilidade e Resistência ao Cisalhamento
- Conceitos Teóricos de meios contínuos e meios descontínuos
- Homogeneidade e Heterogeneidade de Formação de Solos, Alterações de Rocha; Diferenciação de Rocha e Maciço Rochoso; Anisotropias.
- Permeabilidade de Solos e Rochas - Técnicas de Ensaio
- Características de Compressibilidade e Expansibilidade de Solos e Rochas - Técnicas de Ensaio
- Características de Resistência ao Cisalhamento de Solos e Rochas - Técnicas de Ensaio
- Equilíbrio de Maciços
- Pressões Laterais
- Pressões em Túneis e Galerias em Solos e Rochas

TERCEIRA PARTE - APLICAÇÃO DE CONHECIMENTOS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS À SOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE ENGENHARIA (2 SEMESTRES)

1. Fundações

- Fundações Rasas e Profundas
- Escolha de Tipos de Fundações
- Projetos de Fundações
- Recalques de Fundações

2. Rebaixamento do lençol freático

- Métodos de Rebaixamento
- Hidrogeologia
- Sub-pressões

3. Obras de terra

- Escoramentos de Valas e Estacas-Prancha
- Aterros sobre Solos Moles
- Cortes e Estabilização de Taludes Naturais em Solos e Rochas, Classificação de Escorregamentos; Causas; Taludes em Solos e Rochas; Drenagens, Tratamentos Superficiais
- Muros de Arrimo

4. Barragens

- Estabilidade de Maciços Compactados e Enrocamentos
- Fundações em solos
- Fundações em Rochas
- Sistemas de Drenagem
- Sistemas de Vedação
- Injeções de Cimento e outros produtos
- Pesquisas de Materiais de Construção, Pedreiras; Portos de cascalho e areia; agregados para concreto, áreas de empréstimo
- Técnicas Construtivas
- Projetos de Barragem

QUARTA PARTE - PROBLEMAS ESPECIAIS DE MECÂNICA DOS SOLOS E MECÂNICA DAS ROCHAS

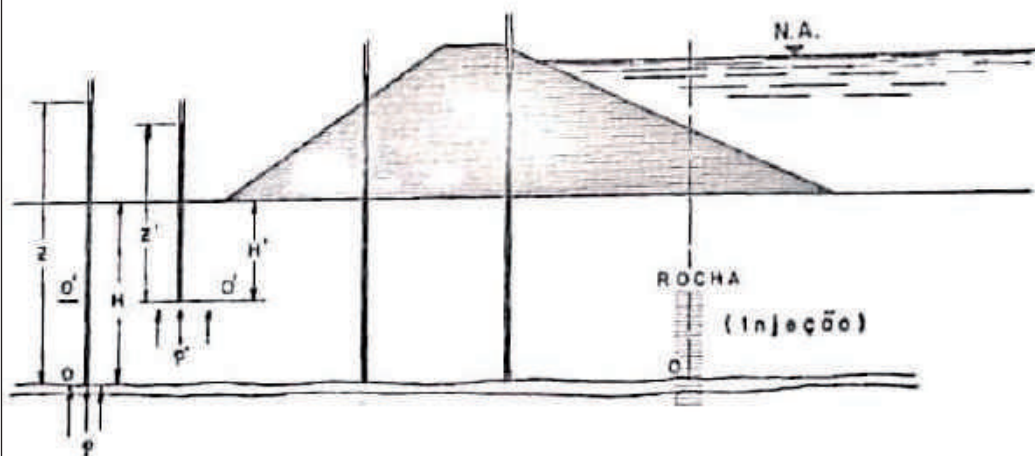
- Abertura de Canais em solos moles; em alteração de rocha; em rochas
- Estudos de Projetos Reais, tanto de Fundações, como Obras de Terra
- Análise de “Case Histories”
- Fundações de Máquinas
- Problemas Construtivos de Túneis em Solos e Rochas
- Análise de Problemas que ocorrem na construção de metropolitanos
- Interrelação de projetos de Mecânica dos Solos e Geologia com outras obras civis que ocorrem no mesmo canteiro de obra.

Observação: Esta quarta parte do curso, poderá envolver também estágios em obras, preparo de uma dissertação ou mesmo de uma tese. A própria natureza dos problemas desenvolvidos, viria sugerir que esta parte do curso, seria melhor desenvolvida, já em nível de Pós-Graduação. Ela é aqui incluída, apenas no sentido de complementar as três partes anteriores e de mostrar a importância de se discutir já em nível escolar, problemas reais da Engenharia.

Gostaríamos de salientar finalmente que as sugestões acima indicadas dizem respeito especificamente à Geologia Aplicada à parte de Engenharia Civil e não interfere em outros setores da Geologia, que se voltam por exemplo, para Engenharia de Minas, Petrografia, Geologia Econômica, Prospecção, etc.

Deixamos claro que a formação de engenheiros em outras áreas, bem como de geólogos, deverá necessariamente incluir aquelas disciplinas ligadas a Geologia e que tratam especificamente daqueles assuntos da sua própria formação profissional. Em outras palavras significa que esta proposta de um currículo integrado de Solos e Geologia não elimina as outras disciplinas usualmente ministradas em outros anos, com objetivos bem determinados.

PROBLEMA 1
SUB-PRESSÃO



$$\begin{cases} p = \gamma_o \cdot z \\ \sigma_r = \gamma \cdot H \end{cases}$$

SE $\sigma_r > p - c$ HÁ EQUILIBRIO

SE $\sigma_r \leq p - c'$ PODE HAVER RUPTURA

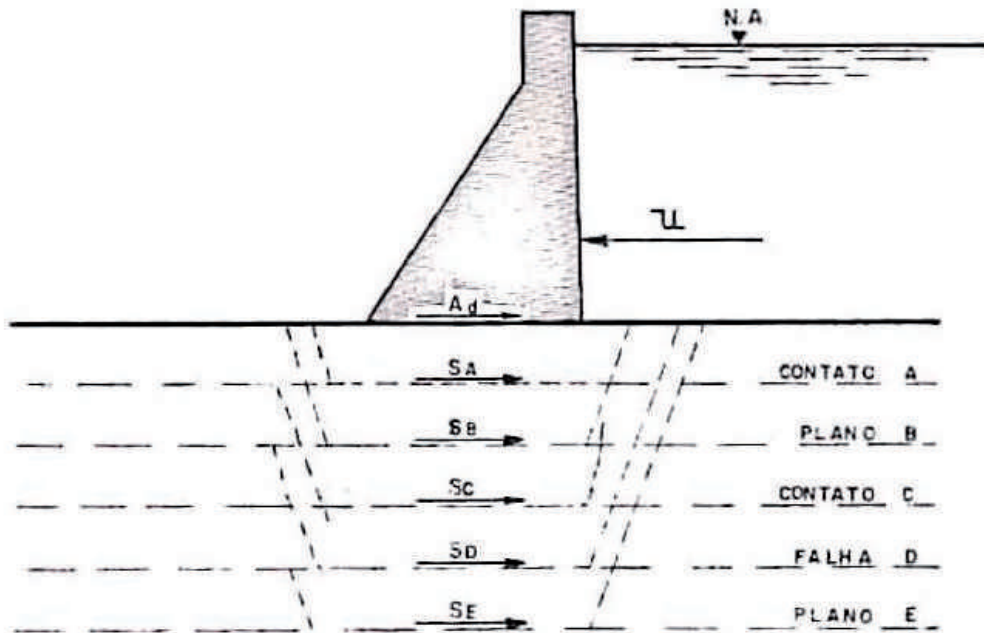
a) - A PRESSÃO p PODE TRANSMITIR-SE A UM PLANO SUPERIOR?

b) - QUAL A PERDA DE CARGA QUE OCORRE NESTA TRANSMISSÃO?

c) - HÁ PERIGO DE LEVANTAMENTO (RUPTURA) NO PLANO $o'-o'$?

— ALTERNATIVA - INJEÇÃO DE CIMENTO A MONTANTE

PROBLEMA 2
ESTABILIDADE



há equilíbrio se $U \leq S + F$

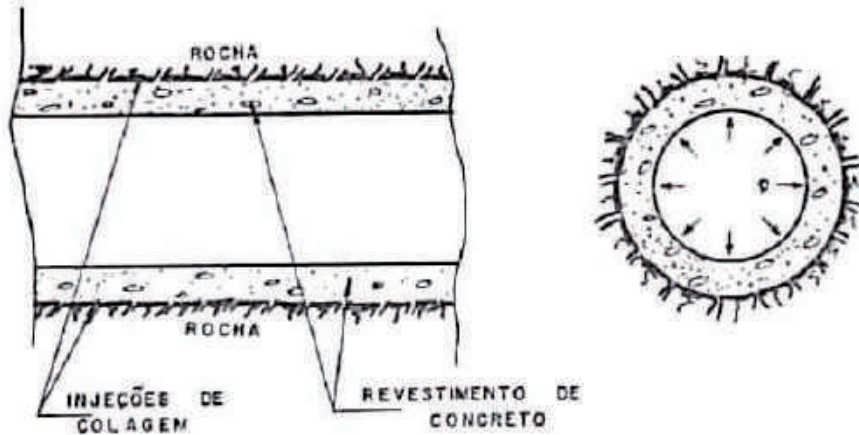
a)- QUAIS OS VALORES DE Ad , SA ; SB ; SC ; SD ; SE ?

b)- QUAL A PROFUNDIDADE MÍNIMA DE ESCAVAÇÃO NECESSÁRIA PARA EQUILÍBRIO ?

— ALTERNATIVA - REMOÇÃO DE 2 CAMADAS ATÉ ROCHA Sã (?) E RE-ENCHIMENTO COM CONCRETO.

PROBLEMA 3

TUNEL



$P = p_{concr.} + p_{ench.} + p_{rocha}$ EQUILÍBRIO

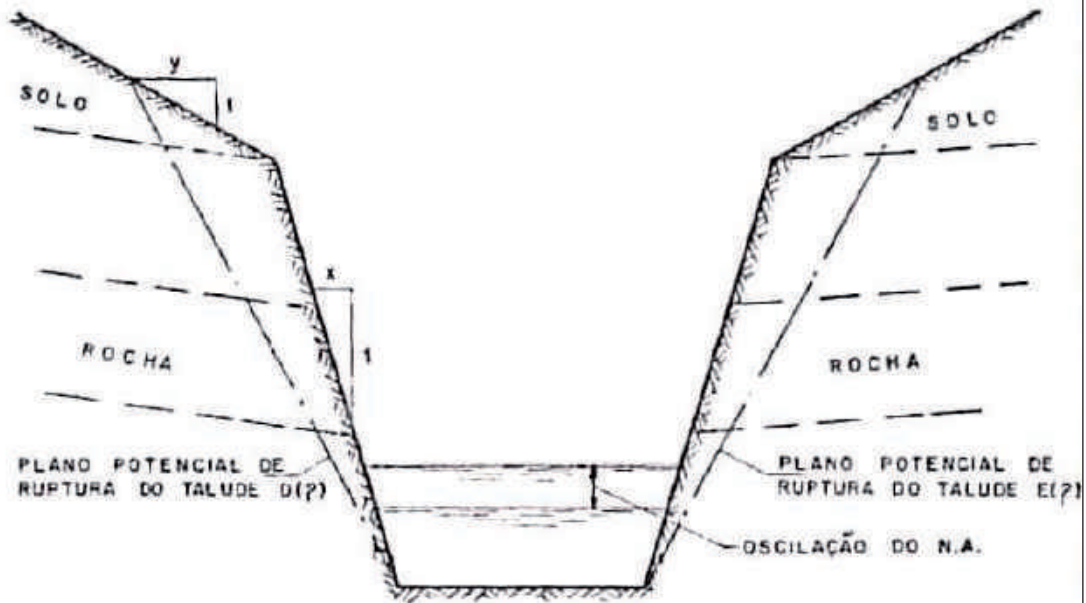
$p_{concr.} = f(E_{concr.}) \quad p_{ench.} = f(E_{ench.}) \quad p_{rocha} = f(E_{rocha})$

- a)- QUAIS OS VALORES DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE DOS 3 MATERIAIS ?
- b)- QUAIS AS PARCELAS DE PRESSÃO ABSORVIDAS PELOS 3 MATERIAIS ?
- c)- QUAL A ESPESSURA MÍNIMA DE REVESTIMENTO E QUAL A FERRAGEM MÍNIMA ?

— ALTERNATIVA - REVESTIMENTO BLINDADO

PROBLEMA 4

CANAL



a) - QUAL O VALÔR DE X ? - E O VALÔR DE Y ?

b) - SE $x = x_1$ VOLUME DE ESCAVAÇÃO = V_1 E $F = F_1$
 " $x = x_2$ " " " = V_2 E $F = F_2$

c) - $V_2 - V_1$ = DIFERENÇA DE CUSTO PARA AUMENTAR
 O COEFICIENTE DE SEGURANÇA DE $F_2 - F_1$

CONTRIBUIÇÕES E REFLEXÕES

A RBGEA abre esse espaço para que os membros de nossa comunidade tenham divulgados suas ideias, pensamentos e opiniões sobre temas e assuntos relacionados à Geologia de Engenharia e Ambiental.

Esperamos com estes textos iniciar debates e discussões e por isso questionamentos, perguntas, opiniões serão muito bem vindas.

■ GEOLOGIA DE ENGENHARIA: ■ A GEOCIÊNCIA APLICADA QUE VÊ O HOMEM ■ ENQUANTO AGENTE GEOLÓGICO

ENGINEERING GEOLOGY: THE APPLIED GEOSCIENCE THAT SEES MAN
AS A GEOLOGICAL AGENT

ÁLVARO RODRIGUES DOS SANTOS
Geólogo, ARS Geologia Ltda

Felix qui potuit rerum cognoscere causas.

Feliz o que pode conhecer as causas das coisas.

(elogio de Virgílio àqueles que pesquisam os fenômenos da Natureza)

Palavras chave: geologia de engenharia, responsabilidade profissional, quadro fenomenológico

Keywords: engineering geology, professional responsibility, phenomenological framework

SOBRE A MISSÃO E A PRÁTICA DA GEOLOGIA DE ENGENHARIA

Mesmo constituindo-se em uma das geociências aplicadas de maior e crescente importância para o sucesso dos empreendimentos humanos no planeta, e para o sucesso da própria Humanidade como espécie, a Geologia de Engenharia ainda é pouco conhecida do grande público e até de setores técnicos próximos, especialmente no que se refere à sua conceituação, sua vinculação científica principal e seu raio de ação.

Entre os campos de aplicação da Geologia destacam-se a Geologia Econômica, que tem por missão a busca e a lavra de todos os recursos minerais de interesse do Homem (aí inclusos todos os tipos de minérios, o petróleo, o gás natural, a água subterrânea), e a Geologia de Engenharia, cuja missão maior é compatibilizar tecnicamente toda intervenção do Homem no planeta com as características geológicas naturais (o ambiente geológico) de cada região ou local afetado.

A IAEG (International Association for Engineering Geology and the Environment), refletindo o crescimento exponencial dos problemas ambientais em todo o mundo, atualizou sua conceituação epistemológica oficial para Geologia de Engenharia, a qual consta de seus estatutos e já dos estatutos da ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental):

“Geologia de Engenharia é a ciência dedicada à investigação, estudo e solução dos problemas de engenharia e meio ambiente decorrentes da interação entre as obras e atividades do Homem e o meio físico geológico, assim como ao prognóstico e ao desenvolvimento de medidas preventivas ou reparadoras de riscos geológicos”.

De uma forma concisa, podemos entender a “Geologia de Engenharia como a Geociência Aplicada responsável pelo domínio tecnológico da interface entre a atividade humana e o meio físico geológico”.

A Geologia de Engenharia, por outro lado, integra, com a Mecânica dos Solos e com a Mecânica das Rochas, alimentando-se reciprocamente, o grande campo da Geotecnia, o qual reúne todo o ferramental científico e tecnológico para o mais correto equacionamento, dimensionamento e execução de obras de engenharia no que diz respeito às suas relações com os terrenos e materiais naturais com os quais interferem.

Em que pese o uso de informações geológicas para o benefício do Homem ser já muito antigo, desde mesmo o tempo das cavernas como abrigo e moradia, a Geologia de Engenharia, como uma geociência aplicada sistematizada e individualizada, é relativamente recente. No Brasil, sua introdução e desenvolvimento deram-se especialmente a partir do final da década de 50, como consequência do surto de construção de grandes obras de infraestrutura no país.

A partir de meados dos anos 70, a Geologia de Engenharia brasileira, já considerada destacadamente em todo o mundo por sua alta qualidade, amplia consideravelmente seu campo de ação objetivando o diagnóstico e a solução dos graves problemas de ordem regional e ambiental que atingem o país. Com isso assumindo suas fundamentais e insubstituíveis responsabilidades no suporte técnico-científico ao preceito conceitual do desenvolvimento sustentado, qual seja, o desenvolvimento provedor de qualidade de vida no planeta para esta e para as gerações futuras.

Para o atendimento de suas necessidades (energia, transporte, alimentação, moradia, segurança física, saúde, comunicação...), o Homem é inexoravelmente levado a ocupar e modificar espaços naturais das mais diversas formas (cidades, indústrias, usinas elétricas, estradas, portos, canais, agropecuária, extração de minérios e madeira, disposição de rejeitos ou resíduos industriais e urbanos...), fato que já o transformou no mais poderoso agente geológico hoje atuante na superfície do planeta.

Por outro lado, não há intervenção humana no meio físico geológico natural que não provoque algum tipo de desequilíbrio. O corte em uma encosta, o peso de uma barragem, o vazio provocado pela escavação de um túnel, a impermeabilização do solo causada pela cidade, o rebaixamento forçado do lençol d'água subterrâneo, o desmatamento de uma região; enfim, ao modificar as condições naturais pré-existentes o homem está interferindo em um estado de equilíbrio dinâmico natural.

Como resposta à ação do desequilíbrio há uma mobilização de forças naturais orientadas, como reação, a buscar um novo estado de equilíbrio. Caso esse empenho de busca de um novo equilíbrio se dê isoladamente pela própria Natu-

reza, as consequências para o homem costumam ser catastróficas: acidentes locais como deslizamentos, o rompimento de uma barragem, o colapso de uma ponte, a ruptura de um talude, avarias e acidentes em fundações, recalques de terrenos, colapso de obras subterrâneas, patologias estruturais, por exemplo, ou problemas regionais como o assoreamento de um rio, de um reservatório, de um porto, inundações, a contaminação de solos e de águas subterrâneas, consequências extremamente onerosas social e financeiramente, e muitas vezes trágicas no que diz respeito à perda de vidas humanas.

Para que essas consequências negativas não aconteçam é necessário que o homem conheça e entenda perfeitamente as características e processos naturais do meio geológico em que está interferindo, de tal forma a melhor adequar seus projetos e estabelecer, ele próprio, uma indispensável condição de equilíbrio entre empreendimento e forças naturais.

Fornecer informações para que essas ações humanas levem corretamente em conta o fator geológico, garantindo então seu êxito técnico/econômico/social e evitando as graves consequências referidas, constitui o objetivo essencial da Geologia de Engenharia (GE).

É indispensável, nesse contexto, que o geólogo conheça exatamente quais os tipos mais comuns de solicitação que os diferentes empreendimentos (barragens, estradas, minerações, cidades, metrô, aterros sanitários, agropecuária) impõem aos terrenos, o que lhe permitirá orientar e objetivar as investigações que se seguirão e a comunicação de seus resultados.

De outra parte, é fundamental para o sucesso das operações de engenharia que estas se apoiem em um perfeito casamento entre a solução adotada, as características geológicas dos terrenos e materiais afetados e os processos geológico-geotécnicos naturais ou eventualmente provocados pela implantação de um pretendido empreendimento. Daí a essencial importância da exatidão do diagnóstico fornecido pelo geólogo de engenharia, no âmbito do qual devem estar descritos todos os fenômenos que podem ser esperados da interação solicitações/meio físico geológico. Ou seja, a GE tem uma abordagem técnica essencialmente fenomenológica.

Por outro lado, a GE só conseguirá cumprir cabalmente essa responsabilidade, e assim ser útil à Engenharia e à sociedade em um sentido mais amplo, na medida em que não se descole de suas raízes disciplinares, de sua ciência-mãe, a Geologia, o que significa exercitar e priorizar seu principal instrumento de trabalho, o raciocínio geológico. Essa precaução a fará sempre ter como ponto de partida a consciência de que qualquer ação humana sobre o meio fisiográfico interfere, não só limitadamente, em matéria pura, mas significativamente, em matéria em movimento, ou seja, em processos geológicos, sejam eles menos ou mais perceptíveis, sejam eles mecânicos, físico-químicos ou de qualquer outra natureza, estejam eles temporariamente contidos ou em pleno desenvolvimento.

SOBRE AS RELAÇÕES DA GEOLOGIA DE ENGENHARIA COM A ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Compreende-se assim a extrema importância de geólogos e engenheiros (e arquitetos e urbanistas, especialmente nos casos de edificações e problemas urbanos) comungarem perfeito entendimento sobre a natureza e fundamentos de suas responsabilidades específicas no desenvolvimento de projetos de engenharia em sua prática profissional. Será sempre a mais exata compreensão dessas diferentes responsabilidades que permitirá o indispensável convívio harmonioso e complementar entre as duas categorias profissionais.

Em sã consciência não há hoje quem ponha em dúvida a fundamental importância dos projetos de engenharia, ou quaisquer outras intervenções humanas sobre o planeta, levarem em plena consideração as características geológicas dos terrenos por eles afetados. Entretanto, são ainda comuns no ambiente geotécnico brasileiro dúvidas e desconfortos muito grandes sobre como deve desenvolver-se na prática profissional real essa indispensável interação entre a Geologia e a Engenharia; em nosso caso, mais precisamente entre a Geologia de Engenharia e a Engenharia Geotécnica.

Em não raros casos essa dificuldade explica-se ainda em visões limitadas e preconceitos menores de parte a parte, mas não há dúvida que fundamentalmente é o desconhecimento teórico sobre

como devem metodologicamente interagir essas duas geotecnologias aplicadas que se impõe como o principal fator limitante de um trabalho mais rico e resolutivo entre os profissionais envolvidos.

De início, é importante firmar alguns conceitos de partida. O grande campo da Geotecnia é composto basicamente pela Engenharia Geotécnica (EG) e pela Geologia de Engenharia (GE). Partem, portanto, dessas duas geotecnologias os conhecimentos necessários a levar a bom termo qualquer empreendimento humano que interfere diretamente no meio físico geológico, ou que usa materiais geológicos naturais como elementos construtivos.

Importante nesse contexto interdisciplinar entender que ainda que em todas as fases de um empreendimento, do projeto à sua execução, deva existir sempre um sadio e eficiente espírito de equipe, uma ação continuamente colaborativa e interdisciplinar entre as diversas modalidades profissionais atuantes, é fundamental que nunca se perca de vista a responsabilidade maior que uma modalidade deva exercer, e por ela responder, em cada atividade e em cada fase de trabalho.

Nas investigações geológico-geotécnicas que antecedem o Projeto e o Plano de Obra e se prolongam no período de obra e na própria operação do empreendimento, essa responsabilidade maior é da GE.

No entanto, é preciso que fique muito claro a todos que a missão da GE não se reduz a entregar à engenharia um arrazoado sobre a geologia local, a posição do NA, um punhado de perfis e seções geológicas e outro punhado de índices geotécnicos relativos aos diversos materiais presentes. Como já vimos, o trabalho da GE transcende essa limitada e apequenada visão meramente descritiva e parametrizadora, ainda infelizmente bastante comum entre geólogos executantes e engenheiros geotécnicos demandantes.

A abordagem da GE é essencialmente fenomenológica. Todos os dados e informações anteriormente mencionados são muito importantes, mas o produto final e essencial das investigações geológico-geotécnicas na fase anterior ao Projeto e ao Plano de Obra é um Quadro Fenomenológico onde todos esses parâmetros não estejam soltos ou isolados, mas sim associados e vinculados a esperados comportamentos do maciço e dos materiais afetados pelas futuras solicitações da obra.

Ou seja, a missão maior da Geologia de Engenharia está em oferecer à Engenharia (lato sensu) um quadro completo dos fenômenos geológico-geotécnicos que podem ser esperados da interação entre as solicitações típicas do empreendimento que foi ou será implantado e as características geológicas (materiais e processos) dos terrenos por ele afetados. A esse quadro fenomenológico a GE junta suas sugestões de cuidados e providências que projeto e obra deverão adotar para ter esses fenômenos sob seu total controle.

Assim, todo o esforço investigativo da GE deve ser orientado, desde o primeiro momento, a propor, aferir, descartar e confirmar hipóteses fenomenológicas, de forma a, ao final, obter seu quadro fenomenológico.

A partir desse ponto, a GE entrega o bastão de comando (e responsabilidade maior) para a Engenharia Geotécnica, passando a assumir, nesta nova fase, o papel de apoio e complementação. Lembrando que a frente de obra sempre constituirá um locus privilegiado para a confrontação das hipóteses levantadas, para as investigações complementares que se mostrem necessárias e para o monitoramento dos parâmetros geológicos e geotécnicos envolvidos nos fenômenos identificados como possíveis.

Por seu lado, a Engenharia Geotécnica, entendida como a engenharia dedicada à resolução dos problemas associados às solicitações impostas pelos empreendimentos humanos ao meio físico geológico, tem como sua missão maior a definição final, em âmbito de Projeto e Plano de Obra, das soluções de engenharia e seus exatos dimensionamentos físicos e matemáticos, zelando, juntamente com a GE, pela plena compatibilidade e solidariedade entre as soluções adotadas e os fenômenos geológico-geotécnicos a que se relacionam.

Dentro desse entendimento, ainda que sempre no âmbito de um trabalho permanentemente solidário e colaborativo, será de total responsabilidade da Geologia de Engenharia qualquer problema que venha a acontecer e que decorra de fenômeno geológico-geotécnico que não tenha sido previsto, ou corretamente descrito, em seu quadro fenomenológico. Como será de total responsabilidade da Engenharia Geotécnica qualquer problema que ocorra pelo fato do projeto e/ou do plano de obra não ter levado em conta, e da maneira adequada, algum fenômeno potencial incluído no referido quadro.

SERRA FLUMINENSE EM 2011 E 2020

RIO DE JANEIRO MOUNTAINOUS REGION IN 2011 AND 2020

EDÉZIO TEIXEIRA DE CARVALHO

Eng. Geólogo, Consultor,
Ex-Professor da Universidade Federal de Minas Gerais

A serra Fluminense enfrentou em janeiro de 2020 evento pluvial talvez comparável, a ver, ao de 2011. Nesse, de 2011, uma das imagens que mais me impressionaram, embora ocupando pequeno espaço em Teresópolis, é a da igreja da Figura 01, completamente rodeada por uma neoformação geológica que podemos chamar *leque aluvial*. O leitor está vendo que a chuva mais intensa já passara e a parte geológica que acabava de nascer está aí, mostrando, talvez, algumas dezenas de metros cúbicos de material terroso areno-cascalhoso. Materiais mais finos como silte e argila já caíram fora, talvez a metade do material erodido lá no alto da serra. Agora convido o leitor, versado ou não em geologia, para conversar com ele sobre o que a imagem pode significar. Você está vendo o predomínio de cascalho e areia, não vê o material argiloso, mais puxado ao vermelho, que existe nas encostas não rochosas. Vamos imaginar que o material acumulado à volta do templo mais o que já se foi tivessem somados um volume total da ordem de 10 metros cúbicos, ou 10.000 litros. Admitamos que lá de onde vieram tivessem uma porosidade de 10%, ou seja, com capacidade total de 1.000 litros. Quer isto dizer que, se esse material não tivesse sido erodido, e em seguida descido, estaria lá no alto guardando 1000 litros de água a mais do que o lá existente no momento da tomada da foto acima.

Imaginemos agora que chuvadas parecidas tenham ocorrido desde o ano em que Dom Pedro subiu a serra para morar e implantou Petrópolis junto às demais cidades da área (Teresópolis, Nova Friburgo, Cachoeira de Macacus). Vamos ter de multiplicar aqueles 1000 litros perdidos naquele curto episódio pelo número anual de eventos pare-

cidos, pelo tamanho total da área daquelas cidades e pelos 200 anos a mais de ocorrências repetidas.

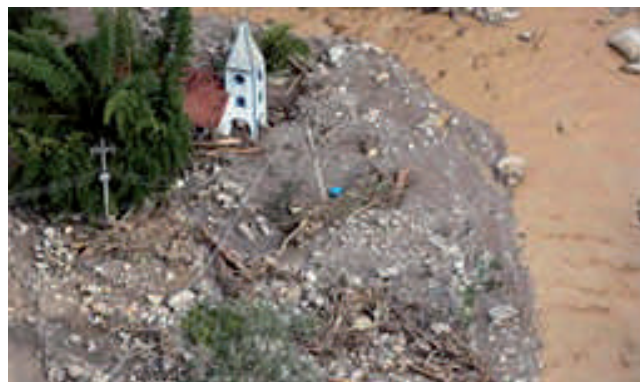


Figura 1. Igreja em Teresópolis afetada por movimento de massa em janeiro de 2011. Fonte: site de Internet.

Solo não é árvore, nem grama, que podem crescer para substituir o perdido. Aliás, uma lógica ambientalista que não pense na produtividade geológica da rocha para criar o solo, a ponto de nem considerar que o portador da água e nutriente da vegetação não precise de tempo (geológico) para ser renovado e substituir o que se foi, precisa mudar.

Precisamos, urgentemente, passar a pensar em inúmeras outras formas complementares de agir no sentido de interpretar o fenômeno geológico envolvido nisso tudo (coleta de águas pluviais para reduzir a erosão das áreas montanhosas, implantar a **mineração corretiva**¹, que traga de volta o solo perdido, e consideremos que a

¹ Simplificadamente desenvolvida no livro deste autor Morte e Vida São Francisco

velha Europa parece não saber muito a respeito daquilo que estou dizendo: Para ter certeza do que digo, está lá na revista *GEOScientist* da Geological Society of London Volume 29 no. 06, July 2019 o seguinte artigo: *"It's time to take notice of sand"*. Parecem querer apenas areia (pensando só em construção), quando em verdade precisamos de muito solo não só para conter inundações, ou pelo menos amenizá-las, mas para sustentar flora e fauna – componentes transitórios do sistema geológico, e armazenar água – componente itinerante do sistema geológico.

Os geólogos e engenheiros fluminenses sabem muito bem do que precisam fazer, mas preci-

sarão de toda ajuda possível do governo e povo fluminenses e brasileiro para ajudar a remover da legislação a monstruosidade legal contida no Código Florestal e em outros dispositivos legais, que resultam na perda de capacidade de armazenamento nas áreas elevadas (fato 1), no desastroso resultado do assoreamento global nos corpos d'água (fato 2), e finalmente. ignorando a irrenovabilidade, em termos práticos, do solo perdido, configurando evidente e inevitável degradação territorial (fato 3).