

**Felipe Santana Machado
Aloysio Souza de Moura
(Organizadores)**

EDUCAÇÃO, MEIO AMBIENTE E TERRITÓRIO 3

 **Atena**
Editora

Ano 2019

Felipe Santana Machado
Aloysio Souza de Moura
(Organizadores)

Educação, Meio Ambiente e Território 3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Karine de Lima

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista

Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall'Acqua – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Elio Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Profª Drª Gislene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice

Profª Drª Juliane Sant'Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E24 Educação, meio ambiente e território 3 [recurso eletrônico] /
Organizadores Felipe Santana Machado, Aloysio Souza de
Moura. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Educação,
Meio Ambiente e Território; v. 3)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-144-2

DOI 10.22533/at.ed.442192102

1. Divisões territoriais e administrativas 2. Educação ambiental.
3. Meio ambiente – Preservação. 4. Geologia. I. Machado, Felipe
Santana. II. Moura, Aloysio Souza de.

CDD 320.60981

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

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

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos
autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Território é um dos termos mais utilizados pela Geografia, pois está intimamente relacionado aos sistemas de formação e transformação do espaço geográfico. Esta definição pode variar segundo a corrente de pensamento, e ou da abordagem que se realiza, mas a concepção mais comumente acolhida, o relaciona ao espaço delimitado a partir de uma associação de poder, seja político, religioso entre outros.

Na atualidade, o termo território é contemplado, nas mais diversas pesquisas e abordagens, como um espaço demarcado pelo uso de fronteiras – desnecessariamente visíveis – e que se fixa a partir de uma expressão e imposição de poder, contudo, desigualmente das concepções anteriores, o território pode se mostrar em múltiplas escalas, não possuindo necessariamente uma natureza política, mas também climáticas, vegetacionais e edáficas. A obra “Educação, Meio ambiente e Território” apresenta uma série de livros de publicação da Atena Editora. Em seu terceiro volume, com 27 capítulos, enfatizamos estudos sobre território, com destaque aos estudos de solos e geotécnicos, a influência de estudos erosivos para manutenção de aspectos geológicos e geográficos, e uma série de estudos de viabilidade hídrica, tanto superficiais quanto subterrâneos.

Acreditamos ser extremamente oportuno apresentar um primeiro capítulo que aborde uma temática tão atual (Jan 2019), uma vez que o Brasil tem sofrido com inúmeros desastres ambientais por parte de mineradoras localizadas no estado de Minas Gerais que não tem a destinação correta para seus rejeitos. O desastre de Mariana em novembro de 2015 e mais recentemente o desastre de Brumadinho são considerados os maiores desastres desta categoria do Brasil, pois além das perdas humanas, afetou inúmeras cidades ao longo das bacias hidrográficas do Rio Doce e Vale do São Francisco, os deixou sem água potável, dizimou grande parte da biodiversidade, e gerou um grande impacto nos estados nos quais perpassaram com influências visíveis inclusive no oceano Atlântico.

E por fim, finalizamos esse volume apresentando informações sobre danos físicos ao ambiente, mitigação de impactos ambientais, bem como técnicas de sensoriamento remoto e análises multitemporais sobre áreas de cultivo e florestais. Dessa forma, conseguimos elencar uma grande gama de aspectos relacionados ao território que não foram antes mencionadas em trabalhos científicos de forma a construir uma base de exemplos/metodologias que podem ser seguidos(as) e utilizadas como base para tomada de decisão dentro das diferentes esferas governamentais e científicas.

Esperamos que esta obra possa contribuir com o conhecimento sobre o território e com artifícies ambientais para a sua preservação. Mesmo cientes da existência dos problemas mencionados nos diferentes capítulos, as informações normalmente são veiculadas de formas mais populares em detrimento de informações científicas. Isso interfere na opinião pública que ignora ou esquece problemas tão graves e que terão consequências ao longo de dezenas ou até centenas de anos. Acredita-se que

a informação presente nesse volume três possa estimular boas práticas que poderão ser disseminadas para evitar maiores problemas de ordem territorial e ecológica.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
VILA DE ITAPINA E OS LAÇOS COM O RIO DOCE: REGISTROS DE MEMÓRIA APÓS O ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE REJEITOS DE FUNDÃO (SAMARCO/VALE/BHP)	
Bianca Pavan Piccoli	
Maria Cristina Dadalto	
Patrícia Pavesi	
Sônia Missagia Matos	
Leonardo Nunes Aranha	
Douglas dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.4421921021	
CAPÍTULO 2	18
ASPECTOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS PARA IMPLANTAÇÃO DA BARRAGEM ITAÍBA NO ESTADO DE PERNAMBUCO	
Hosana Emilia Abrantes Sarmento Leite	
Rafaella Teixeira Miranda	
Maiara de Araújo Porto	
Túlio Martins de Lima	
Natália Milhomem Balieiro	
DOI 10.22533/at.ed.4421921022	
CAPÍTULO 3	35
ANÁLISE DO SOLO LOCALIZADO NA REPRESA DO RIO TAPAJOS NO MUNICÍPIO DE ITAITUBA	
Derek Leão Monteiro	
Eliana Costa Seabra	
Jamily Rocha de Araújo	
Wesley Leão Monteiro	
DOI 10.22533/at.ed.4421921023	
CAPÍTULO 4	41
ESTIMATIVA DA VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO SERRA GERAL EM BOA VISTA DAS MISSÕES - RS	
Willian Fernando de Borba	
Gabriel D'Ávila Fernandes	
José Luiz Silvério da Silva	
Bruno Acosta Flores	
Mirta Teresinha Petry	
Lueni Gonçalves Terra	
DOI 10.22533/at.ed.4421921024	
CAPÍTULO 5	49
LEVANTAMENTO DE SOLOS DO JARDIM BOTÂNICO DE PORTO ALEGRE	
Edsleine Ribeiro Silva	
Luis Fernando da Silva	
Paulo César do Nascimento	
DOI 10.22533/at.ed.4421921025	

CAPÍTULO 6 **57**

SUBSÍDIOS GEOLÓGICOS PARA O PLANEJAMENTO URBANO E AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE IGREJINHA/RS

Saulo Borsatto

Norberto Dani

Rafael da Rocha Ribeiro

Nelson A. Lisboa

DOI 10.22533/at.ed.4421921026

CAPÍTULO 7 **71**

USO DO XRF EM AMOSTRAS DE SOLO DA COMUNIDADE ILHA DIANA – SANTOS, SP

Larissa Felicidade Werkhauser Demarco

Alexandre Muselli Barbosa

Marcos Jorgino Blanco

Amanda Figueiredo Fonseca

Leonardo Silveira Takase

Luiza de Araújo João Sobrinho

Felipe Ian Strapasson Saldias

DOI 10.22533/at.ed.4421921027

CAPÍTULO 8 **79**

VERIFICAÇÃO DA ADESÃO EM SOLO GRAMPEADO OBTIDA ATRAVÉS DE ENSAIOS DE ARRANCAMENTO COMPARADOS COM MÉTODOS EMPÍRICOS

Rodrigo Rogério Cerqueira da Silva

DOI 10.22533/at.ed.4421921028

CAPÍTULO 9 **91**

PROCESSOS EROSIVOS HÍDRICOS LINEARES DOS TIPOS RAVINA E BOÇOROCA

Gerson Salviano de Almeida Filho

Geraldo Figueiredo de Carvalho Gama Júnior

DOI 10.22533/at.ed.4421921029

CAPÍTULO 10 **100**

COMPARED BACKGROUND AND REFERENCE VALUES IN SOURCES OF CADMIUM-ENRICHED SOILS FROM BRAZIL

Fernando Machado de Mello

Essaid Bilal

Gustavo Neves

Maria Eduarda Loureiro dos Reis Teodoro

Thiago Peixoto de Araujo

DOI 10.22533/at.ed.44219210210

CAPÍTULO 11 **113**

CORRELAÇÕES DE RESISTÊNCIA PARA ALGUMAS ROCHAS METAMÓRFICAS DO ESTADO DE MINAS GERIAS, SUDESTE DO BRASIL

Klinger Senra Rezende

Daniel Silva Jaques

Eduardo Antônio Gomes Marques

DOI 10.22533/at.ed.44219210211

CAPÍTULO 12 123

CARACTERIZAÇÃO DAS FRAÇÕES DE FÓSFORO NO SEDIMENTO SUPERFICIAL DOS RIOS ARACAÍ, CARAMBEÍ E GUAÇU NA CIDADE DE SÃO ROQUE/SP

Sâmia Rafaela Maracaipe Lima
Mainara Generoso Faustino
Eddy Bruno dos Santos
Tatiane Bernardino Seixas Carvalho da Silva
Maria Aparecida Faustino Pires
Marycel Elena Barboza Cotrim

DOI 10.22533/at.ed.44219210212

CAPÍTULO 13 137

ANÁLISE DAS RELAÇÕES IÔNICAS COMO PARTE DA ANÁLISE HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS À OESTE DO RIO GUANDU - BAIXADA FLUMINENSE - RJ

Isabela Martins Itabaiana
Décio Tubbs Filho
Patrick Aloe Teixeira

DOI 10.22533/at.ed.44219210213

CAPÍTULO 14 147

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DAS ÁGUAS E DOS SEDIMENTOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO AURÁ (RMB) ENTRE OS ANOS DE 2002 A 2018

Gilmar Wanzeller Siqueira
Fabio Marques Aprile
Arthur Araújo Ribeiro
Alda Lucia da Costa Camelo
Alzira Maria Ribeiro dos Reis
Maria Alice do Socorro Lima Siqueira

DOI 10.22533/at.ed.44219210214

CAPÍTULO 15 164

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE INTRÍNSECA A CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO EM SALVADOR DO SUL – RS

Jauana Marilise do Nascimento Riegel
Gabriel D'Ávila Fernandes
Pedro Daniel da Cunha Kemerich
José Luiz Silvério da Silva

DOI 10.22533/at.ed.44219210215

CAPÍTULO 16 171

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS INDICADORES DA QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS PARA FINS DE CONSUMO POTÁVEL NA CIDADE DE BELÉM-PA

Milene Pereira Mendes
Ronaldo Lopes Rodrigues Mendes

DOI 10.22533/at.ed.44219210216

CAPÍTULO 17 180

DETERMINAÇÃO DA CURVA CHAVE PARA UM TRECHO DO RIO DA PRATA-RS

Franciele Priori
Sara Regina Sperotto
Taison Anderson Bortolin

DOI 10.22533/at.ed.44219210217

CAPÍTULO 18 187

EROSÃO HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO PEIXE, SÃO PAULO, BRASIL

[Gerson Salviano de Almeida Filho](#)

[Zeno Hellmeister Júnior](#)

DOI 10.22533/at.ed.44219210218

CAPÍTULO 19 198

LEGISLAÇÃO MUNICIPAL SOBRE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI ANTAS

[Tuane de Oliveira Dutra](#)

[Pedro Antonio Roehe Reginato](#)

[Vinícius Menezes Borges](#)

[Marcos Imério Leão](#)

[Gustavo Barbosa Athayde](#)

DOI 10.22533/at.ed.44219210219

CAPÍTULO 20 208

COMPARISON OF TWO TECHNOLOGIES APPLIED IN A MUNICIPAL WASTERWATER TREATMENT PLANT: PHYSICOQUÍMICAL AND MICROBIOLOGICAL PARAMETERS AND CYTOGENOTOXICITY EVALUATION

[Thaís Dalzochio](#)

[Fernando Hamerski](#)

[Nicole Giovanna Gross](#)

[Günther Gehlen](#)

DOI 10.22533/at.ed.44219210220

CAPÍTULO 21 216

DANOS AO MEIO FÍSICO NA URBANIZAÇÃO DE SANTARÉM-PA: ESTUDO DE CASO NO BAIRRO SANTARENZINHO

[Eduardo Francisco da Silva](#)

[Arthur Iven Tavares Fonseca](#)

[Anderson Conceição Mendes](#)

[Fábio Góis da Mota](#)

DOI 10.22533/at.ed.44219210221

CAPÍTULO 22 225

PREVISÃO E MITIGAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS A ATIVIDADES DE CORTE E ATERRO

[Christiane Ribeiro Müller](#)

[Flávia Cauduro](#)

DOI 10.22533/at.ed.44219210222

CAPÍTULO 23 231

ESTUDOS GEOTÉCNICOS COMO SUBSÍDIO PARA CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E PROPOSIÇÃO DE TRILHAS INTERPRETATIVAS DO JARDIM BOTÂNICO DA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

[Patrick Aloe Teixeira](#)

[José Miguel Peters Garcia](#)

[Isabela Martins Itabaiana](#)

DOI 10.22533/at.ed.44219210223

CAPÍTULO 24 242

TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO UTILIZADAS NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM LAVOURAS, ANÁLISE PARA O MUNICÍPIO DE JAGUARI/RS

Bruno Zucuni Prina

Patrícia Ziani

Romario Trentin

DOI 10.22533/at.ed.44219210224

CAPÍTULO 25 252

ANÁLISE MULTITEMPORAL DO DESMATAMENTO POR NDVI DO MUNICÍPIO DE RONDON DO PARÁ NOS ANOS DE 2007 E 2017

Juliana Fonseca Cardoso

Isabela Loiane Carvalho Teixeira

José Cicero Pereira Júnior

Taissa Nery Ferreira

Denison Lima Correa

DOI 10.22533/at.ed.44219210225

SOBRE OS ORGANIZADORES..... 259

VILA DE ITAPINA E OS LAÇOS COM O RIO DOCE: REGISTROS DE MEMÓRIA APÓS O ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE REJEITOS DE FUNDÃO (SAMARCO/VALE/ BHP)

Bianca Pavan Piccoli

Laboratório de Estudos do Movimento Migratório
- LEMM e Política Espacial das Imagens e
Cartografias – POESI da Universidade Federal
do Espírito Santo. Pesquisadora do GIAIA - Grupo
Independente de Análise do Impacto Ambiental no
rio Doce

Maria Cristina Dadalto

Professora do Departamento de Ciências Sociais
e dos Programas de Pós-Graduação em Ciências
Sociais e História da Universidade Federal
do Espírito Santo (UFES). Coordenadora do
Laboratório de estudos do movimento migratório
(LEMM/UFES).

Patrícia Pavesi

Professora de Antropologia da Universidade
Federal do Espírito Santo. Programa de Pós-
Graduação em Ciências Sociais da Universidade
Federal do Espírito Santo (UFES).

Sônia Missagia Matos

Professora de Antropologia da Universidade
Federal do Espírito Santo.

Leonardo Nunes Aranha

Laboratório de Estudos do Movimento Migratório
(LEMM) da Universidade Federal do Espírito
Santo.

Douglas dos Santos

Laboratório de Estudos do Movimento Migratório
(LEMM) da Universidade Federal do Espírito
Santo.

pelo rompimento da barragem de rejeitos de Fundão (Samarco/VALE/BHP) em 05 de novembro de 2015 afetou diretamente e indiretamente milhares de moradores que compreendem as cidades e as comunidades localizadas às margens do percurso do rio Doce. No Espírito Santo, foram atingidos moradores de Baixo Guandu, Colatina e Linhares.

A vila de Itapina, localizada na margem Sul do rio Doce no município de Colatina, sofre diretamente as transformações causadas pelo rompimento da barragem, provocando drástica alteração na memória e na identidade de milhares de pessoas cujas relações econômica e de sociabilidade tiveram sua construção sociocultural e psíquica estabelecidas no lugar. Alia-se a este impacto psíquico, cultural e emocional, todas as consequências ambientais que alteram o cotidiano e promovem percepções e transformações de insegurança ambiental, econômica, social e de saúde da população.

PALAVRAS-CHAVE: Memória. Identidade. Imigração. Itapina. Rio Doce.

ABSTRACT: The environmental disaster originated by the rupture of Fundão's tailing dam (SAMARCO/VALE/BHP) on November 5, 2015 affected the thousands of inhabitants that had impaired cities and communities by the banks of the course of Rio Doce. In Espírito Santo, residents of the cities of Baixo Guandu, Colatina

RESUMO: O desastre ambiental provocado

and Linhares were affected. A village called Itapina, located on the southern shore of Rio Doce in the municipality of Colatina, suffers directly from the changes caused by the dam's rupture, causing drastic changes in the memory and identity of large interest groups. All environmental causes that alter daily life promote changes in perceptions of the environmental and give a new meaning for economic, social and health branches, this are also allied to psychic, cultural and emotional impact.

KEYWORDS: Memory. Identity. Immigration. Itapina. Rio Doce

1 | INTRODUÇÃO

Este ensaio representa um entre muitos recortes a partir das expedições e pesquisas de campo realizados após o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão da Samarco/VALE/BHP entre os meses de janeiro a julho de 2016 com moradores residentes às margens do baixo rio Doce, no Espírito Santo. Foi um trabalho envolvendo pesquisadores de diversas áreas e que resultou no relatório científico: RIBEIRINHOS DO BAIXO RIO DOCE: Relatório de pesquisa de campo sobre os ribeirinhos do Baixo rio Doce após o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão da Samarco/VALE/BHP.

O recorte deste artigo objetiva levantar as histórias e as memórias de moradores de Itapina e sua relação identitária com o rio Doce. Neste sentido, através de registros orais e imagéticos da vida de residentes em Itapina o presente trabalho intente apreender a significação de práticas estabelecidas a partir de laços socioculturais ali estabelecidos. Busca, assim, compreender em que medida memória e identidade estão sendo afetadas. Justifica-se o trabalho pela importância de se refletir sobre a maneira como dado grupo compõe visões de mundo e a compartilha e ainda possibilitar a compreensão de como as representações estabelecem laços de continuidade.

O recorte se deve ao fato de que nesta comunidade o rio é um lugar vivido de forma intensa e diversificada. É o rio o nosso ponto de partida para buscar compreender as relações que os moradores de Itapina estabelecem com o lugar em que vivem, considerando-o tanto como palco de histórias e ações passadas quanto de histórias e ações presentes.

Neste sentido que sustentamos nossas justificativas de acordo com Pollak (1992), que segundo ele a memória é um elemento importante no sentimento de continuidade e de coerência de uma pessoa ou de um grupo. Assim, na construção desta pesquisa buscamos o entrelaçamento dos conceitos de identidade – pela importância de se refletir sobre a maneira como dado grupo compõe visões de mundo e a compartilha – e o de memória – para se depreender como as representações estabelecem laços de continuidade em um dado grupo.



Figura 2: A triste passagem do rejeito, derramou, arrastou e aterrou a esperança.

Fonte: LEMM

2 | A CONSTRUÇÃO DO RECORTE: RELATÓRIO CIENTÍFICO E AS INTERFACES

Tudo começou a partir de olhares atentos e sentimento de indignação referente a perda irreparável, por conta da negligência de uma empresa de mineração. A barragem denominada Fundão, de rejeitos de minério de ferro da Samarco Mineradora, situada no município de Mariana, Minas Gerais, rompeu em 5 de novembro de 2015 carregando 62 milhões de metros cúbicos de rejeitos ao longo do rio Doce até sua foz no mar de Regência. Esta barragem era utilizada pela mineradora para beneficiar o minério retirado, aumentando seu teor de ferro. Maturano (2012) ao explicitar o que são barragens de rejeitos esclarece:

Estruturas de terra construídas para armazenarem resíduos de mineração, os quais são definidos como a fração estéril produzida pelo beneficiamento de minérios, em um processo mecânico e/ou químico que divide o mineral bruto em concentrado e rejeito; o rejeito é um material sem valor econômico, mas para salvaguardas ambientais deve ser devidamente armazenado.

Com o rompimento de Fundão, várias localidades foram afetadas ao longo dos estados de Minas Gerais e do Espírito Santo. Pessoas e animais foram mortos; casas, nascentes, plantações e extensas áreas verdes destruídas, causando danos ambientais, sociais, culturais e emocionais ainda não completamente dimensionados.

Considerando que este desastre afetou a vida de milhares de pessoas, iniciamos em janeiro de 2016 a trajetória envolvendo o percurso do rejeito e seu lastro de dor perpetuado entre os ribeirinhos residentes nas comunidades às margens do rio Doce, mais especificamente no baixo curso do rio, entre as comunidades de Mascarenhas a Regência,

localizadas entre os municípios de Baixo Guandu, Colatina e Linhares (Espírito Santo). Neste sentido, o objetivo se firmou em registrar memórias, envolvendo os laços de ribeirinhos com o rio Doce e as possíveis mudanças em curso.

Tendo como princípio nossa convicção que as memórias individuais e coletivas revelam escolhas – sobretudo no momento em que o cotidiano desses indivíduos radicados às margens do Doce experimentam mudanças provocadas pelo desastre ambiental –, utilizamos a metodologia da percepção, por meio da produção de entrevistas de história oral, com vistas a registrar memórias, envolvendo os laços de ribeirinhos com o Doce.

Entre tantas histórias de antepassadas e atualmente de dor e interrogações, aqui estaremos representando a Vila de Itapina e os laços com o rio Doce: registros de memória após o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão Samarco/VALE/BHP), e assim estaremos dedicados a tecer as ideias em direção de Identificar personagens, imagens e “lugares de memória” tal como conceituado por Pierre Nora (1993), direcionou a pesquisa de campo, a qual realizou se em dois diferentes momentos: o primeiro em janeiro e, posteriormente, entre os meses de abril e junho. De tal modo, nos foi possível conhecer o cotidiano dos ribeirinhos por meio da coleta de depoimentos orais, da produção de fotografias e de vídeos.

Neste sentido acompanhar o trágico percurso do rejeito nos exigiu estudos, tais quais diversos construtos se estabeleceram e entre eles o estudo da subjetividade, ou da relação do usuário com o meio em que vive, o meio ambiente é uma tendência de pesquisas desenvolvidas no campo da percepção ambiental. Por isso estamos muito atentos ao debate teórico e metodológico promovido pela Nova Geografia. Com base nesta disciplina e tal como o faz Reigotta (2001), o meio ambiente é definido nesta pesquisa de modo amplo, incorporando tanto o sentido físico natural quanto o sociocultural - ou tanto a natureza quanto o ser humano.

Portanto quando nos referimos ao meio-ambiente está implícito o humano. A interação entre o homem e o meio-ambiente é íntima e efetiva. Quais as variáveis que compõem essa interação? Como a cultura e a experiência afetam essa percepção? Qual é o significado atribuído ao meio-ambiente? Essas são algumas indagações que os estudiosos do meio-ambiente se colocam e, também, algumas das indagações que a pesquisa se coloca ao pensar as comunidades acima referidas.



Pescadores e moradores das comunidades de Itapina e Regência, afirmaram que os peixes retirados do rio Doce estão com o corpo coberto por feridas, segundo eles nunca ocorreu algo semelhante. Expedição GT Dimensões Humanas - GIAIA e LEMM/UFES. novembro de 2016, fevereiro e abril de 2017.

Figura 4: Percurso do rejeito e a dor dos ribeirinhos

Fonte: Arquivo LEMM e GIAIA

Definimos *percepção* pelas sensações dadas pelos órgãos sensoriais e, principalmente, ao que a nossa mente atribui significado. Para White (1977), a percepção ambiental inclui a percepção sensorial mais a cognição. É o conhecimento e o entendimento que os seres humanos têm do meio em que vivem, com a influência dos fatores sociais e culturais. Como algo sempre inerente a toda atividade humana, a percepção pode permitir uma compreensão das interações entre homens e meio-ambiente.

Tomamos, também, como referência em nossos estudos, os quadros teóricos de Lynch (1988) e Tuan (1983). Lynch (1988) investigou os conceitos de legibilidade, de imaginabilidade dos componentes de estrutura e significado, o conceito de *imagem pública*, no desenrolar dessa pesquisa. As pessoas elaboram as mais variadas imagens do ambiente. No entanto, parece existir uma coincidência de imagens formadas por pessoas de um mesmo grupo (constituído por idade, sexo, cultura, ocupação, temperamento, ou familiaridade). É esse consenso de imagens de um número considerado de indivíduos que foi considerado por Lynch (1988) como *imagem pública*.

Em Tuan (1983), é necessário que estejamos atentos aos conceitos de *topofilia*, *topofobia* e *lugares valorizados*. Esse autor destaca a importância da noção de lugar, em comparação com a de espaço para a afetividade humana. Os seres humanos necessitam de ambos porque suas vidas se processam num movimento de dependência e liberdade. O que se inicia como espaço indiferenciado pode se tornar um lugar na medida que o conhecemos mais intimamente, ou seja, quando através da dimensão afetiva, dotamos-lhe de valor e lhe atribuímos significado.

Os lugares mais valorizados pelas pessoas são os que mais detêm o sentimento topofílico – *o amor humano ao lugar*. Também os espaços dotados de valor podem expressar o sentimento oposto, o de aversão, que é definido como topofobia, e que produz a imagem de medo. Tuan (1983) dá especial atenção aos conceitos de espaço e lugar através da experiência construída do significado e do valor neles inscritos. Para ele, a experiência é um termo que abrange as diferentes maneiras, através da qual uma pessoa conhece e constrói a realidade. “Essas maneiras variam desde os sentidos mais diretos e passivos como o olfato, o paladar, o tato, até a percepção visual ativa e a maneira direta de simbolização.” (TUAN, 1983).

Tuan (1983) afirma, também, que é importante conhecer a herança biológica, a criação, a educação, o trabalho e o bairro de uma pessoa para compreender sua percepção ambiental, afirmando ser improvável distinguir entre os fatores culturais e o papel do meio ambiente físico. Uma pessoa é um organismo biológico, um ser social e um indivíduo único. Mas, “[...] a maioria das pessoas, durante suas vidas fazem pouco uso de seus poderes perceptivos. A cultura e o meio ambiente determinam em grande parte quais os sentidos são privilegiados” (TUAN, 1983).

Para Stuart Hall (2012), as identidades sociais são construídas a partir de representações dentro de discursos culturais que informam como um dado grupo vive e compartilha seus significados. Isso se relaciona à centralidade da cultura na constituição da subjetividade, da própria identidade e da pessoa enquanto ator social.

Neste sentido, Hall entende cultura como um discurso de existência e práticas sociais dependentes de um dado significado para produzir efeitos dentro deste mesmo discurso. Em outras palavras, significa dizer que as identidades culturais são construídas dentro de um processo interior de representação, sendo inerente à própria cultura e não externa a ela. De forma que as representações culturais estão vivas na memória de um indivíduo e de grupo social, elas se atualizam, são reconstruídas/reelaboradas e constituem-se parte da identidade. Assim, compreende-se que a experiência dos moradores de Itapina, enquanto práticas culturais que lhes permeiam um cotidiano, pode nos apoiar na compreensão sobre o processo vivenciado. Bem como, entender as interações sociais estabelecidas no lugar, de modo que se desvele a realidade social construída, possibilitando-se compreender a constituição do cotidiano, as significações e as ressignificações relacionadas ao exercício do poder e à conformação do lugar.

Sendo assim, com o propósito de apreender com os moradores da comunidade de Itapina, protagonistas ativos de um processo histórico, portanto, sujeitos capazes de agir, de organizar estratégias, de fazer escolhas e de tomar decisões. Concomitantemente à pesquisa, esta pesquisa segue possibilitando com a construção de um acervo disponibilizando fontes orais, visuais e escritas coletadas, que ficará sob a guarda do LEMM/UFES, e disponibilizados ao público.

3 | O DOCE

É na Serra da Mantiqueira, no município de Ressaquinha, em Minas Gerais, que nasce o rio Doce. Suas águas percorrem trajeto sinuoso de 879 quilômetros, passando por 228 municípios - com aproximadamente 3,5 milhões de habitantes - até desaguar no Oceano Atlântico, em Linhares, Espírito Santo. As atividades econômicas dos moradores ao longo da bacia são diversificadas, porém, predominam a agricultura, as lavouras de café, de cana-de-açúcar e a criação de gado. A bacia é constituída por um território marcado por uma rica biodiversidade: 98% se localiza no bioma de Mata Atlântica e o restante de cerrado.



Figura 5: O rio Doce na localidade de Itapina, momentos antes da passagem do rejeito

Fonte: Arquivo LEMM e GIAIA

Também, o maior complexo siderúrgico da América Latina está situado às margens do rio Doce, com a presença de empresas mineradoras, indústrias de celulose e aproximadamente 3.600 indústrias de diversificadas atividades (CBH-DOCE, 2014). Dentre estas empresas, a Samarco, cuja intensa atividade produtiva de exploração e extração do minério de ferro ocorre nos estados brasileiros do Espírito Santo e de Minas Gerais.

As atividades econômicas dos moradores ao longo da bacia são diversificadas, mas predominam a agricultura, as lavouras de café, de cana-de-açúcar e a criação de gado. A bacia é constituída por um território marcado por uma rica biodiversidade: 98% se localizam no bioma de Mata Atlântica e o restante de cerrado.

Com o rompimento da barragem de Fundão da Samarco Mineradora, o rejeito alcançou o Oceano Atlântico, através do mar da vila de Regência – Linhares, onde se situa a foz do rio Doce. Espalhou se no litoral do estado do Espírito Santo, sentido sul,

e ainda se dispersou no sentido norte, pois manchas de lama foram detectadas nas proximidades do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, sul da Bahia.

A dimensão do estrago ambiental, em princípio, é imensurável. De acordo com Polignano (2015):

Esse vazamento será sempre uma cicatriz da questão ambiental do país e dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo e também um alerta para que realmente as políticas ambientais estejam comprometidas com a vida e com o meio ambiente. “[...]ou começamos outro modelo ou vamos continuar enterrando biodiversidades, pessoas e histórias.



Figura 6: A cor laranja selada pelo rejeito

Fonte: Piccoli (2016)

Dentre os 228 municípios abrangidos pela bacia do rio Doce, 3 são capixabas - são eles: Baixo Guandu, Colatina e Linhares. No entanto, entre estes, o município de Colatina é o único dos três que depende exclusivamente do rio Doce para o abastecimento de água para a população. Este foi um dos motivos que nos levou a selecionar a comunidade do município de Colatina localizado no baixo rio Doce, que foi atingida pela lama de rejeitos, a saber: Itapina - Colatina/ES.

Contudo, o recorte desta comunidade se deve também ao fato de que nela o rio é um lugar vivido de forma intensa e diversificada por toda a população. É o rio, esse lugar vivido, o nosso ponto de partida para buscar compreender as relações que os ribeirinhos estabelecem com o lugar em que vivem, considerando-o tanto como palco de histórias e ações passadas quanto como o lugar de histórias e ações presentes.



Figura 7: Momentos de lazer momentos antes da passagem do rejeito

Fonte: Piccoli (2015)

4 | ITAPINA

Situado às margens do rio Doce e da ferrovia, Itapina, distrito de Colatina, foi um dos polos comerciais de café mais importante do estado na primeira metade do século XX. O lugar perdeu seu vigor econômico nos anos de 1960/1970 com a erradicação do café. A partir de então, a grande maioria dos moradores migrou para a cidade de Colatina ou para outras regiões do Estado ou do país, permanecendo no local cerca de 3.000 pessoas, sendo 900 no perímetro urbano.

...assim como outras comunidades do território capixaba e brasileiro, passa por transformações socioeconômicas durante o século XX e nas primeiras décadas do XXI, período que compreende a ocupação, o auge, a decadência econômica e o tombamento da sede do distrito em sítio histórico na categoria patrimonial. (TESCH, 2018, p.18)

Itapina, comunidade dotada de tempos áureos e que vivenciou um percurso sofrido de declínio econômico, resiste no tempo e se mantém viva através de seus antepassados e heranças, de certo sua resistência de acordo Massey (2012, p.21), a comunidade seja ela representada através de uma pequena vila, uma cidade ou uma nação, estabelece um tempo de permanência no espaço, porém é volátil de ser destruída num breve lampejo de glória, sendo que “todas as lembranças sob o tempo e o espaço demonstram antigos esplendores e de sua fragilidade mantém a importância de estar presente no tempo e no espaço herdado.

Neste contexto, a resiliência que mantém algumas famílias em Itapina e

a produção das identidades vivenciadas no lugar que guardam uma história de peculiaridades: conta com uma população descendente de e-imigrantes italianos, alemães e árabes, além de mineiros, que resiste em se manter no distrito, mesmo com a perda econômica e o isolamento geográfico no qual atualmente se encontram muitos dos descendentes dessas famílias. Neste ambiente, preservam o patrimônio material, constituído pelos antigos casarões construídos pelos ricos fazendeiros produtores de café e as ruas de paralelepípedo. Bem como, permanências simbólicas do cotidiano dos antepassados.

Há de se observar que, no presente, os moradores desenvolvem atividades produtivas baseadas principalmente em pequenas propriedades rurais, extração de areia do Doce, pesca de subsistência e comércio. Todas estas atividades têm sustentação nas águas do Doce. (PMC, 2015).



Figura 8: Casarões que guardam a história dos tempos áureos do local. Vila que atraía o turismo.

Fonte: Piccoli (2016)

Itapina situa-se a oeste do município de Colatina, nas margens do Rio Doce e a aproximadamente 25 km da sede municipal. Na sua constituição recebeu e-imigrantes de origem alemã, italiana, libanesa e principalmente mineira. A atividade econômica em destaque entre estes pioneiros era a produção e a comercialização do café, transportada pela linha férrea ligando Vitória a Minas Gerais, e pelo vapor Juparanã, no rio Doce. No presente, os moradores desenvolvem atividades produtivas baseadas principalmente em pequenas propriedades rurais, na extração de areia do Doce, e principalmente na pesca profissional e de subsistência.



Figura 9: Rio Doce e a vila de Itapina

Fonte: Google Maps

Tombada como patrimônio estadual em 2010, ali casarões históricos compõem a poética do lugar, atraindo turistas principalmente em datas festivas tradicionais. Na vila havia uma prática cultural da pesca artesanal, com objetivos e usos diversos. De acordo com os entrevistados, encontravam-se no local: pescadores que consumiam e comercializavam o pescado; que pescavam para consumo e complemento da renda; e aqueles que pescavam apenas para lazer. Todavia, a pesca também tinha papel importante para as mulheres que faziam o uso da “pedra da corvina” para simpatias, confeccionavam redes de pesca e, como pescadoras, acompanhavam os maridos na pescaria.

Cabe destacar que em Itapina (região do baixo rio Doce) foram encontradas espécies invasoras marinhas. Sendo estas consideradas importantes recursos para a atividade de pesca tanto esportiva como profissional, assim como espécies exóticas, que também são amplamente exploradas pela pesca em detrimento das espécies nativas (ALVES, 2007).

A preservação das espécies ou estoques requer conhecimentos tanto biológicos dos peixes, quanto ambientais, sociais, econômicos e culturais dos pescadores (CARVALHO, 2008). Uma vez que são estes sujeitos que entendem das dinâmicas dos recursos pesqueiros utilizados, bem como sobre o estoque diretamente relacionado ao petrecho e ao padrão espacial de exploração. Os conhecimentos dos próprios pescadores, tanto a respeito da abundância do recurso, quanto dos impactos que eles mesmos geram, é um recurso primário de informação (CAMARGO & PETRERE, 2001; MACKINSON & NOTTESTAD, 1998). De acordo com os relatos dos ribeirinhos entrevistados as espécies invasoras marinhas garantem o sustento da maioria das famílias ribeirinhas residentes em Itapina.

Porém quando os rejeitos da lama da Samarco que desciam rio abaixo passaram em Itapina, entre os dias 17 e 18 de novembro, uma grande mudança acontece na vida das pessoas que ali residem. Itapina, como outras comunidades ribeirinhas do Doce, perde seu potencial turístico e a sobrevivência por meio da pescaria. Para

Pedro, que pesca no Doce desde que mudou para a vila aos “vinte e poucos anos” – como ele explica – o impacto do rompimento da barragem alterou profundamente seu cotidiano:

Eu acho que no fundo do rio está a lama agarrada, porque se houver uma enchente vai mexer com a lama e vai avermelhar a água de novo. Porque a água do rio Doce sujava com enchente, mas com poucos dias ela limpava. Ela não limpou ainda, se vê que não está chovendo e ela está com aquela cor esquisita ainda, né? Então se não fosse aquela lama amarela, essa água estaria clarinha, você enxergava o fundo, e não tá enxergando.

Agora não tem como pescar, né? Não tem como pescar, não tem como se divertir. Eu ia para a beira do rio, acampava, ficava 3, 4 dias, quando pegava uma folga. Igual hoje mesmo, feriado, eu só vou trabalhar segunda feira. Se tivesse liberada a pesca pra gente comer o peixe, eu tinha ido acampar. Só vinha aqui de noite, na festa, um pouquinho e voltava. Ia eu e a mulher. Meu menino quando estava de folga ia também. Lá fazíamos moqueca de peixe. A minha mulher gosta demais de pescar. (risos) Os molinetes estão ali enferrujando. Eu pescava com força,” (Pedro, maio de 2016).

A narrativa de Pedro encontra eco com a de outros pescadores, moradores antigos da vila de Itapina e que tiveram a centralidade da experiência do Doce nas suas vidas desde criança. José, aos 76 anos, conta emocionado sua história com o Doce:

Eu parei de pescar aqui, mas eu tenho carteira de pescador de 1972. Eu tinha um botinho, chamava Jardineira; foi registrado na Capitania dos Portos em Vitória. Agora está todo mundo reclamando por causa disso, porque eu vou falar para vocês, isso aqui é fonte de muita gente trabalhando, tratando de família. Eu tratei foi de quatro filhos, 90% tudo com peixe. Eu saia daqui ia para Colatina de bicicleta de manhã cedo para vender o peixe e voltava até em casa outra vez para poder tratar desses quatro filhos, viu?” (José, maio de 2016).

As narrativas aqui presentes são pequenos trechos que compõem o acervo do LEMM, entrevistas realizadas com autorização e assinatura de livre consentimento. Todos os nomes de pescadores aqui apresentados são fictícios.



Figura 10: Pescador à deriva.

Fonte: Piccoli (2018)

Além da pesca, circulam pela comunidade tradições herdadas de imigrantes italianos, árabes, alemães, o rio e as construções antigas composta por elegantes casarões compõem a poética margem do Doce, atraindo turistas, principalmente em datas festivas tradicionais da vila, como o Fenaviola.

O festival FENAVIOLA, uni a tradicional música caipira, os banhos de rio, a comida típica, a famosa travessia de barca, o São João e o sentimento de vila de interior, ocorre no mês de junho e atrai uma multidão. Durante a pesquisa de campo que ocorreu no período do festival, praticamente passou em branco, segundo os moradores o fato está associado ao crime ambiental, comprometendo o festival que esteve simbólico.



Figura 11: O rio, a herança e a cultura preservados num só momento, de certo extinto

Fonte: Piccoli (2015)

Itapina como as demais comunidades ribeirinhas do Doce, perde seu potencial turístico e a sobrevivência humana através da pescaria, segundo os pescadores mais velhos, que acompanham o rio desde criança, hoje o rio Doce encontra-se em uma situação delicada devido ao crime ambiental “os peixes sumiram e a única espécie que ocorre com mais incidência é exótica e predadora, como exemplo do curimba, o bagre-africano e o dourado”.

Há também aqueles que explicitam o sentimento de desespero com o desastre ambiental por meio do silêncio. Mantém-se numa mudez enrijecedora. O barqueiro, responsável pela travessia da barca que levava moradores e visitantes das margens

sul para a norte, é um exemplo. Funcionário da prefeitura municipal, sentado na barca desativada pela impossibilidade da travessia no rio, ele se vê obrigado a conviver dia a dia com o rejeito da lama. Qualquer pergunta ou tentativa de conversa responde com o olhar fixo nas águas do Doce.



Figura 12: Barqueiro e a esperança do retorno do rio Doce. O rejeito e a barca desativada⁷

Fonte: acervo LEMM

O Barqueiro em Itapina num silêncio profundo representa os ribeirinhos que se colocam numa condição de incertezas diante da questão socioeconômica e ambiental com a passagem do rejeito. Porém, com a tragédia, evidenciou-se a degradação do rio que já vinha ocorrendo, acentuando a percepção deles diante desta questão: sempre experimentaram abusos de uso do recurso, e apesar da degradação, nada vinha sendo efetivamente feito para a recuperação do Doce. Ao contrário, diversos atores na ocupação das margens da bacia hidrográfica vinham agindo, antes do rompimento da barragem, com negligência na utilização do solo (CARVALHO, 2008). Os ribeirinhos ainda afirmam: os problemas que mais ameaçavam a pesca nestas comunidades eram a escassez de recursos pesqueiros, devido a ações como a pesca predatória, o represamento e o assoreamento dos rios, o desmatamento das matas ciliares e a introdução de espécies exóticas.

Ainda assim outros problemas também afetam os ribeirinhos. Em nossa pesquisa de campo, entrevistamos e conversamos informalmente com vários moradores e pescadores. Modo geral, observamos uma grande ansiedade, principalmente pela ausência de informações que considerem confiáveis acerca da qualidade da água. Segundo os entrevistados, até a data de 02 de julho de 2016, não havia sido feita nenhuma divulgação oficial de condições de uso da água do rio, do consumo de peixes e principalmente do conteúdo do rejeito derramado que passou por Itapina a

partir de 17 de novembro de 2016.

5 | RELATO INCOMUM: MORADORES DE ITAPINA, O DOCE E A SOBREVIVÊNCIA

Apartir de novembro de 2015 as comunidades ribeirinhas do rio Doce mergulharam num mar de dúvidas e de incertezas. Desde então, moradores de Itapina vivenciam momentos incomuns aos demais ribeirinhos: na tentativa de garantir recurso mínimo para sobreviver buscam estratégias variadas, visto que seus meios de sobrevivência estão alterados. Muitos vivem um dilema envolvendo direitos sociais, no qual a principal necessidade é garantir o reconhecimento da Samarco em relação às suas dependências econômicas diretas advindas da renda com o rio Doce.

Neste contexto social, declaram serem pescadores artesanais na tentativa de inclusão por parte da Samarco no processo indenizatório. Há aqueles cujos rendimentos eram resultantes diretamente da pesca e outros indiretamente, compondo uma cadeia produtiva que envolvia inúmeras pessoas e diferentes atividades. Inclusive com alguns membros de uma única família estabelecendo elos nesta rede produtiva.

Mas o Doce não era somente uma fonte de renda, dele também dependiam complemento nutricional e lugar de lazer e do simbólico. Entre os moradores dessa comunidade do Baixo rio Doce pesquisada, observamos diferentes dimensões – que compõem a história social, econômica e cultural do lugar – fornecendo características únicas deste lugar.

Neste sentido, a percepção e o significado desta tragédia se diferenciam dada à dramaticidade da situação vivenciada. Para aqueles cujo dia a dia era vivido dentro de um barco a remo pescando para ganhar o pão de cada dia, não mais ter a possibilidade provisória ou permanente de atuar no seu ambiente se constitui numa realidade muito mais complexa e insegura. Para este sujeito, seu sentido social, cultural e econômico está em xeque.

6 | À GUIA DE CONCLUSÃO

Realizamos entrevistas de histórias de vida e produzimos imagens, à medida do autorizado, de artefatos, de pessoas e de lugares que são referência para nossos entrevistados. Mas nosso propósito é a manutenção desta pesquisa com vista a construir um acervo imagético de objetos pessoais e fotografias de valor simbólico para as famílias de Itapina, conservadas por filhos e netos ao longo de gerações, com vistas a constituir o acervo histórico do inventário sociocultural e antropológico da memória do rio Doce. Bem como, acompanhar em curto, médio e longo prazos os processos de mobilidade humana, em decorrência da tragédia provocada pelo rompimento das barragens de rejeitos da Samarco Mineradora em Mariana, na

comunidade de Itapina (Colatina, ES).

Considerando que a presente pesquisa envolve percepção, constatamos que ao longo de nossa trajetória de pesquisa de campo, esteve presente a afetividade humana com o rio Doce. Tal sentimento era percebido nas narrativas que envolviam referências às relações sociais e culturais. Entre os depoimentos das últimas expedições a campo, mais precisamente após seis meses do rompimento da barragem, vale destacar o silêncio de vários moradores, desorientados que estão com o desastre ambiental.

Uma imagem que dá significado a este processo de silêncio é a do barqueiro de Itapina. Sentado no banquinho colorido na centenária barca do rio Doce, cumpre hora de trabalho sem trabalho, de uma atividade que deixou de existir para ele desde o rompimento da barragem. No banquinho permanece observando as garrafas de água coletadas cuidadosamente antes, durante e depois da passagem do rejeito.

Tal silêncio também revela uma situação de trauma e de solidão muitas vezes percebida nesta pesquisa de campo. Ribeirinhos – muitos filhos e netos de nativos e de imigrantes que permanecem residindo no local de assentamento de antepassados – experienciam no presente uma situação de parcial isolamento socioeconômico. Passado o momento de comoção nacional e internacional, resultado do desastre socioambiental provocado pela Samarco, a luta dessa comunidade do Doce permanece.

REFERÊNCIAS

ARENKT, Hannah. **A Vida do espírito**. Rio de Janeiro. 2000.

CANDAU, Joel. **Memória e identidade**. São Paulo: Contexto, 2011.

CARVALHO, Daniel Cardoso de et al. **Identificação molecular de peixes: o caso do Surubim (Pseudoplatystoma spp.). Dna Barcoding: Uma Ferramenta de Apoio Molecular Para Identificação de Espécies de Peixes**, Belo Horizonte, v. 32, n. 4, p.215-219, 01 out. 2008.

HALL, Stuart. **Da Diáspora, identidades e mediações culturais**. Belo Horizonte: UFMG, 2012. <https://www.google.com.br/maps/place/Itapina,+Colatina++-+ES/@-19.5317269,-40.8248089,15z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0xb7103ea684564b:0x571cce05e5aec8eb!8m2!3d-19.5317477!4d-40.8160541>. Acesso em: 26/10/18 às 00h40

MASSEY, Doreen. **Pelo Espaço – Uma Nova Política da Espacialidade**. Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil LTDA, 2012

NORA, Pierre. **Entre Memória e História: A problemática dos lugares**. São Paulo Prog História-PUC. 1993

PICCOLI, B. P. ; DOS SANTOS, D. ; NUNES, L. A. ; MATTOS ; PAVESI, P. P.; DADALTO, M. C. . **Ribeirinhos do baixo rio Doce**. 2016. (Relatório de pesquisa).

POLLAK, M. **Memória e identidade social**. Estudos Históricos. Rio de Janeiro: CPDOC- FGV, vol.5, n. 10, p. 200-212, 1992.

PREFEITURA MUNICIPAL DE COLATINA. Secretaria Municipal de Educação e Cultura. Maratona do Saber. Colatina: SMEC, 1990.

REIGOTTA, M. (org.) **Verde cotidiano – O ambiente em discussão**. Rio de Janeiro: DPA, 2001. p.21.

TESCH, Arleida Lemke. **Multiterritorialidade no Distrito de Itapina, Colatina – Espírito Santo**. 2018. 196 f. Dissertação. Departamento de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

TUAN, Yi-Fu. **Espaço e lugar: a perspectiva da experiência**. São Paulo. Difel. 1983.

UFES. R Relatório de pesquisa de campo sobre os ribeirinhos do Baixo rio Doce após o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão (Samarco/VALE/BHP). Online. Disponível em:<http://redeufesriodoce.ufes.br/sites/redeufesriodoce.ufes.br/files/field/anexo/Ribeirinhos%20do%20Baixo%20Rio%20Doce.pdf>. Acesso em: 30/01/2017 às 14h e 13min.

WHITE, Anne. **Guidelines for Field studies in environmental perception**. Thecnical Notes 5. Paris. Unesco. 1977.

ASPECTOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA BARRAGEM ITAÍBA NO ESTADO DE PERNAMBUCO

Hosana Emilia Abrantes Sarmento Leite

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Pernambuco
Recife - Pernambuco

Rafaella Teixeira Miranda

Techne Engenheiros Consultores
Recife - Pernambuco

Maiara de Araújo Porto

Techne Engenheiros Consultores
Recife - Pernambuco

Túlio Martins de Lima

Techne Engenheiros Consultores
Recife - Pernambuco

Natália Milhomem Balieiro

Techne Engenheiros Consultores
Recife - Pernambuco

superfície e subsuperfície, dos testemunhos de sondagens, dos ensaios de infiltração e de perda d'água sob pressão e dos ensaios de caracterização e especiais dos materiais naturais de construção. Foi constatado que o maciço rochoso apresenta características de deformabilidade compatível com qualquer tipo de barragem, desde que o aluvião depositado no eixo seja retirado. Ademais, constatou-se que os solos de empréstimo, as areias e as rochas são viáveis tecnicamente e satisfatórios em termos de volume.

PALAVRAS-CHAVE: Barragem, Investigações Geológicas-Geotécnicas, Ensaios, Eixo Barrável, Implantação.

ABSTRACT: This article presents the geological and geotechnique engineering services developed to support the Preliminary Technical Report, Basic Project and Complementary Studies for the Itaíba Dam employment, in Itaíba, PE. Preliminary mappings, direct investigations via soundings (mixed and percussion) and specific geotechnical tests were carried out, and the results of surface and subsurface geological-geotechnical reconnaissance, sounding samples, infiltration and water loss tests (under pressure) and characterization and special tests of natural building materials were analyzed and discussed. It was verified that the rock mass presents characteristics of

RESUMO: O artigo apresenta os serviços de caráter geológico-geotécnico desenvolvidos com a finalidade de subsidiarem os estudos para a elaboração do Relatório Técnico Preliminar, Projeto Básico e Estudos Complementares para a Implantação da Barragem Itaíba, no Município de Itaíba, PE. Foram realizados mapeamentos preliminares, investigações diretas por meio de sondagens (mista e percussão) e ensaios geotécnicos específicos. A partir destes, foram analisados e discutidos os resultados do reconhecimento geológico-geotécnico de

deformability compatible with any type of dam, given the alluvium deposited in the axis is removed. In addition, it was found that the loan solos, the sands and the rocks are technically feasible and satisfactory in terms of volume.

KEYWORDS: Dam, Geological-Geotechnical Investigations, Tests, Dam Axis, Employment.

1 | INTRODUÇÃO

O corrente artigo apresenta os serviços geológico-geotécnicos realizados com a finalidade de subsidiarem os estudos de elaboração do Relatório Técnico Preliminar, Projeto Básico e Estudos Complementares para a Implantação da Barragem Itaíba, no Município de Itaíba, Pernambuco. A barragem Itaíba, a ser construída pelo Governo do Estado de Pernambuco, objetiva incrementar a oferta hídrica da região.

É de largo conhecimento a importância das barragens de abastecimento, todavia face ao grande investimento financeiro, humano e ambiental que a construção deste empreendimento envolve, é essencial um correto planejamento, monitoramento e manutenção pós-construtiva.

A missão essencial das investigações é oferecer ao projetista o quadro completo dos fenômenos geológico-geotécnicos que podem ser esperados da interação entre as solicitações próprias da obra que será implantada e as características geológicas (materiais e processos) dos terrenos que serão por ela afetados. Assim, todo o esforço investigativo deve ser orientado, desde o primeiro momento, propondo, aferindo, descartando e confirmando hipóteses fenomenológicas, para que, ao final, tenha um quadro fenomenológico real (MAPA DA OBRA, 2017).

Neste contexto o objetivo principal do estudo foi a caracterização do maciço rochoso ao longo do eixo barrável selecionado, e suas proximidades, sob o ponto de vista geológico e geotécnico, bem como as características dos materiais naturais de construção.

2 | ÁREA DO ESTUDO

O município de Itaíba (Figura 1) está localizado nas coordenadas geográficas de latitude 08°56'51"S e longitude 37°25'22"W, a 332 km da capital do Estado, limitando-se ao Norte com Tupanatinga, ao Sul com o Estado de Alagoas, a Leste com Águas Belas e Buíque, e a Oeste com o Estado de Alagoas e o município de Manari. Está inserido na mesorregião do Agreste, na Microrregião Vale do Ipanema, e na Região de Desenvolvimento Agreste Meridional.

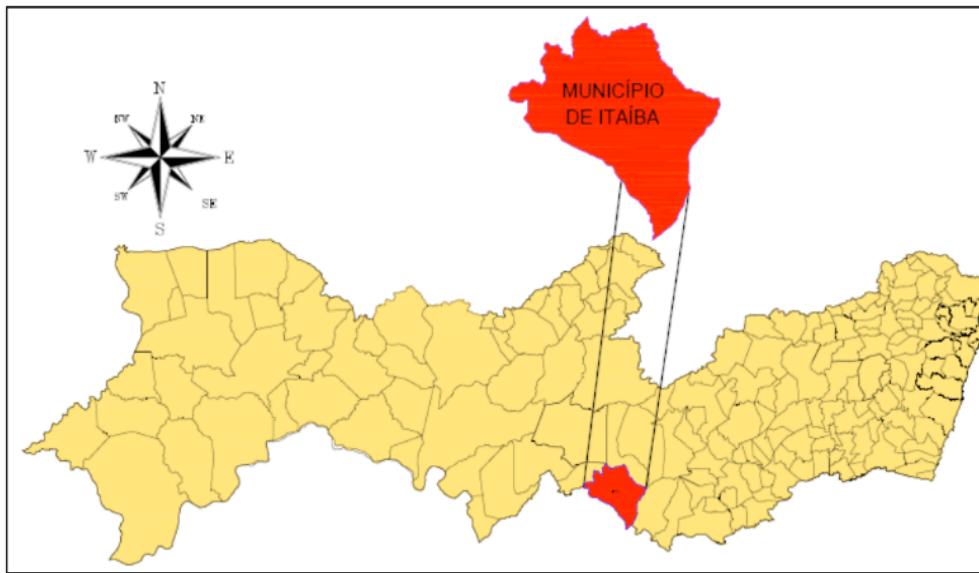


Figura 1. Mapa do Estado de Pernambuco. Em destaque o município de Itaíba.
(Fonte: TECHNE, 2017).

O principal acesso ao município é feito pelas rodovias BR-101, PE-126 e PE-177. Sendo seus principais acessos terrestres estabelecidos pelas rodovias estaduais PE-300 e PE-270.

O Eixo localiza-se no Município de Itaíba, distante aproximadamente 17,00 km da sede, entre as coordenadas UTM, sistema SAD 69, 9.003.636 N / 687.258 E e 9.002.975 N / 687.108 E, com uma altitude aproximada de 400 m.

O acesso ao local da obra, a partir da cidade de Itaíba, é feito pela PE-300, no sentido da cidade de Águas Belas, até o km 25, dando acesso a uma estrada carroçável situada à esquerda; deste ponto percorre-se cerca de 1,00 km até o eixo, onde será implantada a futura barragem.

O município de Itaíba encontra-se inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Rio São Francisco, que se estende pelos estados de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Sergipe, Alagoas, Goiás e o Distrito Federal. Além da bacia do rio São Francisco, o município de Itaíba está localizado na área das bacias hidrográficas do Rio Ipanema, e do Grupo de Bacias de Pequenos Rios Interiores. A Figura 2 apresenta a bacia hidrográfica da barragem do Riacho Caraíba.

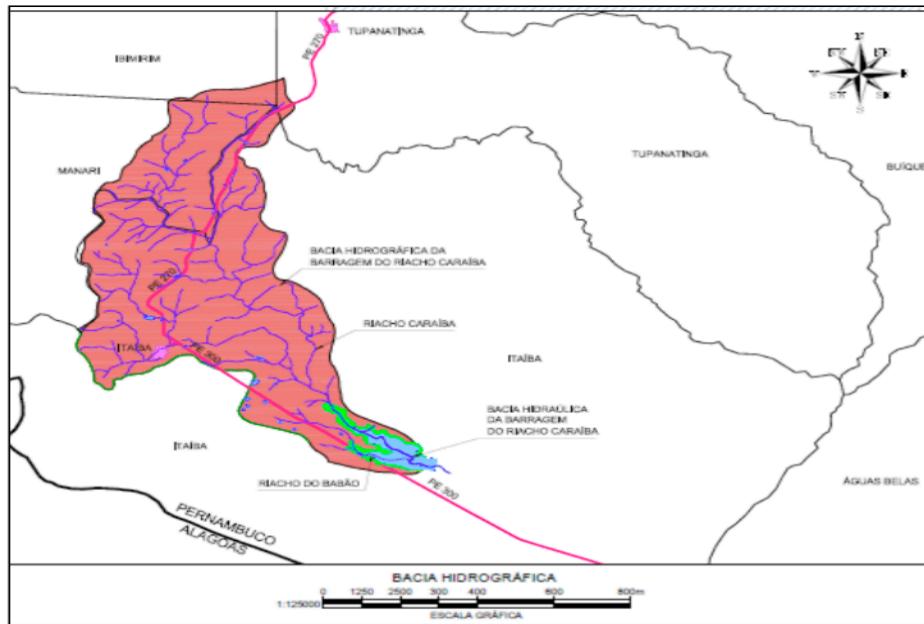


Figura 2. Bacia hidrográfica da barragem do riacho Caraíba.

(Fonte: TECHNE, 2017).

3 | INVESTIGAÇÕES REALIZADAS

3.1 Caracterização Geológico-geotécnica

A caracterização geológico-geotécnica do eixo barrável de Itaíba constou de um reconhecimento geológico de superfície e de subsuperfície, com o intuito de descrever sua tipologia, grau de alteração, permeabilidade e descontinuidades do maciço rochoso, em relação à distribuição espacial.

A metodologia utilizada pode ser resumida nos seguintes procedimentos:

- Aquisição e interpretação da base de dados: Aquisição de bases cartográficas na área do empreendimento (levantamento topográfico de campo); Aquisição de mapas geológicos regionais e locais da área do empreendimento; Reconhecimento geológico-geotécnico da área da barragem e adjacências; e Programação e análise das investigações de campo.
- Caracterização táctil-visual de testemunhos de sondagens executadas;
- Elaboração de seções geológico-geotécnicas verticais;
- Diagnóstico das condições de fundação.

As sondagens e ensaios foram executadas segundo especificações da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Meio Ambiente (ABGE, 1999), sendo as sondagens rotativas executadas no diâmetro NX e as sondagens a percussão com amostrador SPT padrão.

A passagem de percussão para rotativa foi especificada para o impenetrável ao amostrador SPT no caso de rochas sedimentares e impenetrável à lavagem no caso de rochas cristalinas. As sondagens rotativas foram programadas para atingirem a profundidade mínima de 8 metros em rocha sã.

A permeabilidade e a condutividade hidráulica do maciço rochoso, ao longo do eixo barrável e suas proximidades, frente a percolação d'água através dos seus planos de descontinuidades (fraturas, falhas e fissuras), foram calculadas a partir dos ensaios padronizados de perda d'água sob pressão realizados na fundação, através dos furos de sondagens rotativas e mistas.

A metodologia de descrição dos testemunhos de sondagens constou, principalmente, da classificação litológica, do grau de alteração da rocha, do índice de fraturamento, da percentagem de recuperação do testemunho e do RQD.

A programação de sondagens constou de 06 (seis) furos de sondagem à percussão, 13 (treze) furos de sondagem mista, 21 (vinte e um) ensaios de perda d'água com 5 (cinco) estágios de pressão e 15 (quinze) ensaios de infiltração. Alguns furos foram posteriormente cancelados e outros adicionados, mantendo a quantidade total de furos programada.

É importante ressaltar que para obter um maior respaldo a respeito da característica geológico-geotécnica dos materiais inseridos na área de estudo, foram previstos furos à montante e a jusante do eixo.

3.2 Materiais de Empréstimo

Definido no RTP (Relatório Técnico Preliminar) que a alternativa tecnológica mais viável para a barragem seria um barramento em terra homogênea, foram realizadas pesquisas de materiais naturais, com a qualidade requerida e na quantidade necessária, em áreas próximas ao sítio da barragem e coletadas amostras em poços de inspeção.

Foram estudados: Solos, para utilização nas obras de terra; Areia, para utilização nos concretos e filtros; e Rocha, para utilização em enrocamentos, transições e agregados graúdos (brita) para filtro e para concreto.

Para o material que compõe o maciço de terra (aterro compactado) foram analisadas duas jazidas de solos, próximas ao eixo, intituladas Jazida 01 e 02. A primeira localiza-se à montante do eixo barrável, na margem direita e esquerda do Riacho Caraíba, e a segunda, parcialmente à montante do eixo barrável, na ombreira direita, na margem direita do Riacho Caraíba.

A alternativa estudada para empréstimo de areia foi localizada inicialmente no Riacho Caraíba, no sítio da Barragem, contudo após realização de ensaios, foi constatado que a areia estava muito contaminada. Em alternativa, foram feitas novas prospecções, sendo encontrada uma nova jazida no leito do Rio Ipanema, distando 30,35km do eixo barrável, à montante da barragem do Cabeça.

Ressalta-se, porém, que após as chuvas ocorridas na região no ano de 2018, a

equipe da Techne juntamente com os consultores da SEPLAG, retornaram a área do Riacho Caraíba em 20/06/2018 e verificaram uma nova conformação no leito do Rio, com a presença de areia, possivelmente acumulada devido as chuvas ocorridas na área. Diante disso, foram realizadas novas prospecções no leito do riacho, à montante do eixo da barragem Itaíba.

Por fim, para o material rochoso foi localizada uma pedreira há 1,6 km do eixo, à jusante do eixo barrável.

A Tabela 1 apresenta o volume disponível e a localização dessas jazidas.

Local	Área (m ²)	Espessura Média*	Volume Disponível (m ³)
Jazida 01	1.135.000	0,92	1.044.200
Jazida 02	304.000	0,82	249.280
Areal Rio Ipanema	87.586	2,00	175.172*
Areal Riacho Caraíba	-	-	23.560,35
Pedreira	14.271	7,00	99.897

*Volumes estimados, podendo apresentar valores maiores dependendo da logística de exploração da jazida.

Tabela 1. Volumes de solos disponíveis para empréstimo.

3.3 Ensaios de Laboratório

Foram programados e realizados ensaios de laboratório e de campo com finalidade de proceder à caracterização dos materiais e obtenção das características de permeabilidade, resistência e deformabilidade dos solos de empréstimo, bem como das jazidas de areia e materiais pétreos. Os ensaios realizados e quantidades gerais são apresentados na Tabela 2, as normas utilizadas nos ensaios serão citadas no texto a seguir.

No empréstimo de solo, em amostras deformadas, foram realizados ensaios de caracterização (Preparação das Amostras de Solo – ABNT NBR 6457-86, Determinação da Massa Específica dos Grãos - ABNT NBR 6508-84, Ensaio de Granulometria - ABNT NBR 7181-84, Determinação do Limite de Plasticidade - ABNT NBR 7180-84 e do Limite de Liquidez - ABNT NBR 6459-84), além da determinação do coeficiente de permeabilidade à carga variável (ABNT NBR 14545-00) e ensaio de compactação Proctor Normal (ABNT NBR 7182-86). Também foram realizados ensaios “In situ” para determinação da densidade dos solos, utilizando o método do cilindro de cravação (ABNT NBR 9813-87).

Para caracterização do potencial expansivo dos solos foram realizados ensaios de pressão de expansão e expansão livre, segundo a ABNT NBR 12007-90. Para obtenção das características de resistência e deformabilidade dos solos de empréstimo foram realizados ensaios triaxiais, segundo a BS 1377/7-90 e de cisalhamento direto (ASTM D3080-04).

Ainda foram realizados no material de empréstimo ensaios para avaliação da dispersibilidade de solos Argilosos através de ensaios químicos (CTC).

Os materiais coletados nas jazidas de areia foram submetidos a análise granulométrica por peneiramento (ABNT NBR 7217-87 e DNER ME 083-98), densidade real (ABNT NBR NM 52-09 e DNER ME 084-95), teor de materiais pulverulentos (ABNT NBR 7219-87), permeabilidade constante (ABNT NBR 13292-95) e análise petrográfica (ABNT NBR 7389/1-09).

A amostra de material pétreo foi submetida a análise petrográfica (ABNT NBR 7389/2-09).

ENSAIOS		QUANTIDADES	
ENSAIOS – SOLO		Jazida 01	Jazida 02
Umidade Natural		27	3
Massa Específica Real dos Grãos		27	3
Limite de Liquidez		27	3
Limite de Plasticidade		27	3
Granulometria por Peneiramento		27	3
Granulometria por Sedimentação		27	3
Densidade Natural		27	3
Proctor Normal (Compactação)		27	3
Permeabilidade a carga variável		27	3
Densidade "In Situ"		27	3
Triaxial UU - ensaio consolidado e não drenado		4	0
Expansão livre		4	0
Pressão de expansão		4	0
Ensaio Químico - CTC		4	0
ENSAIOS – AREIA			
		Rio Ipanema	Riacho Caraíba
Granulometria por Peneiramento		2	3
Densidade Real		2	3
Ensaio Pulverulente		2	3
Massa Específica dos grãos		2	3
Permeabilidade a carga constante		2	3
Análise petrográfica		1	-
ENSAIOS – ROCHA			
Análise petrográfica		1	

Tabela 2. Resumo dos ensaios laboratoriais e de campo realizados.

4 | ASPECTOS GEOLÓGICOS GERAIS

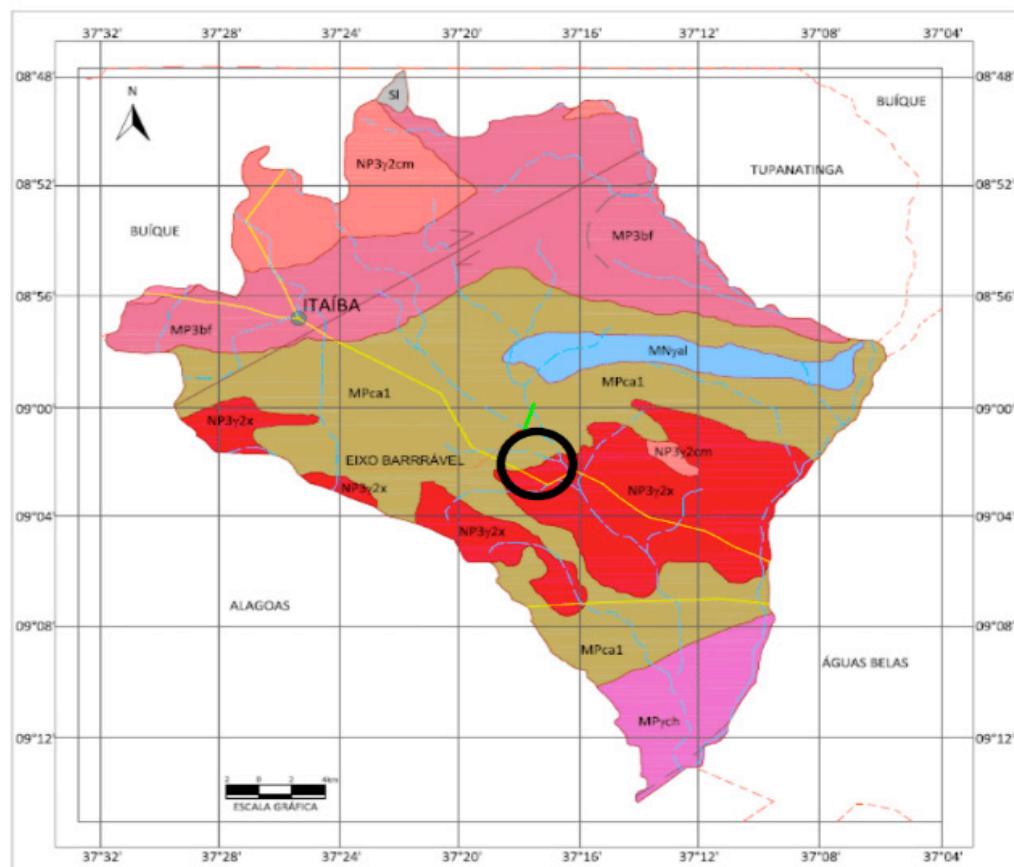
A área de estudo encontra-se geologicamente inserida na Província Borborema, inicialmente assinalada por Almeida *et al.* (1977). Esses autores compartimentaram o território brasileiro em dez extensas regiões geológicas, que apresentavam feições tectônicas, estratigráficas, magmáticas e metamórficas características e distintas dos domínios contíguos. Essas regiões foram denominadas províncias estruturais.

A área de implantação da Barragem Itaíba apresenta uma geomorfologia aplainada, com relevo mais acentuado próximo ao Riacho Carnaíba. Ao longo das ombreiras e no leito do riacho podem ser observados afloramentos rochosos.

No que tange aos solos, predomina, nas ombreiras, o solo residual e secundariamente, verifica-se a presença de solos de alteração. Já no vale do Riacho Carnaíba está presente um solo aluvionar composto de areia média a grossa, que se apresenta recoberto por camadas argilo-siltosas.

O Serviço Geológico do Brasil caracteriza a geologia do município de Itaíba como pertencente, predominantemente, aos Complexos Cabrobó e Belém de São Francisco, e as Suítes peraluminosa Xingo e cálcio-alcalina de alto a médio potássio Itaporanga (Figura 3). As litologias dos complexos fazem parte do mesoproterozóico, enquanto que as suítes datam do neoproterozóico. De maneira secundária observam-se as suítes intrusiva leucocrática peraluminosa e a Chorrochó, e as rochas sedimentares da Formação Tacaratu.

O eixo barrável está localizado no Complexo Cabrobó (Figura 3), que apresenta sequências metassedimentares e metavulcano-sedimentares (paragnaisse com lentes de anfibolitos /metamáficas), e lentes de quartzitos, anfibolitos, mármore e meta-arcósios. Compõem as sequências metassedimentares biotita gnaisses, micaxistas, muscovita gnaisses, metagrauvacas, paragnaisse (ocasionalmente migmatizados) e migmatitos. Observam-se solos de alteração, residual e aluvionar ao longo do eixo, com granulometria variando de areia grossa à média a argilo-siltosa (descrição macroscópica).



UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

PALEOZOICO

FORMAÇÃO TACARATU (SI): ARENITO FINO A GROSSO E CONGLOMERADO

NEOPROTEROZOICO

SUÍTE CÁLCO-ALCALINA DE MÉDIO A ALTO POTÁSSIO ITAPORANGA (cm): GRANITO E GRANODIORITO PORFÍRICO ASSOCIADO A DIORITO

SUÍTE PERALUMINOSA XINGÓ (x): LEUCOGRANITO E GRANODIORITO, FEIJO MIGMATITICA LOCAL

SUÍTE CHORROCHÓ (ch): AUGEN-GNAISSE QUARTZO-MONZOGRANÍTICO A

SUÍTE INTRUSIVA LEUCOCRÁTICA PERALUMINOSA : LEUCOGRANITÓIDE A DUAS MÍCAS COM GRANADA E CORDIERITA

MESOPROTEROZOICO

COMPLEXO BELÉM DO SÃO FRANCISCO (cm): LEUCOGNÁISSE TONALÍTICO-GRANODIORÍTICO MIGMATIZADO, ENCLAVE DE SUPRACRUSTAIS

COMPLEXO CABROBÓ (MPca1): XISTO, GNAISSE, METAVULCÂNICA MÁFICA E MÁRMORE

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

CONTATO GEOLÓGICO

FALHA OU FRATURA

FALHA OU ZONA DE CISALHAMENTO TRANSCORRENTE DEXTRAL

LINEAMENTOS ESTRUTURAIS

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

RODOVIAS

LIMITES INTERMUNICIPAIS

RIOS E RIACHOS

SEDE MUNICIPAL

Figura 3. Mapa geológico de Itaíba. Em destaque o eixo da barragem.

(Fonte CPRM, 2005 – adaptado).

5 | GEOLOGIA E GEOTECNIA DO EIXO BARRÁVEL

A análise geológica da área de implantação do eixo barrável, como já descrita, envolveu, além do contexto geológico, o reconhecimento de superfície, uma investigação de subsuperfície e a análise petrográfica. A Figura 4 mostra a planta com a localização das sondagens e o perfil geológico obtido no estudo. Inicialmente o plano de sondagem abrangia 6 (seis) ensaios SPT e 13 (treze) sondagens mistas, todavia, em decorrência da regularidade geológica do local foram cancelados 3 (três) furos (SMI-07, SMI-08 e SMI-12).

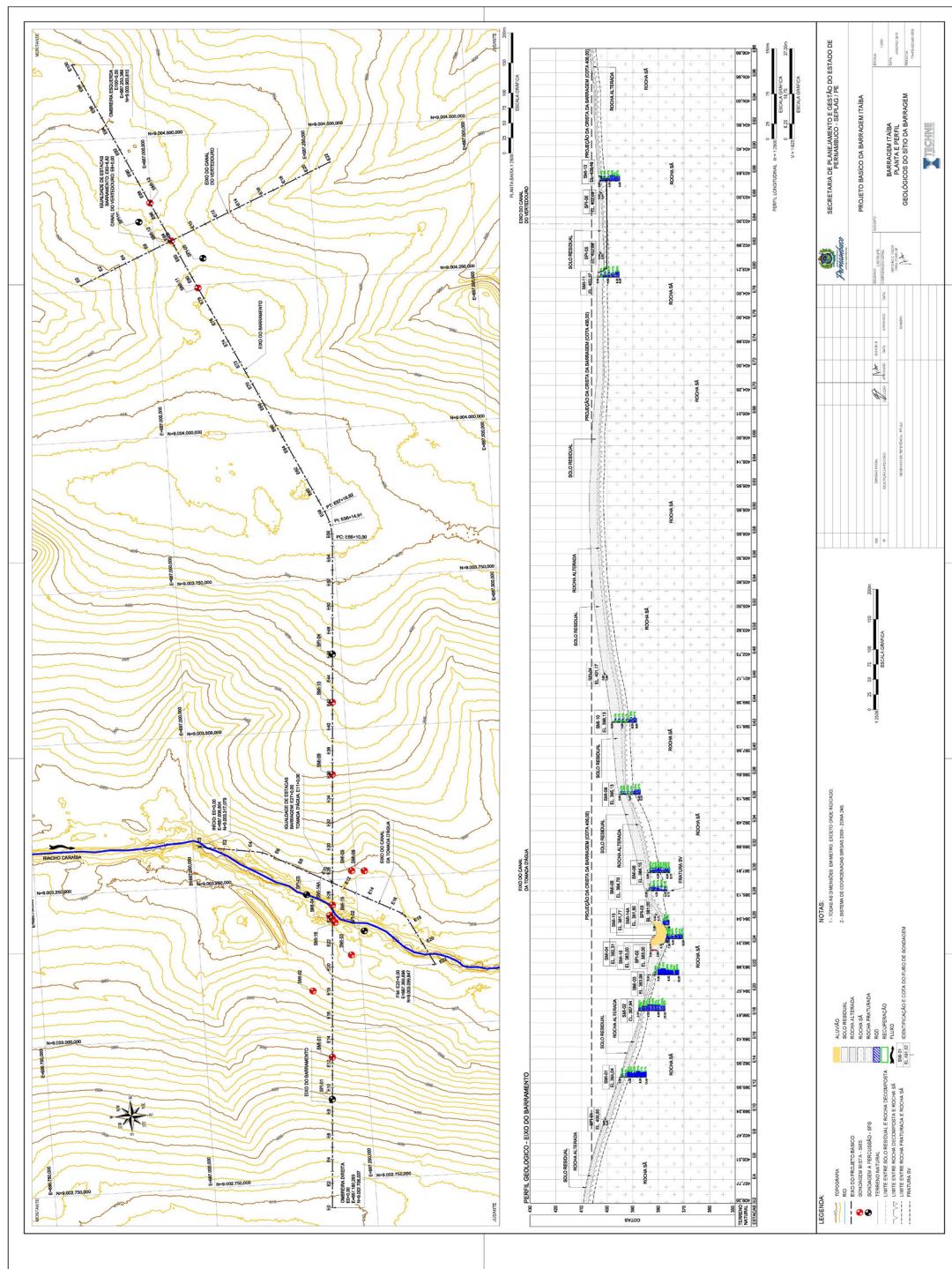


Figura 4: Planta e perfil geológicos do sítio da barragem.

(Fonte: TECHNE, 2017).

No decurso da investigação as sondagens a percussão executadas no perímetro do riacho Carnaíba (SMI-04, SPT-02 e SPT-03) apresentaram uma desproporção quanto à espessura do solo aluvionar. Enquanto o furo executado a montante (SPT-03) identificou uma camada de 0,38cm de aluvião, as sondagens realizadas no leito e a jusante registraram 2,0m e 5,0m deste material, respectivamente. Em defluência dessa dissemelhança foram adicionados 3 furos ao plano de sondagem, intitulados SMI-14A, SMI-15 e SMI-16, locados no leito e no terraço do riacho Carnaíba. Por

conseguinte, a investigação de subsuperfície voltou a contemplar às 13 sondagens mistas previstas preliminarmente.

5.1 Recobrimento de Solos

Os solos dispostos ao longo do eixo barrável apresentam espessura gradando de 0,30 a 5,10m. Nas ombreiras predomina um solo residual com espessura máxima de 0,61m e no perímetro do Caraíba o aluvião, que chega a atingir 3,40m no leito (SMI-14A). O solo aluvionar depositado na margem direita do riacho, a 4m para montante do barramento, apresentou uma espessura de 5,10m (SMI-15). Com relação à margem direita situada a jusante, a espessura deste solo graduou de 2,82m (50m da Est.23+0,00 – SPT-02) à 5,10m (4m da Est.23+14,00 – SMI-16).

No eixo da barragem o solo residual encontra-se depositado sobre solo de alteração, saprolito (furos SPT-01, SMI-09, SMI-10 SMI-11) ou maciço rochoso pouco a medianamente alterado (SMI-01 e SMI-13, extremidade das ombreiras). Já o solo aluvionar se sobrepõe ao maciço rochoso no eixo (SMI-04 e SMI-14-A) e ao solo de alteração à montante e à jusante (SMI-15 e SMI-16).

Abaixo algumas observações acerca das camadas de solo presentes na área de estudo:

O solo residual possui uma granulometria variante. As sondagens posicionadas nas extremidades das ombreiras mostram um solo argilo-silto arenoso e à medida que se aproxima do leito do Carnaíba, observa-se um material composto de uma areia média a grossa siltosa.

O índice de resistência à penetração do solo residual grada de 16 a 43 golpes no eixo. Quanto à permeabilidade, varia de impermeável a $1,56 \times 10^{-6}$ cm/s.

Duas sondagens indicaram nível d'água a 2,10 e 2,20m a partir da boca do furo: SMI-14-A e SMI-15. Referenciando a profundidade do NA com a topografia, observa-se que esses níveis estariam entre as cotas 383,80m e 383,87m. Os furos foram executados em margens diferentes (direita e esquerda, respectivamente) e os resultados sugerem que a camada mais permeável apresenta uma deposição, preferencialmente, sub-horizontal.

Embora a granulometria do solo aluvionar varie, a fração argila está, predominantemente, subordinada ao silte e a areia.

Os resultados dos ensaios de permeabilidade *in situ* realizados no aluvião depositado no eixo e a jusante gradam de $1,15 \times 10^{-3}$ a $3,92 \times 10^{-6}$ cm/s. Todavia, salienta-se que a sondagem SMI-14-A identificou uma camada de areia média à grossa com 1,70m de espessura, que não pode ser ensaiada em decorrência do nível d'água (2,20m). O índice de resistência à penetração do solo aluvionar varia de 10 a 26 golpes.

5.2 Maciços Rochosos

As sondagens mistas indicam que aflora no eixo barrável duas litologias: gnaisse

migmatizado e granito. Intrusões de corpos graníticos são comuns na província geotectônica em que está inserido o empreendimento. Observou-se uma grande variedade no grau de alteração dessas rochas (A5 a A1), condicionada pelos seus planos de descontinuidade. Próximo ao riacho Carnaíba foi registrado solo de alteração sobreposto ao granito alterado (furos SMI-04, SMI-15 e SMI-16).

O grau de fraturamento do granito varia, preferencialmente, entre as classes F2 e F4 (pouco a muito fraturado). Quanto a inclinação, observam-se fraturas sub-horizontais, sub-verticais e inclinadas. O preenchimento é preferencialmente, granular, e a superfície é irregular. No que tange ao gnaisse migmatizado, predominam fraturas sub-horizontais e sub-verticais, irregulares e preenchidas com material granular; eventualmente observa-se uma mistura de material granular e argiloso. Essa rocha metamórfica apresenta-se, na maioria das sondagens, medianamente fraturada (F3) e de maneira subordinada, encontra-se pouco a muito fraturada.

Com relação ao Rock Quality Designation (RQD), prevalece um maciço pobre a muito pobre (R4 a R5). Este parâmetro apresenta-se muito irregular nas sondagens, estando diretamente relacionado com o grau de fraturamento das rochas. Chama a atenção os furos SMI-15 e SMI-16, executados no contorno do riacho Carnaíba, cujo RQD foi 0% ao longo de toda a camada rochosa (2m de espessura, aproximadamente).

Os maciços apresentam uma permeabilidade muito baixa a baixa; apenas 2 trechos ensaiados mostram valores médios ($3,56 \times 10^{-4}$ e $1,40 \times 10^{-4}$ cm/s): 9,75 a 12,0m da sondagem SMI-03 e 5,0 a 8,0m da SMI-09. A primeira foi executada 30m à jusante da Est.18+0,00 e a segunda no eixo, Est.36+0,00. Com relação a condutividade predomina a classe H2 (baixa) e o resultado mais expressivo foi obtido no furo SMI-03, onde o migmatito medianamente fraturado apresentou uma condutividade média (H3), com valor próximo da classe H4 (alta).

6 | ANÁLISE DOS ENSAIOS DE LABORATÓRIO

6.1 Materiais de Empréstimo de Solo

6.1.1 Jazida 01

Na Jazida 01 foram realizados 111 poços de inspeção, dos quais 27 foram ensaiados. A Tabela 3 apresenta o resumo dos ensaios de caracterização dessa jazida, necessários à classificação dos solos.

Os solos foram classificados essencialmente como areias argilosas (SC), areias siltosas (SM) e argila de baixa plasticidade (CL) no Sistema Unificado de Classificação dos Solos – SUCS. Em geral, este tipo de solos, principalmente as areias argilosas (SC), é indicado para utilização em barragem de terra, por apresentarem bom teor de finos que conferem ao solo baixa permeabilidade e pela sua boa trabalhabilidade. É

recomendável pela impermeabilidade e ângulo de atrito favoráveis à estabilidade.

Amostra	Prof. (m)	Compactação		Consistência			Granulometria				Classif. do solo
		w _{ótm} (%)	ρ _{dmáx} (g/cm ³)	LL	LP	IP	Argila	Silte	Areia	Pedreg.	
P01J1	1,10	13,32	1,85	NL	NP	-	5,40	14,10	55,86	24,64	SM
P02J1	0,95	12,74	1,89	38,16	21,69	16,47	19,30	29,00	35,86	15,84	CL
P03J1	1,30	15,40	1,71	39,59	22,55	17,04	28,40	23,00	16,26	32,34	CL
P04J1	0,90	7,65	1,94	26,21	18,10	8,11	12,30	20,40	56,96	10,34	SC
P06J1	0,90	11,26	1,93	23,46	15,81	7,65	15,10	18,40	55,70	10,80	SC
P07J1	0,95	10,37	1,92	36,56	22,43	14,13	21,70	16,20	32,80	29,30	SC
P08J1	1,10	12,60	1,86	33,27	21,50	11,77	13,60	24,60	41,84	19,96	SC
P09J1	1,10	13,61	1,80	37,30	22,49	14,81	15,45	28,90	41,79	13,86	SC
P10J1	1,10	10,83	1,89	NL	NP	-	7,20	8,30	54,10	30,40	SM
P11J1	1,00	9,50	1,95	NL	NP	-	6,60	13,60	73,56	6,24	SM
P12J1	1,20	7,06	1,99	NL	NP	-	6,60	13,70	74,02	5,68	SM
P13J1	1,20	13,24	1,85	22,03	15,54	6,49	11,40	12,05	59,59	16,96	SC
P14J1	0,95	11,52	1,97	NL	NP	-	6,50	9,00	67,78	16,72	SM
P15J1	1,00	13,95	1,87	26,32	19,02	7,30	9,55	8,70	37,35	44,40	GC
P16J1	1,00	10,00	1,91	NL	NP	-	5,60	15,20	59,28	19,92	SM
P17J1	1,05	10,40	1,92	NL	NP	-	9,60	14,05	66,71	9,64	SM
P18J1	1,40	19,75	1,48	52,51	29,82	22,69	44,70	33,95	15,47	5,88	MH
P19J1	0,90	15,60	1,88	43,00	25,84	17,16	37,70	20,00	36,08	6,22	CL-ML
P20J1	0,80	13,80	1,88	39,93	24,08	15,85	21,60	27,40	41,64	9,36	CL
P22J1	1,00	14,85	1,79	39,40	24,39	15,01	24,90	19,97	27,79	27,34	SC
P25J1	0,90	15,10	1,91	34,20	22,02	12,18	18,00	26,87	42,03	13,10	SC
P28J1	1,20	15,43	1,63	44,28	27,35	16,93	26,50	27,80	25,70	20,00	ML
P30J1	0,90	11,75	1,97	34,54	20,31	14,23	17,90	23,80	25,90	32,40	GC
P64J1	1,00	7,90	1,97	24,91	17,38	7,53	7,40	17,90	47,46	27,24	SC
P66J1	0,80	14,43	1,88	23,72	16,89	6,83	5,20	16,35	51,29	27,16	SC
P70J1	0,90	12,00	1,92	25,52	17,54	7,98	13,50	16,00	49,24	21,26	SC
P76J1	1,10	10,34	1,91	36,93	27,04	9,89	23,30	13,80	41,38	21,52	SM

Tabela 3. Resultados dos ensaios laboratoriais e de campo realizados necessários à classificação dos solos.

Ensaios especiais de pressão de expansão e expansão livre realizados nas amostras apresentaram deformações específicas abaixo de 2%, para pressões de expansão em torno de 10 a 20 kPa, indicando a não suscetibilidade do material à expansão. Contudo, no ensaio da amostra P25J1 foi obtido uma deformação específica de 5,8%, um valor considerável, e uma pressão de expansão de 30KPa. Foi Indicado que novos ensaios sejam realizados no Projeto Executivo para confirmação desses

valores, por forma a averiguar a possibilidade de se tratar realmente de um solo expansivo.

Os ensaios de compactação (Proctor Normal) apresentaram valores de umidade ótima entre 7,06 e 19,75% (média = 12,39% e Desvio padrão = 2,84) e peso específico máximo entre 1,48 e 1,99 g/cm³ (média = 1,87g/cm³ e Desvio Padrão = 0,11) .

A umidade natural média do solo foi de 4,11%, a massa específica dos grãos de 2,66 g/cm³, a densidade natural de 1,42g/cm³ e a densidade in situ de 1,28g/cm³. A permeabilidade média foi de $1,77 \times 10^{-6}$ cm/s, indicando solos com baixa permeabilidade.

O ensaio para avaliação da dispersão dos solos, CTC, realizado em quatro amostras, não demonstraram tendência de comportamento dispersivo.

Parâmetros de resistência variaram de 0,40 a 0,61 kgf/cm² para coesão e de 17 a 19 graus para ângulo de atrito, resultantes dos ensaios triaxiais.

6.1.2 Jazida 02

Na Jazida 02 foram realizados 26 poços de inspeção, dos quais 3 foram ensaiados. Os solos foram classificados essencialmente como areias argilosas (SC) no SUCS.

Apresentaram resultados de permeabilidade indicando solos de baixa a muito baixa permeabilidade (média de $9,09 \times 10^{-7}$ cm/s). Os ensaios de compactação (Proctor Normal) apresentaram valores de umidade ótima entre 13,25 e 14,15% (média = 13,82% e Desvio Médio = 0,49) e peso específico máximo entre 1,74 e 1,85 g/cm³ (média = 1,81g/cm³ e Desvio Médio = 0,06).

A umidade natural média do solo foi de 4,53%, a massa específica de 2,65 g/cm³, a densidade natural 1,33g/cm³ e a densidade in situ de 1,34g/cm³.

6.2 Materiais Arenosos

6.2.1 Areal Rio Ipanema

Os ensaios granulométricos indicaram uma areia média a grossa. No ensaio para determinação da massa específica aparente obteve-se 1,47g/cm³ para o poço 01, e 1,48g/cm³ para o Poço 02, para ambos os poços a massa específica absoluta foi de 2,63g/cm³. A média dos valores do ensaio de permeabilidade a carga constante foi de $3,48 \times 10^{-2}$ cm/s.

Os ensaios para avaliação da presença de impurezas no agregado, através do ensaio pulverulento, apresentaram valores muito baixos, inferiores a 1%, não comprometendo a qualidade da areia, no que concerne a este aspecto.

Em relação aos ensaios petrográficos ambas as amostras apresentam características similares, diferindo apenas em parte das suas composições mineralógicas. O poço 01 e o poço 02 possuem mais de 90% do material mineralógico (quartzo e feldspato) de caráter inócuo, ou seja, não reagem em contato com o

cimento e apresentam resistência físico-mecânica adequada. A quantidade de óxidos e sulfetos, material deletério e friável se mostra não significativa, estando dentro dos limites permitidos pela ABNT para o uso do agregado.

6.2.2 Areal Riacho Caraíba

No areal do Riacho Caraíba os ensaios granulométricos indicaram uma areia de média a fina.

O ensaio para a determinação da massa específica aparente apresentou valor de 1,48g/cm³ e absoluta de 2,61g/cm³ para o poço 01; 1,45g/cm³ e absoluta de 2,63g/cm³ para o Poço 02; e 1,57g/cm³ e absoluta de 2,60g/cm³ para o poço 03 . A média dos valores do ensaio de permeabilidade a carga constante foi de $2,06 \times 10^{-2}$ cm/s.

Os ensaios para avaliação da presença de impurezas no agregado, através do ensaio pulverulento, apresentaram valores muito baixos, inferiores a 1%, não comprometendo a qualidade da areia, no que concerne a este aspecto.

6.3 Material Rochoso

A amostra analisada trata-se de uma rocha ígnea plutônica com traços de metamorfismo, intrudida por material granítico-pegmatítico de caráter pré-tectônico (antes do tectonismo que levou ao metamorfismo na rocha). Possui caráter leucocrático (maior porcentagem de minerais félsicos), coloração cinza e textura equigranular. A variabilidade do tamanho dos grãos se deve à intrusão granítico-pegmatítica, encontrando-se granulação fina a média.

Trata-se de um material passível de ser utilizado como agregado graúdo em concreto, sendo recomendada a utilização de aditivos, de forma a combater as possíveis reatividades ou a realização de ensaio mais específico, como o ensaio: Método de Barras Acelerado – ABTN NBR 15577-04.

7 | CONCLUSÕES

A Barragem Itaíba está inserida, geologicamente, no Domínio Pernambuco-Alagoas da Província Borborema. Na área de implantação do eixo observam-se duas litologias principais, gnaisse migmatizado e granito, recobertas por solos residuais e de alteração e por sedimentos do quaternário.

Os solos dispostos ao longo do eixo barrável apresentam espessura gradando de 0,30 a 5,10m. Nas ombreiras predomina um solo residual com espessura máxima de 0,61m e no perímetro do Caraíba o aluvião, que chega a atingir 3,40m no leito.

Os maciços rochosos apresentam uma grande variedade no grau de alteração, condicionada pelos seus planos de descontinuidade. O grau de fraturamento varia

de F2 a F4 e as fraturas são sub-horizontais, sub-verticais e inclinadas. Predomina o preenchimento granular e a superfície é irregular. Com relação ao Rock Quality Designation (RQD), observa-se a prevalência de maciços pobres a muito pobres (R4 a R5).

A permeabilidade dos maciços grada, predominantemente, de muito baixa a baixa, porém, 2 trechos ensaiados mostram valores médios ($3,56 \times 10^{-4}$ e $1,40 \times 10^{-4}$ cm/s): 9,75 a 12,0m da sondagem SMI-03 e 5,0 a 8,0m da SMI-09. Com relação a condutividade predomina a classe H2 (baixa) e o resultado mais expressivo foi obtido no furo SMI-03, onde o migmatito medianamente fraturado apresentou uma condutividade média (H3), com valor próximo da classe H4 (alta).

Em suma, o maciço rochoso presente ao longo do eixo barrável apresenta boas condições com relação ao suporte de carga, a estanqueidade e a resistência ao efeito de erosão causado principalmente pela água. Suas características de deformabilidade possibilitam que qualquer tipo de barragem seja implantada, desde que se retire o aluvião depositado ao longo do eixo.

Em relação aos materiais naturais de construção conclui-se que:

Os solos de empréstimo são viáveis tecnicamente e satisfatórios em termos de volume disponível para utilização em aterros, sendo a maioria das amostras classificadas como areias argilosas (SC) no Sistema Unificado de Classificação dos Solos – SUCS.

Em geral, este tipo de solo, é indicado para utilização em barragens de terra, por apresentarem um bom teor de finos que conferem ao solo baixa permeabilidade e pela sua boa trabalhabilidade. É recomendável pela impermeabilidade e ângulo de atrito favoráveis à estabilidade.

Uma das amostras do material do empréstimo 1 apresentou potencial expansivo; como tal, é conveniente a realização de novos ensaios deste tipo nesta jazida, com o intuito de averiguar a possibilidade de se tratar realmente de um solo expansivo. Caso esta jazida não possa ser descartada, por precaução, o material da mesma deve ser utilizado apenas nas áreas inferiores do maciço, onde o peso próprio do material adjacente erradicará qualquer possibilidade de expansão do material. Relativamente a jazida 2, os solos de empréstimos não apresentaram potencial expansivo. Os materiais das jazidas 1 e 2 não apresentaram potencial dispersivo ou colapsivo.

Em relação ao material arenoso, constatou-se que este apresenta uma granulometria satisfatória, dentro dos limites granulométricos recomendáveis para materiais utilizáveis, em ambas as jazidas. Todos os valores de permeabilidade obtidos foram da ordem de grandeza de 10^{-2} cm/s, levando a crer que é um bom material para aplicação em filtro. No que concerne aos ensaios pulverulentos, os resultados obtidos foram sempre inferiores a 1%, não comprometendo, portanto os valores impostos pela norma (valor máximo de 3% para concreto sujeito a desgaste superficial e 5 a 10% para outro tipo de concreto).

Tanto o material arenoso como o material pétreo apresentaram características

satisfatórias para aplicação em concreto, contudo é recomendável a utilização de aditivos no agregado graúdo, por forma a prevenir possíveis reatividades (RAA), visto que houve indicação de material potencialmente reativo na amostra de rocha ensaiada.

8 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a TECHNE Engenheiros Consultores e a Secretaria de Planejamento e Gestão de Pernambuco - SEPLAG/PE.

REFERÊNCIAS

ABGE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. 1999. **Manual de sondagens. Boletim nº 3**, - 4^a Edição. São Paulo, 73p.

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. 1977. **Províncias estruturais brasileiras**. In: *Simpósio de Geologia do Nordeste*, VIII, Campina Grande, 363-391 p.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2005. **Diagnóstico do Município de Venturosa. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea**, Estado de Pernambuco.

Mapa da Obra. 2017. **A Importância da Geotecnia na Construção Civil**. Disponível em: <<http://www.mapadaobra.com.br/gestao/importancia-da-geotecnia-construcao-civil/>>. Acesso: jan.2018.

TECHNE. 2017. **Elaboração do Relatório Técnico Preliminar, Projeto Básico e Estudos Complementares para a Implantação da Barragem Itaíba, no Município de Itaíba/PE**: Relatório R05 - Relatório dos Estudos Geotécnicos/Geológicos. Recife. 55p.

ANÁLISE DO SOLO LOCALIZADO NA REPRESA DO RIO TAPAJOS NO MUNICÍPIO DE ITAITUBA

Derek Leão Monteiro

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Civil - Belém – Pará

Eliana Costa Seabra

Universidade Federal Rural da Amazônia, Engenharia Ambiental e Energias Renováveis - Belém – Pará

Jamilly Rocha de Araújo

Universidade Federal Rural da Amazônia, Faculdade de Engenharia Ambiental e Energias Renováveis- Belém – Pará

Wesley Leão Monteiro

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Elétrica - Belém – Pará

amostra deformadas para a caracterização de um solo oriundo de uma represa no Rio Tapajós localizada em Itaituba-PA. O preparo de amostras para a análise física foi realizado mediante acondicionamento até o Laboratório de Solos de Engenharia Civil. O objetivo deste estudo foi relatar os seguintes ensaios: Teor de umidade, Granulometria (Peneiramento e Sedimentação), para assim classificar o tipo de solo do local de estudo e se o mesmo está apto para obras de engenharia. A partir dos dados obtidos e utilizando a Classificação Unificada dos Solos podemos classificar o solo ensaiado como solo arenoso-siltoso, mistura de areia e silte. O solo em questão foi classificado como apto para obras de engenharia (Portos, Barragens e Hidrelétricas), desde que sejam realizados estudos prévios, principalmente, no que diz respeito ao tipo de fundação utilizado.

PALAVRAS-CHAVE: Geotecnia. Solos. Itaituba.

ABSTRACT: Please The soil sample is defined as a small representative portion of the soil from which it was taken. These samples can be deformed and undeformed. Any work of Civil Engineering demands the need of previous studies on the behavior of soils, both used as construction material or foundation. For soil analysis, a series of tests are carried out - in situ or in the laboratory, with deformed or

RESUMO: Define-se a amostra de um solo como sendo uma pequena porção representativa do solo do qual foi retirado. Estas amostras podem ser deformadas e indeformadas. Qualquer obra de Engenharia Civil demanda a necessidade de estudos prévios sobre o comportamento dos solos, tanto os utilizados como material de construção ou fundação. Para a análise do solo são feitas uma série de ensaios - in loco ou no laboratório, com amostras deformadas ou indeformadas - com intuito de identificar o solo em questão e verificar se o mesmo está apto para receber obras de engenharia. O recurso hídrico mais importante do município de Itaituba é o rio Tapajós. Nos ensaios descritos foram utilizadas

undisturbed samples - in order to identify the soil in question and verify if it is suitable for receiving engineering works. The most important water resource in the municipality of Itaituba is the Tapajós river. In the described tests, deformed samples were used to characterize a soil from a dam in the Tapajós River located in Itaituba-PA. The preparation of samples for the physical analysis was carried out by wrapping up the Laboratory of Soils of Civil Engineering. The objective of this study was to report the following tests: Moisture content, Granulometry (Sieving and Sedimentation), in order to classify the soil type of the study site and if it is suitable for engineering works. From the data obtained and using the Unified Classification of Soils we can classify the soil tested as sandy-silt soil, sand and silt mixture. The soil in question has been classified as suitable for engineering works (Ports, Dams and Hydroelectric Plants), provided that preliminary studies are carried out, mainly with regard to the type of foundation used.

KEYWORDS: Geotechnics. Soil. Itaituba.

1 | INTRODUÇÃO

O solo pode ser classificado como uma coleção de corpos naturais, constituídos de partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, modificados por interferências antrópicas (EMBRAPA, 2009).

Qualquer obra de Engenharia Civil demanda a necessidade de estudos prévios sobre o comportamento dos solos, tanto os utilizados como material de construção ou fundação. A mecânica dos solos surgiu para estudar o seu comportamento mecânico e consequentemente otimizar a utilização desse recurso. Para a análise do solo são feitas uma série de ensaios - in loco ou no laboratório, com amostras deformadas ou indeformadas - com intuito de identificar o solo em questão. (ORTIGÃO, 2007).

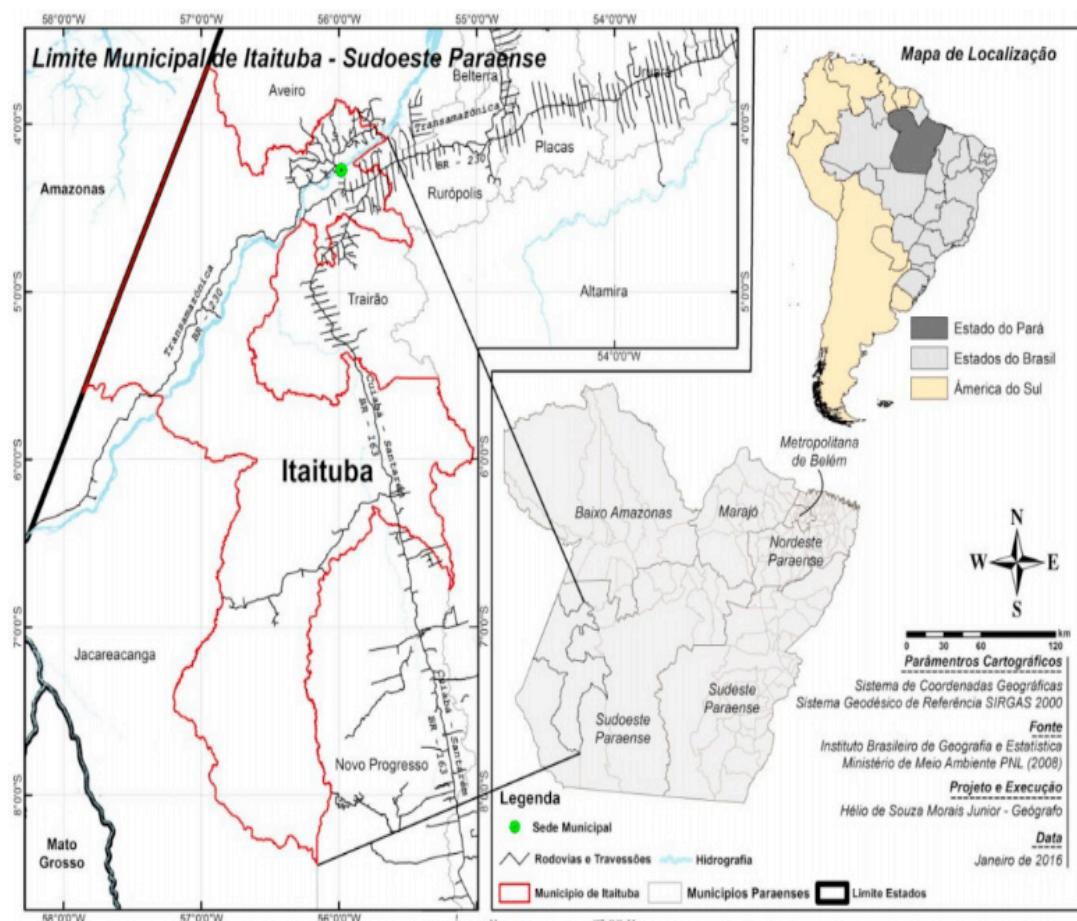
O recurso hídrico mais importante do município de Itaituba é o rio Tapajós, sendo composto pelas sub-bacias do rio Juruena e a sub-bacia do rio Teles, a contribuição destes afluentes e outros afluentes de médio baixo Tapajós estão ligados diretamente ao município de Itaituba. Os dados de cota fluviométrica mostram que os maiores valores encontrados entre as bacias são respectivamente: rio Teles Pires, rio Juruena e rio Tapajós (SANTOS, 2015).

Define-se a amostra de um solo como sendo uma pequena porção representativa do solo do qual foi retirado. Estas amostras podem ser deformadas e indeformadas (EMBRAPA, 1977). Nos ensaios descritos a seguir foram utilizadas amostra deformadas para a caracterização de um solo oriundo de uma represa no Rio Tapajós localizada em Itaituba-PA. Este material foi preparado de acordo com as diretrizes normatizadas da NBR 6457. O objetivo deste estudo foi relatar os seguintes ensaios: Teor de umidade e Granulometria (Peneiramento e Sedimentação), para assim verificar o tipo de solo do

local e se o mesmo está apto para o recebimento e obras de engenharia.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Itaituba é um município do estado do Pará que possui uma área territorial de 62.041,148 Km² (ITAITUBA, 2014). Itaituba localizasse a uma latitude 04°16'34" Sul e a uma longitude 55°59'01" Oeste, e fica na margem esquerda do rio Tapajós (FELIX FILHO, 2013). Os limites do município são: ao norte, o município de Aveiro; ao sul, o município de Jacareacanga; a leste, os municípios de Altamira, Rurópolis, Novo Progresso e Trairão, no estado do Pará; a oeste, o município de Jacareacanga (no estado do Pará) e Maués (no estado do Amazonas). Fica a 1.626 km de distância da cidade de Belém, capital do Estado (BRITO; SILVA; PENA, 2014). (Figura 1).



com o IBGE, estimasse que, em 2015, havia 98.446 habitantes (IBGE, 2015).

O acesso ao município pode ser feito: (1) por via aérea, Aeroporto de Itaituba; (2) rodoviária e rodovias BR163 (Rodovia Cuiabá Santarém) e BR230 (Transamazônica); e, (3) hidroviária, pelo rio Tapajós, conectando a cidade aos portos de Santarém, Belém, Manaus e Macapá (ITAITUBA, 2014, 2015b). A composição da economia municipal encontrasse subdividida da seguinte maneira: setor agropecuário (8,70%), industrial (23,27%), de serviços (59,34%), e impostos (8,67%). Na indústria é marcante a produção de produtos baseados no calcário (matéria-prima abundante no subsolo do município), sendo a cidade uma das principais produtoras de cimento do Brasil. No setor agropecuário, figuram as atividades de agricultura familiar e a pecuária de pequeno porte (FELIXFILHO, 2013). Em Itaituba é possível identificar vários tipos de solos, sendo esses: latossolo amarelo, latossolo vermelho amarelo distrófico, argissolo vermelho-amarelo distrófico, gleissolo háplico, nitossolo vermelho e neossolo fluvico(ITAITUBA,2014).

3 | ANÁLISE DE DADOS

O preparo de amostras para a análise física foi realizado mediante acondicionamento até o Laboratório de Solos de Engenharia Civil. Nos ensaios foram utilizadas aa amostras deformadas para a caracterização do solo oriundo de uma represa localizada no Rio Tapajós em Itaituba-PA, sendo separados em frações por meio de peneiramento e sedimentação.

Inicialmente, a amostra de solo foi seca ao ar livre por até próximo da umidade higroscópica, em seguida a amostra foi destorroada, no almofariz com a mão de gral, e homogeneizada. Após este processo, se realizou o quarteamento até conseguir 2000g de amostra representativa. Passou-se a amostra na peneira #10 (2,00 mm) e nenhum material ficou retido. Deste material foram separados 50 g para determinação do teor de umidade e densidade do solo, e 80 g para o peneiramento miúdo e sedimentação. O restante da amostra passante na peneira com abertura de malha de 2mm foi passado na peneira com abertura de malha de 0,42mm.

O ensaio de sedimentação foi feito para determinar a granulometria de solos compostos de materiais finos. O ensaio de sedimentação se baseia na Lei de Stokes que estabelece uma relação entre o diâmetro da partícula e sua velocidade de sedimentação em um líquido de viscosidade e peso específico conhecido. O procedimento é normatizado pela NBR 7181.

4 | RESULTADOS E DISCURSSÕES

Com os resultados do peneiramento e da sedimentação é possível traçar a

curva granulométrica do material ensaiado. Foi necessário um ajuste nas quantidades obtidas entre os ensaios, para que ocorresse a transição harmônica entre os dois.

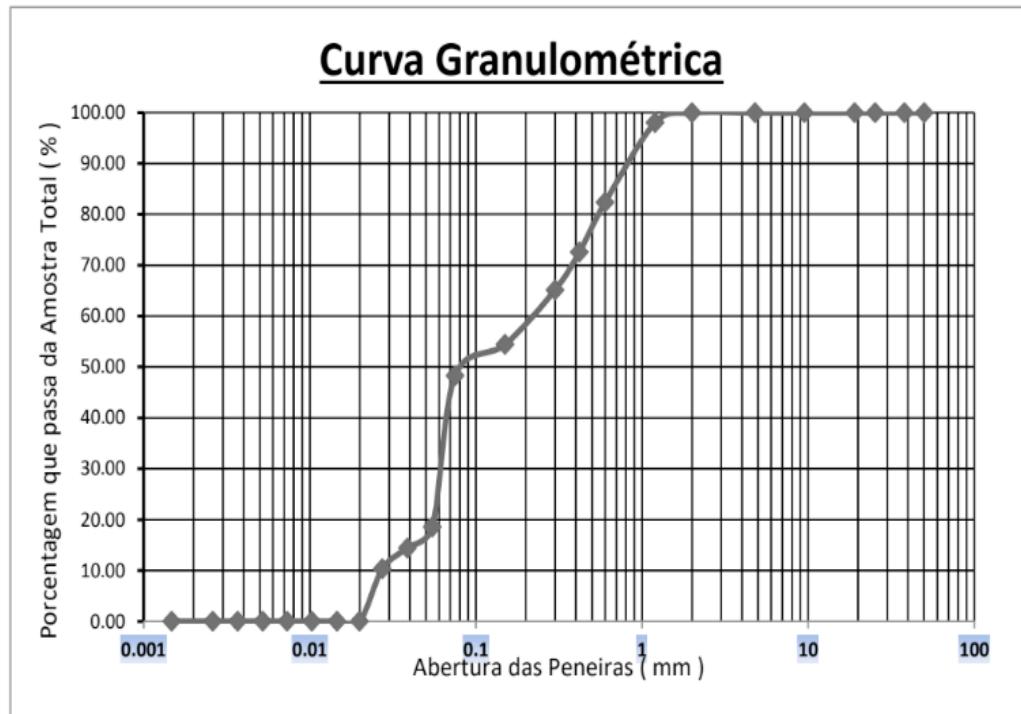


Gráfico 1 – Resultado ensaio de Teor de umidade do solo.

Fonte: Autores

A partir da curva outros parâmetros, coeficiente de uniformidade (Cu) e de curvatura (Cc), do solo foram calculados: Cu = 8,15 e Cc = 0,61. A partir desses dados temos que os Grãos do solo possuem uniformidade média e sua curva é mal graduada. Também foi possível classificar a amostra como sendo um solo arenoso-siltoso, tendo como base a escala granulométrica adotada pela ABNT.

Classificação	Ocorrência (%)		
Pedregulho	0		
Areia	Grossa		17,64
	Média	51,69	17,21
	Fina		16,83
Silte	48,31		
Argila	0,00		
Total	100,00		

Tabela 5 – Classificação granulométrica do solo com base na escala adotada pela ABNT.

Fonte: ABNT,1998.

A partir dos dados obtidos e utilizando a Classificação Unificada dos Solos podemos classificar o solo ensaiado como uma areia siltosa, mistura de areia e silte. O tipo de solo, ocorrência e distribuição dos solos mantêm o mesmo padrão do município

de Itaituba em geral. Predominam solos com pequenas diferenças na quantidade de argila e na coloração.

5 | CONCLUSÕES

O solo apresentou características físicas estáveis, possui uniformidade média na curva granulométrica e curva é mal graduada. O solo em questão foi classificado como apto para obras de engenharia (Portos, Barragens e Hidrelétricas), desde que sejam realizados estudos prévios, principalmente, no que diz respeito ao tipo de fundação utilizado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização: NBR 6457.** Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo - Análise granulométrica:** NBR 7181. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo - Determinação do limite de liquidez: NBR 6459.** Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo - Determinação do limite de plasticidade:** NBR 7180. Rio de Janeiro, 1988.

BRITO, M. T. A.; SILVA, R. B.; PENA, H. W. A. **Análise da dinâmica da estrutura produtiva do município de Itaituba, Para-Amazônia-Brasil.** Observatorio de la Economía Latinoamericana, v. 194, p. 1-16, 2014.

CAPUTO, H. P.; **Mecânica dos Solos e suas Aplicações 6^a edição.** Rio de Janeiro: LTC, 2012.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Serviço Nacional de levantamento e Conservação de Solos.** Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997.

FELIX-FILHO, J. **Amazônia: belezas e verdades dos rios.** São Paulo: All Print Editora, 2013.

ITAITUBA – **Diagnóstico – Plano Diretor Participativo de Itaituba. Itaituba, 2014.**

ORTIGÃO, J. A. R.; **Introdução à Mecânica dos Solos dos Estados Críticos 3^a Edição.** Rio de Janeiro: Terratek, 2007.

PINTO, C. de S. **Curso Básico De Mecânica Dos Solos.** 2^a Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

SANTOS, C. et al. R. G. A - **Regionalização Hidroclimatológica da Bacia Hidrográfica do Rio Tapajós.** 2015. TAITUBA – Diagnóstico – Plano Diretor Participativo de Itaituba. Itaituba, 2014.

ESTIMATIVA DA VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO SERRA GERAL EM BOA VISTA DAS MISSÕES - RS

Willian Fernando de Borba

Centro de Ensino Superior Riograndense
Sarandi - Rio Grande do Sul

Gabriel D'Ávila Fernandes

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria - Rio Grande do Sul

José Luiz Silvério da Silva

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria - Rio Grande do Sul

Bruno Acosta Flores

Universidade Federal do Pampa
Caçapava do Sul - Rio Grande do Sul

Mirta Teresinha Petry

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria - Rio Grande do Sul

Lueni Gonçalves Terra

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria - Rio Grande do Sul

a transmissibilidade de suas águas. Com isso, surgem ferramentas que visam auxiliar no processo de gerenciamento desses recursos, destacando-se as metodologias de determinação da vulnerabilidade do aquífero. A partir disso, objetivou-se, neste estudo, determinar a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação, utilizando o método GOD, no município de Boa Vista das Missões – Rio Grande do Sul. Os resultados mostram que as classes de vulnerabilidade variaram de insignificante a baixa, o que é evidenciado pelas formações geológicas presentes na área, com a presença de rochas basálticas da Formação Serra Geral. Com isso, o aquífero na área de estudo, apresenta-se na forma confinada, o que indica uma maior proteção do mesmo em relação à entrada de contaminantes oriundos da superfície.

PALAVRAS-CHAVE: Água subterrânea. Aquífero. Sistema GOD.

ABSTRACT: The currently expansion of human activities, in both urban and rural areas, and the consequent uncontrolled use of water supplies and inadequate management of groundwater resources can cause serious environmental problems both on time or in a diffuse way of the surface water resources and / or underground. The aquifers have different natural properties that can affect the quality and transferability of

RESUMO: A expansão das atividades antrópicas tanto em zona urbana, quanto rural, e a consequente utilização desenfreada das reservas de água e a gestão inadequada dos recursos hídricos subterrâneos podem acarretar sérios problemas ambientais tanto pontualmente, quanto de forma difusa os recursos hídricos superficiais e/ou subterrâneos. Os aquíferos apresentam distintas propriedades naturais que podem afetar a qualidade e

its waters. With this, arise tools that are intended to assist in the management process of these resources, especially the methodologies for determining aquifer vulnerability. From this, the aim of this research, determine the natural vulnerability of the aquifer contamination, using the GOD method, in the municipality of Boa Vista das Missões - Rio Grande do Sul. The results show that the vulnerability classes varied from insignificante to low, as evidenced by the geological formations present in the area, with the presence of basaltic rocks of the Formação Serra Geral. Therewith, the aquifer in the study area shows itself in the confined form, boasts natural conditions state protection of contaminants because the hydrological and hydrogeological composition offer protection from the middle aquifer.

KEYWORDS: Groundwater. Aquifer. GOD system.

1 | INTRODUÇÃO

O consumo desenfreado dos recursos hídricos subterrâneos, aliado a contaminação dos mananciais superficiais, vem sendo tema de diversos estudos e discussões atualmente. Com isso, surgem ferramentas que visam auxiliar nos processos de tomada de decisão de órgãos gestores. Dentre essas, destaca-se os sistemas utilizados para a determinação da vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos.

Foster et al. (2006) dizem que a “expressão vulnerabilidade do aquífero à contaminação busca representar a sensibilidade de um aquífero aos efeitos adversos de uma carga contaminante a ele imposta”. Em outras palavras, a vulnerabilidade busca identificar quais as áreas que estão naturalmente, isto é o meio físico solo, rocha mais susceptíveis a contaminação dos recursos subterrâneos. Dentre as principais atividades que podem causar alterações nas propriedades intrínsecas dos aquíferos, segundo Ribeiro (2005), em zonas urbanas destacam-se os postos de combustíveis, atividades de despejo de resíduos, tratamento de efluentes industriais, cemitérios, lixões, dentre outras. Com isso, ressalta-se a importância do mapeamento da vulnerabilidade do meio.

Por outro lado, em áreas rurais onde são executados cultivos diversos, com aplicação de agroquímicos, ou ainda associados a criação de suínos, bovinos, equinos, avicultura, libera-se resíduos nas águas superficiais e/ou de infiltração para aquíferos freáticos. Esses são exemplos de contaminação de fontes pontuais difusas (FOSTER et al. 2006).

Atualmente, utilizam-se diversos métodos para a determinação da vulnerabilidade do meio, destacando-se o sistema GOD (FOSTER et al., 2006), DRASTIC (ALLER et al., 1987) além do índice de susceptibilidade dos aquíferos, proposto por Ribeiro (2005). Dentre esses, o mais utilizado no Brasil é o sistema GOD (FOSTER et al., 2006) pelo fato de utilizar apenas três parâmetros, sendo eles o **G** (Groundwater

hydraulic confinement), **O** (Overlaying strata), **D** (Depth to groundwater table).

Existem diversos estudos de vulnerabilidade natural à contaminação utilizando o sistema GOD (FOSTER et al., 2006). Dentre eles, os desenvolvidos em áreas de rochas vulcânicas pela Formação Serra Geral, por Nanni et al. (2005) na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo, Silvério da Silva et al. (2013), no município de Erechim-RS, Reginatto e Alhert (2013) na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, dentre outros

A representação espacial da vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos por meio de cartogramas e mapas em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) é muito utilizado, visto que torna a visualização e interpretação dos resultados mais facilitada tanto em escala regional como local (ROSENBERGER, 2013). Para Martins et al. (2014), um SIG é uma ferramenta com aplicações em diferentes áreas e que pode ser utilizado para auxiliar na gestão de problemas ambientais.

Com base nisso, este estudo tem por objetivo determinar a vulnerabilidade natural à contaminação do Aquífero Serra Geral no município de Boa Vista das Missões – RS, localizado na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul (RS) através do sistema GOD de Foster et al (2006). Para isso, foi organizado um banco de dados e o processamento desses dados. A espacialização do produto final foi realizada com a utilização do *software* SURFER 8.

2 | METODOLOGIA

2.1 Localização da área de estudo

O município de Boa Vista das Missões, emancipado no ano de 1992, está localizado na região noroeste do RS, próximo à divisa com o estado de Santa Catarina. A área de estudo apresenta uma população de 2.114 habitantes, distribuída em uma área de 195,4 km² (IBGE, 2010). Pertencente a Bacia Hidrográfica do Rio da Várzea – U 100 (SEMA, 2004). A Figura 1 apresenta a localização do município estudado.

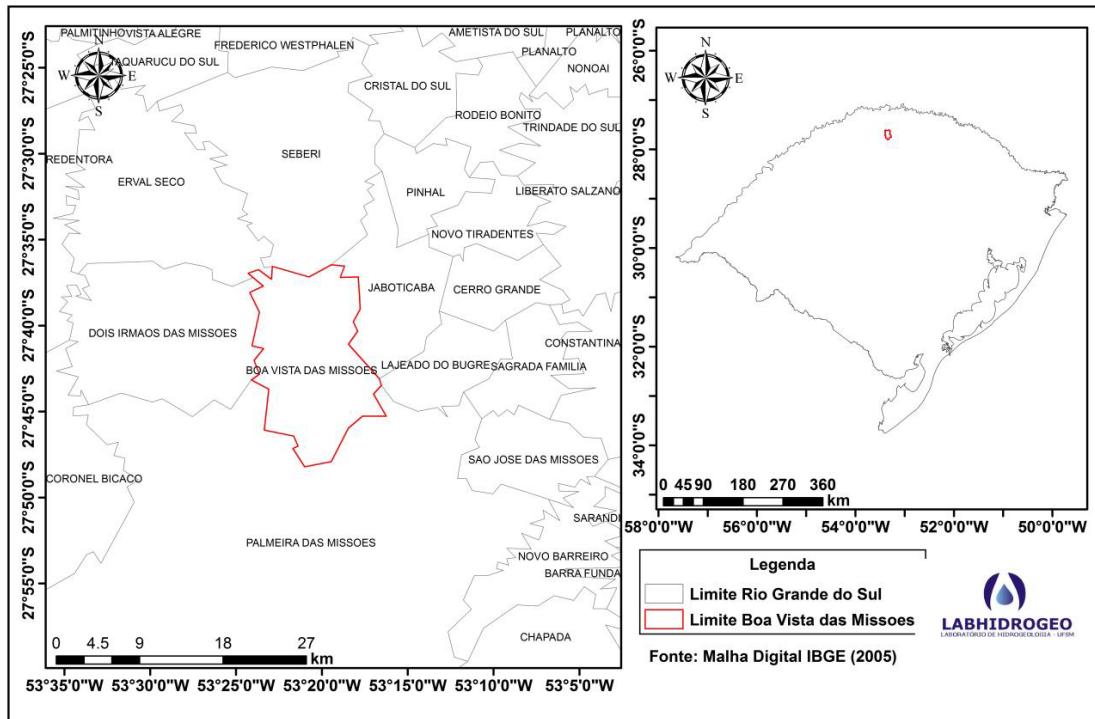


Figura 1 - Localização do município de Boa Vista das Missões - RS.

Fonte: Adaptado de IBGE (2005).

2.2 Caracterização geológica e hidrogeológica

Na área de estudo, está presente a Formação Serra Geral, Fácies Paranapanema. Segundo a Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais - CPRM (2007) essa formação constitui-se por derrames basálticos granulares finos, melanocráticos, contendo horizontes vesiculares, espessos preenchidos com quartzo (ametista), zeolitas, carbonatos, seladonita, cobre nativo e barita. A espessura da camada de solos/manto de intemperismo, de acordo com informações dos perfis litológicos de poços tubulares no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas SIAGAS/CPRM (2015) varia entre 70 e 208 metros.

No que se refere a Hidrogeologia, no município está presente o Sistema Serra Geral I. Machado e Freitas (2005) descrevem que esse sistema se constitui principalmente de litologias basálticas, amigdaloides e fraturadas, capeadas por espesso solo avermelhado. Além do mais, apresentam alta a média possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidades com fraturas.

2.3 Obtenção dos dados

As informações utilizadas para esta pesquisa foram obtidas no *site* do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), mantido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Com isso, foram selecionados doze poços tubulares, pois possuíam as informações necessárias à aplicação do sistema GOD (FOSTER

et al., 2006). A partir disso, foi efetivado um banco de dados com suas respectivas Coordenadas UTM, Cota e Nível estático.

2.4 Determinação da vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação

O método GOD descrito em Foster et al. (2006), leva em consideração os parâmetros G (Grau de confinamento hidráulico da água subterrânea/aquífero), O (Ocorrência de estratos de cobertura) e D (Profundidade/distância até o lençol freático ou o teto do aquífero confinado). Sendo assim, para a determinação do índice de vulnerabilidade, seguiram-se as etapas ilustradas na Figura 2.

O índice de vulnerabilidade é obtido a partir do produto das variáveis GOD, sendo assim, tem-se a vulnerabilidade natural do aquífero a contaminação, que pode ser classificada como: insignificante (valores entre 0 e 0,1); baixa (0,1 e 0,3); média (0,3 e 0,5); alta (0,5 e 0,7) e; extrema (0,7 e 1).

O cartograma foi elaborado dentro de ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) com uso do software *Surfer 8* (GOLDEN SOFTWARE, 2002). A delimitação da área foi feita a partir de *shapefile* disponibilizado pelo IBGE (2005). Para interpolar os dados foi usado o método da Krigagem (LANDIM e STURARO, 2002), o qual, na comparação com outros interpoladores, foi o que melhor representou a realidade dos dados hidrogeológicos dos poços tubulares.

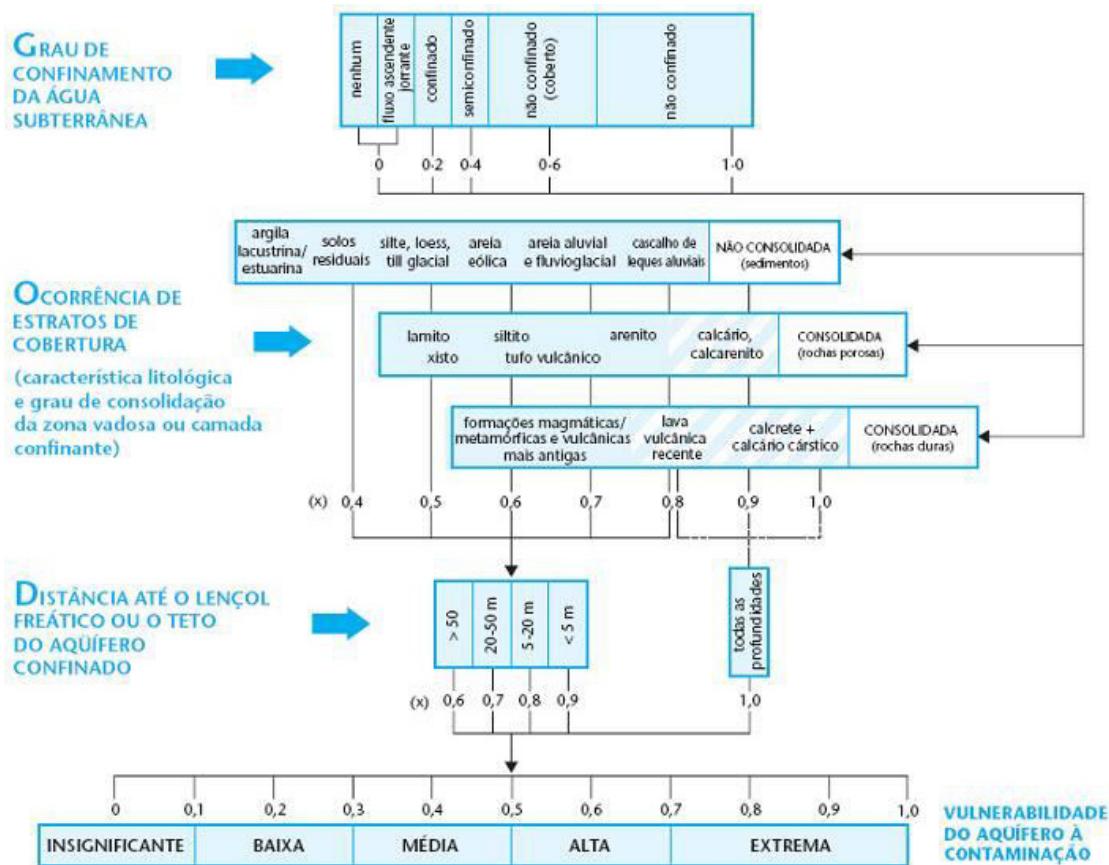


Figura 2 - Etapas necessárias para aplicação do sistema GOD (Foster et al., 2006).

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2015) e Foster et al. (2006).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra o banco de dados efetivado com as informações disponíveis no SIAGAS/CPRM. Verifica-se as notas atribuídas para as captações que continham os registros necessários para a aplicação do sistema GOD (Foster et al., 2006).

Uma observação importante refere-se aos parâmetros encontrados, a condição de confinamento (G) de todas as captações foi confinada. A condição litológica (O) também foi a mesma para todos os poços, correspondente a formações magmáticas antigas (basalto). E a distância até o lençol freático (D), o qual variou de menos de cinco metros à mais de cinquenta metros. Portanto, recebendo nota entre 0,9 até em condições mais rasas. Logo, como maior probabilidade de contaminação, enquanto, em profundidades do lençol freático 50 m, nota 0,6 como mostra a Figura 3.

Código (43000+)	Coordenadas		G	O	D	GOD	Classe
	UTM E (m)	UTM N (m)					
12335	271670	6937847	0,2	0,6	0,9	0,108	Baixa
12329	274560	6930207	0,2	0,6	0,8	0,096	Insig.
12328	272619	6934200	0,2	0,6	0,8	0,096	Insig.
12337	271580	6938449	0,2	0,6	0,8	0,096	Insig.
12327	272295	6936102	0,2	0,6	0,8	0,096	Insig.
12330	275997	6927698	0,2	0,6	0,8	0,096	Insig.
12333	269967	6923549	0,2	0,6	0,8	0,096	Insig.
12332	271349	6926992	0,2	0,6	0,8	0,096	Insig.
12336	271573	6937748	0,2	0,6	0,7	0,084	Insig.
12338	269659	6941041	0,2	0,6	0,7	0,084	Insig.
12339	271204	6938731	0,2	0,6	0,7	0,084	Insig.
12331	275209	6931646	0,2	0,6	0,6	0,072	Insig.

Tabela 1 - Informações das doze captações por poços tubulares selecionadas.

Fonte: Construído a partir de SIAGAS (2015).

A Figura 2 apresenta a sistematização dos resultados obtidos. O cartograma de vulnerabilidade natural do aquífero na área estudada, gerado a partir do programa *Surfer 8*, mostra que a vulnerabilidade predominante foi a insignificante cor (branco). Apenas um dos poços apresentou vulnerabilidade baixa cor (rosa).

Visualiza-se apenas um ponto em cor rosa, ao noroeste. Porém, mesmo com a interpolação, o ponto não apresentou grande significância, pois há, ao redor, muitas captações com vulnerabilidade insignificante.

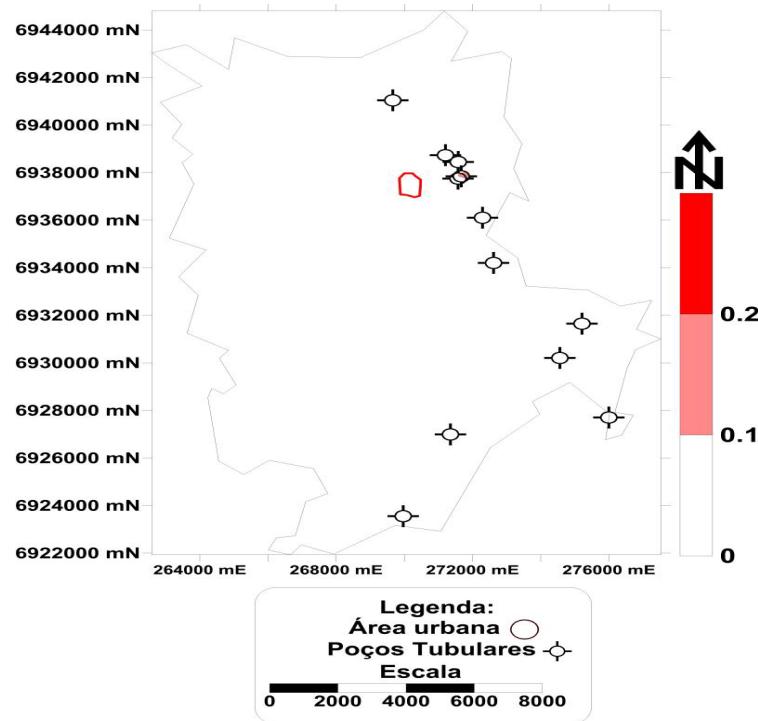


Figura 3 - Vulnerabilidade natural a contaminação em Boa Vista das Missões-RS

4 | CONCLUSÃO

A área de estudo é caracterizada, geologicamente, por rochas basálticas e seus solos e produtos de alteração. Isso confere ao meio uma maior resistência aos possíveis processos de contaminação.

O produto final do trabalho mostrou que, das doze captações avaliadas, uma apresentou vulnerabilidade baixa, as demais tiveram vulnerabilidade insignificante. O que se justifica também pela formação geológica.

As avaliações de vulnerabilidade natural ao aquífero são importantes ferramentas na definição de zoneamentos e planos que vislumbrem gerir o meio ambiente. Podem ser utilizadas pelos diversos órgãos públicos para o licenciamento de atividades potencialmente poluidoras.

O sistema GOD mostrou-se uma ferramenta potente para a estimativa de vulnerabilidade das reservas subterrâneas. Ainda assim, sugere-se a aplicação de outras metodologias para a posterior comparação e avaliação da carga contaminante.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, pelo auxílio financeiro através das bolsas de pós-graduação, PPGEAmp e PPGEC da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

REFERÊNCIAS

ALLER, L.; BENNETT, T.; LEHR, J. H.; PETTY, R.J.; HACKETT G. DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings, NWWA/EPA, 1987.

CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000**. CPRM: SIAGAS, Brasília, 2007.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Groundwater Management Advisory GW.MATE WB, Washington, 2006. 114 p.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer User's Guide Coutouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers**. Colorado: GOLDEN SOFTWARE, 2002.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha Municipal Digital do Brasil: 2005 (escala 1:500.000)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2005. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/malhas_digitais/municipio_2005/E1000/Proj_Geografica/Arc_View_shp/Regiao/Sul/>. Acesso em: 14 Nov. 2014.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 12 Mar. 2014

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. **Krigagem indicativa aplicada a elaboração de mapas probabilísticos e de risco**. Rio Claro: DGA/IGCE/UNESP, 2002. 19 p.

MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. **Projeto mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul: escala 1:750.000, relatório final**. Porto Alegre, CPRM, 2005.

MARTINS, E. M.; FORTES, J. D. N.; RIBEIRO, G. P.; PEREIRA, M. F. M. Utilização de Sistema de Informação Geográfica como ferramenta para gestão do monitoramento da qualidade do ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, RJ, v. 19, p. 43 – 49, 2014.

NANNI, A. S.; FREITAS, M. A.; TEDESCO, M. A.; BINOTTO, R. B. Vulnerabilidade natural e risco de contaminação do aquífero Serra Geral pela suinocultura na região das missões - RS. **Anais... XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, João Pessoa, 2005. João Pessoa, ABRH.

REGINATO, P. A. R.; AHLERT, S. Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Serra Geral na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, SP, v. 27, p. 32 – 46, 2013.

ROSENBERGER, M.; VARNIER, C.; IRITANI, M. A.; FERREIRA, L. M. R.; ODA, G. H.; VIOTTI, M. Vulnerabilidade natural à contaminação do Sistema Aquífero Bauru na área urbana do município de Bauru (SP). **Revista do Instituto Geológico**, Rio de Janeiro, RJ, v. 34, p. 51-67, 2013.

SEMA. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Mapa das Bacias Hidrográficas e Municípios do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, SEMA, 2004.

SIAGAS. SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Pesquisa geral**. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em: 28 ago. 2014.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; DESCOWI FILHO, L. L. V.; LORENSI, R. P.; CRUZ, J. C.; ELTZ, F. L. Vulnerabilidade do Aquífero Serra Geral à contaminação no Município de Erechim - Rio Grande do Sul - Brasil. **Revista Ciência e Natura**, Santa Maria, RS, v.. 35, n.1, p. 10 - 23, 2013.

LEVANTAMENTO DE SOLOS DO JARDIM BOTÂNICO DE PORTO ALEGRE

Edsleine Ribeiro Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos.

Porto Alegre- RS.

Luis Fernando da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio Grande do Sul. Bento
Gonçalves-RS.

Paulo César do Nascimento

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos.

Porto Alegre- RS.

RESUMO: O reconhecimento dos principais fatores e processos ambientais atuantes em uma área de estudo é fundamental para o uso sustentável de seus recursos naturais. O Jardim Botânico de Porto Alegre (JB-FZB) atua na manutenção de ecossistemas regionais, práticas horticulturais de espécies raras ameaçadas de extinção, entre outras atividades como pesquisa, extensão e lazer. O presente estudo visou gerar subsídios que auxiliam o cultivo adequado das plantas e ambientes de interesse de conservação, buscando fornecer informações estratégicas para a gestão ambiental e elaboração de um plano de manejo da Unidade de Conservação. Após revisão bibliográfica de estudos realizados na área e região de entorno, foram adotados os principais

procedimentos para levantamentos de solos em escala detalhada, com reconhecimento e descrição de características morfológicas de maneira preferencial ao longo das principais feições de relevo. Foram realizados 26 pontos de amostragem com observações pontuais por tradagem. Foram escolhidos os locais para abertura de trincheiras e estudo mais detalhado dos solos, com a coleta de amostras para as análises químicas, físicas e mineralógicas. Houve o estudo mais detalhado de uma topossequência representativa e o mapeamento de solos do Parque. O estudo detalhado tornou a informação sobre a distribuição dos solos mais aplicável para esta área, como também contribuiu para o manejo e o uso adequado de acordo com a aptidão dos solos.

PALAVRAS-CHAVE: Levantamento de solos. Classificação de solos. Diagnóstico ambiental.

ABSTRACT: The recognition of the main environmental factors and processes which act in a study area is fundamental for the sustainable usage of the natural resources. The Porto Alegre Botanical Garden (JB-FZB) has a role in the maintenance of the regional ecosystems, in the horticultural practices of rare endangered species, and other activities such as research, extension and leisure. This study had to create aids in order to assist the adequate cultivation of plants and environments of interest for

conservation, seeking to provide strategic information for environmental management and for creation of a Conservation Unity management plan. After bibliography review on studies made in the area and surrounding region, it was used the main procedures for soil survey in detailed scale, with recognition and description of morphologic characteristics in preferential manner along the main topography features. It was performed 26 samples with observations made by borehole survey. It was chosen the places for trenches openings and for more detailed soil studies, with samples collect for chemical, physical and mineralogical analyses. There was a more detailed study over a representative toposequence of the Park soil distribution. The detailed study made the soil distribution information more applicable for this area as contributed for the adequate handling according to the soil aptitude.

KEYWORDS: Soil survey. Soil classification. Environmental diagnostic.

1 | INTRODUÇÃO

O conhecimento dos fatores naturais atuantes em áreas de conservação ambiental é fundamental para os usos sustentáveis destes recursos. O entendimento de características e distribuição dos solos apresenta grande importância em áreas destinadas a Unidades de Conservação. Com auxílio do levantamento detalhado de solos são adquiridas informações para o planejamento e otimização do uso deste recurso nas atividades inerentes a estes locais (Cultivo de coleções, manejos horticulturais, educação ambiental, lazer, pesquisa e extensão).

Com cerca de 40 hectares, o Jardim Botânico de Porto Alegre (JB-FZB) é uma importante área verde presente em meio à matriz urbana da capital do Rio Grande do Sul. Dentre as ações realizadas pelo JB-FZB, destaca-se o cultivo de espécies raras e ameaçadas de extinção, conservação integrada dos ecossistemas regionais na área pertencente ao parque e educação ambiental. O JB-FZB ainda não possuia estudos mais detalhados sobre a caracterização e os processos de formação de seus solos. Outro fator limitante é a escala do mapa de solos de Porto Alegre, que não permite o detalhamento das características e da localização destes dentro da Unidade de Conservação. Deste modo, a caracterização no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013) e a elaboração do mapa detalhado de solos do parque do JB-FZB são subsídios importantes para o planejamento de práticas horticulturais de plantas nos arboretos, assim como a conservação dos ecossistemas regionais.

Além do caráter interdisciplinar da ação de extensão, os resultados do trabalho irão apoiar ainda outras ações realizadas dentro da área do Jardim Botânico, incluindo atividades de planejamento estrutural e a disponibilização de novas informações para a realização de visitas educativas orientadas.

Diante da importante missão do JB-FZB em consolidar-se como centro de referência em conservação, educação, pesquisa, cultura e lazer, a proposta de trabalho

teve como objetivo a execução do levantamento de solos do Jardim Botânico de Porto Alegre, como parte importante no diagnóstico ambiental, com vistas à elaboração de um plano de manejo para esta Unidade de Conservação.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O Jardim Botânico de Porto Alegre (JB-FZB), Unidade de Conservação pertencente à Fundação Zoobotânica do Estado do Rio Grande do Sul (FZBRS), ocupa uma área de aproximadamente 40 ha na região urbana de Porto Alegre, circunscrito às coordenadas UTM 6675000 e 6675950 (latitude) e 482600 e 483500 (longitude) (FZB, 2009). Com precipitação anual de 1.300 mm e meses mais chuvosos entre maio e setembro, o clima da região é classificado como subtropical úmido. A vegetação original da região é classificada como Área de Tensão Ecológica, caracterizada pelo contato entre a Floresta Estacional Semidecidual, a Savana, e as Áreas de Formações Pioneiras Litorâneas (RADAMBRASIL, 1986), estas formações ocorrem naturalmente na área do Jardim Botânico (FZB, 2009) entre os arboretos cultivados. O relevo predominante é de colinas, com influência de terraços aluviais do Arroio Dilúvio (FZB, 2004). O estudo sobre os solos do JB-FZB foi executado seguindo procedimentos definidos em EMBRAPA (1995).

A primeira etapa do trabalho consistiu na revisão bibliográfica de estudos já realizados na área e região de entorno. Para o trabalho de campo foram adotados os principais procedimentos para levantamentos de solos em escala detalhada, com o reconhecimento e descrição de características morfológicas dos solos. A distribuição das unidades amostrais foi realizada de maneira preferencial ao longo das principais feições de relevo, buscando compreender e delimitar a distribuição dos diferentes tipos de solos dentro dos limites do Parque, permitindo a elaboração de uma legenda preliminar de mapeamento. A densidade de observações foi adequada para um levantamento em escala detalhada e detecção da diversidade de solos locais a partir de uma prospecção inicial (Figura 1).

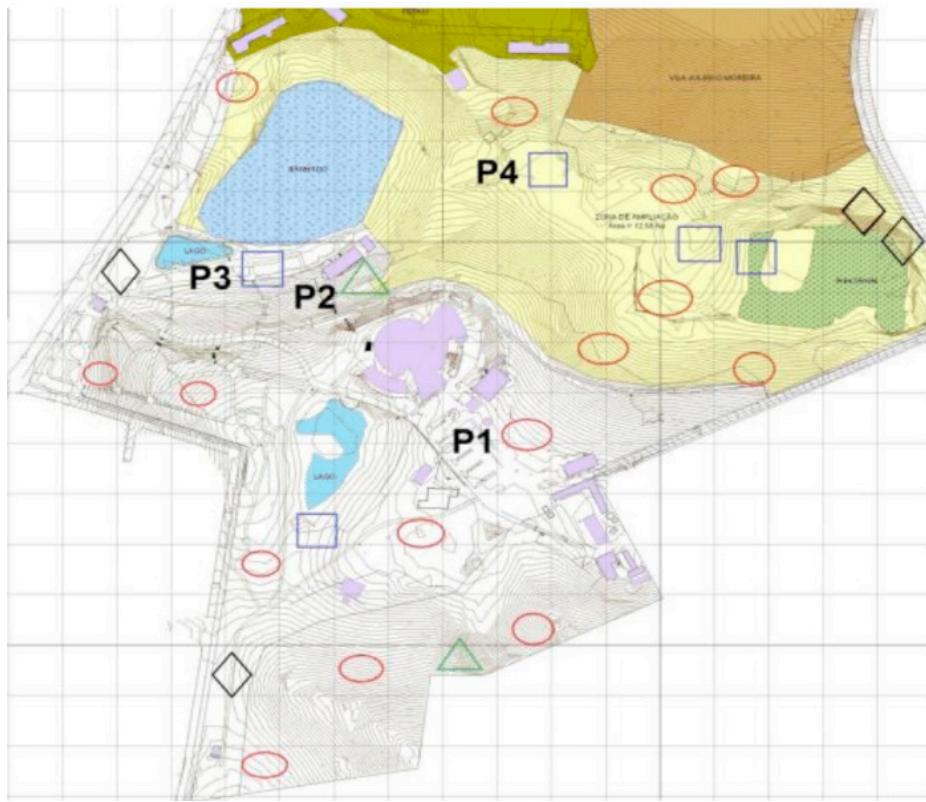


Figura 1: Mapa topográfico do Jardim Botânico PoA, com a densidade de pontos observados e legenda preliminar das diversas classes de solo descritas no parque. Elipse – Argissolo; Triângulo – Neossolo e Cambissolo; Quadrado – Planossolo e Gleissolo; Losângos – Tipos de terreno (área alterada por ação antrópica).

Posteriormente, foram selecionadas áreas com ocorrência das principais unidades taxonômicas mapeadas para avaliação detalhada de perfis.

Além das observações pontuais por tradagem foram abertas quatro trincheiras para interpretação de perfis e coleta de amostras para análises químicas, físicas e mineralógicas.

Em laboratório, as amostras foram secas ao ar e peneiradas em peneira 2 mm de malha, para separação da fração cascalho e obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Após obtenção deste material foram realizadas as análises.

As análises físicas consistiram na determinação da granulometria após dispersão de amostras da fração terra fina seca ao ar (TFSA) com NaOH 0,1 mol L⁻¹ e agitação mecânica por duas horas. A fração areia foi separada por tamisação úmida em peneira com malha de 0,053mm. A fração argila foi determinada pelo método da pipeta e o silte calculado por diferença. O mesmo procedimento foi utilizado, sem a adição de dispersante químico (NaOH), para a determinação da argila dispersa em água (ADA), permitindo o cálculo do grau de flocação deste material (EMBRAPA, 1997). A condutividade elétrica foi determinada por meio de condutivímetro em pasta saturada; e a densidade do solo foi obtida por meio de coleta de amostras indeformadas (EMBRAPA, 1997).

As análises químicas determinaram os teores de K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ trocável, teores de H⁺ + Al³⁺ e carbono orgânico total conforme procedimentos descritos em

EMBRAPA (1997). A partir destes dados foram calculados: capacidade de troca de cátions (CTC_{pH 7,0}), saturação por alumínio (Al%) e saturação por bases (V%). Foi realizado, para a determinação de teores de SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, K₂O, TiO₂ e MnO₂, por meio de ataque sulfúrico segundo procedimentos preconizados em Embrapa (1997), assim obtendo-se índice de intemperismo Ki através da expressão: Ki = (1,7 * SiO₂)/Al₂O₃. Foram também realizadas as dissoluções seletivas com ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) de sódio a 80 °C (Mehra e Jackson, 1960), na fração TFSA e na fração argila, bem como com oxalato de amônio 0,2 mol L⁻¹ a pH 3,0, em ausência de luz (Schwertmann, 1964). Os teores de Si, Al e Fe, constituintes dos minerais pedogênicos e solubilizados por estas extrações, foram determinados por espectroscopia de absorção atômica (EAA).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

O trabalho de levantamento de solos do Jardim Botânico de Porto Alegre permitiu a observação de perfis de solos em 26 pontos, a elaboração de um mapa de distribuição da diversidade e descrição dos solos com legenda preliminar ao longo de sua área. Com base nestas observações, quatro perfis de solo, representativos da ocorrência e distribuição na área foram estudados mais detalhadamente, envolvendo características e atributos relacionados à formação. Estes solos foram enquadrados em classes estabelecidas pelo Sistema brasileiro de Classificação de solos (SBCS). Foram escolhidos perfis em diferentes posições topográficas e composição da vegetação, a saber, terço superior (campo nativo); terço médio (espécies tropicais); sopé (espécies leguminosas) e várzea (espécies nativas e higrófilas) (Figura 2).

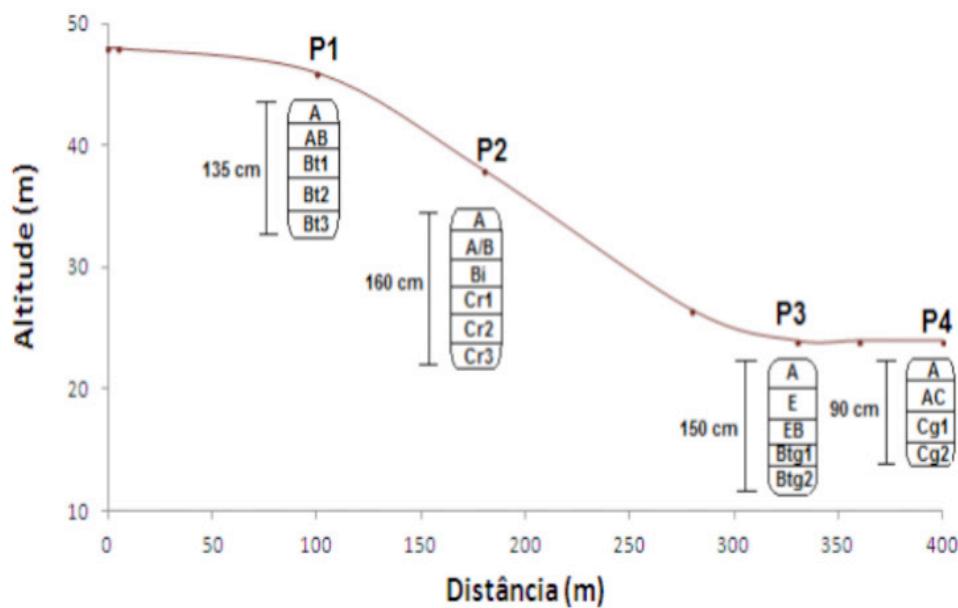


Figura 2: Topossequência esquemática da distribuição dos solos no relevo

A classificação dos solos até o quarto nível categórico no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013) foi baseada nos atributos como profundidade efetiva, sequência de horizontes, granulometria e composição química. Os solos apresentados foram classificados como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (P1), Cambissolo Háplico Tb Distrófico (P2), Planossolo Gleissólico Háplico Distrófico (P3), Gleissolo Melânico Tb Eutrófico (P4). As características morfológicas dos perfis mostraram grande relação com a posição na paisagem evidenciada, por exemplo, pela maior profundidade e cores cromáticas em P1, indicando maior intemperismo em posição de boa drenagem. Em P2, a menor profundidade até o horizonte C e colorações variegadas indicam intemperismo incipiente, em posição de relevo onulado. Em P3 e P4 a saturação por água condicionou a cor cinza do solo, relacionado à dissolução de óxidos de ferro em ambiente anaeróbio (Figura 3).



Figura 3: Imagem dos perfis de solo da topossequência, representantes da distribuição de solos presentes no Parque. Perfis: P1(terço superior), P2 (terço médio), P3 (terço inferior) e P4 (várzea) respectivamente.

Os perfis P1 e P3 mostraram aumento acentuado de argila com relação indicada para a classificação dos horizontes como B textural e B plânico, respectivamente. A presença de gradiente textural no solo propicia o acúmulo de água sobre o horizonte mais argiloso, podendo ocasionar armazenamento de água nos períodos de chuva prolongada, ou seja, menor infiltração ao longo da profundidade do solo e maior escorramento superficial, consequentemente maior suscetibilidade a erosão, principalmente em solos localizados nas áreas com declividade acentuada. Estas condições ambientais permitem a recomendação de uso das áreas com implantação e manutenção de cobertura vegetal e menor revolvimento do solo. Os perfis de solos são ácidos, em geral, com pH variando entre 4,5 e 5,7, sendo os perfis P1, P2 e P3 distróficos com baixa fertilidade. Esta baixa fertilidade química está relacionada ao intemperismo moderado a avançado destes solos, com condição que permite a

perda de nutrientes do solo. As espécies vegetais alocadas nestas áreas devem ser escolhidas, respeitando as características de profundidade, acidez e fertilidade do solo.

No perfil P2, localizado no terço médio da encosta, a presença de mosqueados e variegados, em condições de boa drenagem, indica um estágio de intemperismo menos avançado. Em P3, os valores de pH são mais baixos, o que pode levar a desestabilização de minerais de argila. Este solo foi classificado como distrófico, apresentando baixa fertilidade química.

No perfil P4 o caráter eutrófico indica maior fertilidade química do solo, o que pode estar relacionado ao acúmulo de nutrientes vindos da porção superior do relevo pelo transporte lateral da água. A baixa densidade do solo (entre 1,01 e 0,93 g cm) também é resultado do maior conteúdo de matéria orgânica. Porém apresenta cores mosqueadas, indicativo de lençol freático oscilante e ambiente mal drenado, o que é considerado um limitante para alocação de algumas espécies, construção de instalações ou trilhas de visitação. O conhecimento sobre as características e diversidade de solos presente no JB, permite a avaliação mais completa sobre este recurso nas diferentes áreas do Parque, contribuindo para o respeito à aptidão do solo no cultivo, manejo horticultural ou ampliação de instalações.

4 | CONCLUSÕES

As características de solos no JB-PoA seguiram um padrão esperado de distribuição, de acordo com a ocorrência das classes taxonômicas observadas em Porto Alegre. Os solos mais profundos e bem drenados foram encontrados na porção superior do relevo, solos menos espessos em local mais declivoso e solos hidromórficos na porção mais baixa do relevo. A interpretação da caracterização apresentada serve de subsídio para o planejamento e execução das atividades ligadas a Unidade de Conservação, destacando-se a alocação de espécies vegetais de acordo com as características do solo e das glebas em geral, definição de áreas para atividades de educação ambiental, recreação, lazer e delimitação de áreas prioritárias para atividades de pesquisa. O estudo detalhado tornou a informação sobre a distribuição dos solos mais aplicável para esta área, como também contribuiu para o manejo e o uso adequado de acordo com a aptidão dos solos.

REFERÊNCIAS

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. Brasília: Embrapa, SPI, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 221 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3. ed. Brasília, F: EMBRAPA, 2013. 353 p.

FUNDAÇÃO ZOOBOTÂNICA DO RIO GRANDE DO SUL. **Jardim Botânico de Porto Alegre:** 50 anos conservando a flora gaúcha. Porto Alegre: Jardim Botânico de Porto Alegre, 2009. 72 p. (Publicações Avulsas FZB, 15).

FUNDAÇÃO ZOOBOTÂNICA DO RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente - RS. **Plano diretor do Jardim Botânico de Porto Alegre.** Porto Alegre: [s.n.], 2004. 86 p.

MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. **Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate.** Proc. Clays Clay Miner. Conf., 7:317- 327, 1960.

RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos Naturais. Folha SH 22** – Porto Alegre e parte das Folhas SH 21 –Uruguaiana e SI 22 – Lagoa Mirim. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia Estatística – Ministério do Planejamento. Rio de Janeiro, 1986.

SCWERTMANN, U. **Differenzierung der eisenoxide des bodens durch extraction mit ammoniumoxalat-lösung.** Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd., 105:194-202, 1964.

SUBSÍDIOS GEOLÓGICOS PARA O PLANEJAMENTO URBANO E AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE IGREJINHA/RS

Saulo Borsatto

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Instituto de Geociências, Departamento de
Geodésia, Porto Alegre - RS

Norberto Dani

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Instituto de Geociências, Departamento de
Geodésia, Porto Alegre - RS

Rafael da Rocha Ribeiro

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Instituto de Geociências, Departamento de
Geodésia, Porto Alegre - RS

Nelson A. Lisboa

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Instituto de Geociências, Departamento de
Geodésia, Porto Alegre - RS

no município), Formação Botucatu e Formação Serra Geral. Os pacotes sedimentares da Formação Botucatu têm espessuras médias de 70 metros e afloram de forma contínua na área do município, principalmente nas bases das escarpas dos vales. O contato superior com os basaltos da Formação Serra Geral é discordante. Foram identificadas rochas vulcânicas básicas (Fácies Gramado) e lavas ácidas (Fácies Caxias), com predomínio das primeiras, localizadas na região de escarpas. As lavas ácidas são restritas a uma pequena porção no extremo noroeste do município. As lavas basálticas que afloram na porção central do município foram divididas em dois materiais distintos, Basaltos I (com grande variabilidade mineralógica e textural e alta suscetibilidade à alteração, geram solos espessos, de textura argilosa e coloração vermelha a roxas) e Basaltos II (geralmente pouco alterado e com disjunções colunares bem desenvolvidas). Os depósitos coluviais são expressivos havendo depósitos importantes nas bases das encostas e fundos de vales. Há depósitos de colúvios no contato de derrames e nos sopés e superfícies dos morros.

PALAVRAS-CHAVE: Geologia; Igrejinha; mapeamento geológico; basalto.

ABSTRACT: Igrejinha is a town located in the valley of the Paranhana river. The town has a

history of flood events and large landslides including some with victims and that was the reason to carry out a geological mapping of the entire municipality. Three geological Formations of interest were identified: Pirambóia Formation (with no outcrops in the municipal area), Botucatu Formation and the Serra Geral Formation. Locally were also found aluvio-colluvial deposits. The sedimentary packages of the Botucatu Formation have average thickness of 70 meters and emerge continuously in the municipal area, mainly on the basis of the cliffs of the valleys. The upper contact with the basalts of the Serra Geral Formation is discordant. Basic volcanic rocks (Gramado Facies) and acidic lavas (Caxias Facies) were identified, with predominance of the first, located on the slopes of the region. The acidic lavas are restricted to a small portion in the extreme northwest. Basaltic lavas that surface in the central portion of the town were divided into two distinct materials, Basalts I (with large mineralogical and textural variability and high susceptibility to weathering, generate thick soils, clayey and red to purple color) and Basalts II (generally less weathered and with well-developed columnar discontinuities). The colluvial deposits are expressive with important deposits at the base of slopes and valley bottoms. There are colluvium deposits in the lava flow contact and in the foothills and slope surfaces.

KEYWORDS: Geology, Igrejinha, geological mapping, basalt

1 | INTRODUÇÃO

O rápido crescimento populacional dos centros urbanos exige a ocupação imediata de novas áreas, acarretando na redução da disponibilidade de terrenos em áreas seguras. Essa acelerada expansão provoca a ocupação de áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos. Estas condições representam um enorme desafio aos municípios brasileiros, que precisam formular e implementar políticas públicas relacionadas a estas situações inadequadas de uso e ocupação do solo. O município de Igrejinha/RS foi escolhido para o trabalho de mapeamento em função de um histórico de eventos de inundações e escorregamentos, inclusive com vítimas fatais, sendo o município listado no Cadastro Nacional de Municípios com problemas.

2 | ÁREA DE ESTUDO

Igrejinha está inserida na região fisiográfica Encosta Inferior do Nordeste do Rio Grande do Sul, no vale do rio Paranhana. É cercada por áreas de encostas com declividades variáveis e com características geológicas e estruturais diversificadas. O relevo do município possui uma grande variação de cotas, desde 20 m na sua porção junto ao canal do rio até valores superiores a 770 m a noroeste e norte do seu território nas áreas rurais.

Nas encostas com declividade média e no vale do Rio Paranhana e tributários, ocorrem depósitos coluvionares e mais raramente aluvionares que encobrem parcialmente as unidades geológicas aflorantes do Grupo São Bento da Bacia do Paraná no município. Nas porções com cotas mais baixas formando o substrato da cidade afloram os arenitos da Formação Botucatu. Em direção à porção norte afloram as rochas efusivas básicas seguidas das rochas ácidas da Formação Serra Geral (Fácies Gramado e Fácies Caxias).

O núcleo urbano do município se originou à beira do rio Paranhana e se desenvolveu ao longo de toda sua extensão nos limites municipais, e em áreas com declividades acentuadas. Grande parte da área urbana situa-se no fundo do vale que drena uma ampla região a montante e, por isto, está sujeita a inundações do rio, enxurradas de cursos de água de menor porte e aos movimentos de massa. As montanhas que formam o vale no qual o município está inserido, funcionam como barreiras impedindo a livre circulação dos ventos dominantes, que sofrem um pequeno desvio, soprando na direção nordeste; e devido à baixa altitude e a hidrografia abundante, ocorre um aumento na umidade relativa do ar, acarretando em um desconforto climático durante o verão. O município de Igrejinha apresenta um histórico de acidentes com escorregamentos que inclui vítimas fatais (Diagnóstico de Defesa Civil do município de Igrejinha - 2011) (Tabela 01).

3 | BASE DE DADOS E MÉTODOS UTILIZADOS

Para a confecção dos mapas geológicos inéditos nas escalas da região do município de Igrejinha, utilizou-se trabalhos desenvolvidos anteriormente que contemplassem a área de estudo como o Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, publicado pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais em 2006, na escala 1:750.000 e o Mapa Geológico da Folha Gravataí, elaborado em 2008 pelo Programa Geologia do Brasil Contrato CPRM/UFRGS na escala 1:100.000. Estes mapas serviram como ponto de partida para o mapeamento do município.

Em laboratório e anteriormente aos trabalhos de campo foi realizada uma fotointerpretação preliminar da área de estudo com utilização de fotografias aéreas na escala 1:110.000 (1975) 1:60.000 (1964). Algumas das fotografias aéreas utilizadas estavam disponíveis na Mapoteca do Instituto de Geociências da UFRGS e outras foram fornecidas pela 1^a Divisão de Levantamento do Exército (1^a DL) – Porto Alegre. Nos trabalhos de detalhe utilizou-se fotografias na escala 1:8.000 (1989) do acervo da Prefeitura Municipal de Igrejinha. Todo o acervo de fotografias aéreas foi analisado, complementado por imagens de satélite e de radar através do SRTM

(Shuttle Radar Topography Mission) para observação do relevo do município (Rodriguez. et al. 2005).

Data	Descrição
Dezembro de 1987	Deslizamentos de terra interromperam o tráfego em várias estradas;
Fevereiro de 1992	Deslizamentos de terra na localidade de Solitária Alta e Baixa;
Setembro de 2000	Deslizamentos de terra na Rua José Augusto Hetz, Bairro Figueira;
Janeiro de 2010	Deslizamentos de terra na Rua Arlindo Rothamnn, Bairro Garibaldi, destruindo 03 casas;
Março de 2011	Deslizamentos de terra junto à ERS-115 no Bairro Saibreira;
Abril de 2011	Deslizamentos de terra destruindo 06 casas nas Ruas Alziró Bischoff (Bairro Saibreira), Tristão Monteiro (Bairro 15 de Novembro) e Feller (Bairro Bom Pastor) e nas localidades de Linha Caloni, Três Irmãos, Nova Aurora, Águas Brancas, Estrada da Grota, Arroio Kampff, Morro Fortaleza, Estrada Geral Belmiro Wallauer, Estrada dos Renck, Estrada do Carvoeiro, Morro Ceroula e Serra Grande; totalizando 7 pessoas mortas.

Tabela 01. Histórico de acidentes com escorregamentos no município de Igrejinha.

Os estudos a partir das fotografias aéreas inicialmente se caracterizam pela identificação dos elementos da imagem (fotoleitura), análise de suas relações (fotoanálise) para finalmente chegar-se a avaliação do significado e função das feições constatadas (fotointerpretação) através de métodos indutivos, dedutivos e comparativos dos mesmos. Essa técnica envolve o reconhecimento de propriedades identificadas a partir do relevo, da drenagem, da vegetação e do uso do solo através da observação de variações na tonalidade, textura e padrões

Numa segunda etapa da elaboração dos mapas geológicos utilizamos três imagens orbitais do Advanced Land Observation Satelite (ALOS), obtidas pelo sensor Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping (PRISM). Esse sensor possui três sistemas ópticos independentes, importantes para a produção de pares estereoscópicos com a capacidade de obter dados no nadir e em visadas laterais de 4º (<http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/prism.htm>).

Este recurso (estereoscopia) é indispensável para a interpretação geológica, refinando a separação das unidades geomorfológicas, geológicas e estruturais. A restituição fotogramétrica e a confecção dos mapas deste projeto foram realizadas com software Leica Photogrammetry System (LPS); os pontos de controle foram coletados em campo com um DGPS de dupla frequência e utilizados nas imagens PRISM para a geração de um Modelo Digital de Elevação (MDE), e ortorretificação das mesmas.

4 | GEOMORFOLOGIA

No município de Igrejinha ocorrem paisagens referidas às unidades geomorfológicas Planalto dos Campos Gerais, Serra Geral, Patamares da Serra Geral, Depressão do Rio Jacuí, e planícies alúvio-coluvionares.

O mapeamento geomorfológico de detalhe no município estabelece que a Unidade Geomorfológica Planalto dos Campos Gerais encontra-se pouco conservada, ocupando uma pequena área na parte oeste e noroeste composto por um terreno elevado com topos relativamente planos. Geralmente o substrato desta unidade é formada por vulcanitos ácidos da Formação Serra Geral. As formas de relevo revelam a existência de etapas evolutivas de dissecação, com áreas mantendo a morfologia planar, outras onde a erosão alargou vales ocasionando, muitas vezes, rupturas de declive de pequenos desníveis, e em outras a erosão alargou os extensos vales, deixando resíduos de antigas superfícies de aplainamento.

A Unidade Geomorfológica Patamares da Serra Geral caracteriza-se por apresentar um relevo escarpado desenvolvido sobre as rochas efusivas básicas da Formação Serra Geral. Na área estudada a unidade apresenta uma profunda a intensa dissecação com marcante controle estrutural, frequentes ocorrências de sulcos estruturais de diversas orientações com drenagens a eles adaptados. Estende-se sobre as rochas efusivas básicas, em áreas em que ocorreu recuo da linha da escarpa do Planalto dos Campos Gerais. Em áreas topograficamente baixas ocorre o afloramento de arenitos da Formação Botucatu. As formas de relevo apresentam forte controle estrutural, ocorrendo colinas e localmente formas planares. Observa-se a presença de cristas simétricas disseminadas e eventualmente relevos residuais isolados.

A Unidade Geomorfológica Depressão Rio Jacuí caracteriza-se por não apresentar grandes variações altimétricas, com relevo composto por formas alongadas de topo convexo, regionalmente chamadas de coxilhas. Próximo às escarpas da Serra Geral ocorrem superfícies planas, rampeadas, recobertas por colúvios com dissecação incipiente. Na Unidade Geomorfológica Alúvio-Coluvionar predominam os modelados planos, originados pela convergência de leques coluviais, cones de deposição ou concentração de depósitos de enxurradas, podendo ocorrer ainda formas topo plano ou baixo tabuleiro.

5 | GEOLOGIA

O contexto geológico regional do município é formado por um substrato formado pelas unidades superiores da Bacia do Paraná caracterizado por rochas sedimentares e derrames de basaltos. A Bacia do Paraná caracteriza-se por ser uma ampla região sedimentar do continente sul-americano que recobre porções territoriais do Brasil,

Paraguai, Argentina e Uruguai, com uma área total de aproximadamente 1,5 milhões de km². Constitui uma bacia intracratônica desenvolvida sobre crosta continental formada por rochas sedimentares dominanteamente siliciclásticas e rochas vulcânicas, de idade desde o Ordoviciano ao Cretáceo.

5.1 FORMAÇÃO PIRAMBÓIA

A Formação Pirambóia é formada por uma associação de fácies eólicas, predominante, e fácies fluviais subordinadas (Caetano-Chang & Wu, 2003). É constituída predominantemente por arenitos de cor creme e castanho claro, finos a grossos moderadamente selecionados, com matriz lamítica em torno de 10%. Predominam arenitos médios, composto de quartzo, feldspato (<10%) e minerais opacos (traços) (Soares et al. 2008).

De acordo com Caetano-Chang & Wu (2003) a porção basal da Formação Pirambóia foi depositada em condições de meta-saturação em areias, evidenciada pela abundância de depósitos de interdunas úmidas e de *overbank* e lençóis de areia com campos de dunas esparsos. Nas porções média e superior da formação o suprimento de areias foi intensificado, evidenciado pela dominância de *ergs* saturados.

Na porção leste do estado, sul da região do município de Igrejinha, as sequências deposicionais dessa formação são constituídas por litologias predominantemente arenosas, friáveis e espessas. Ocorrem predominantemente, arenitos médios a finos, siltosos, brancos, avermelhados e arroxeados, com estratificações cruzadas acanaladas de baixo ângulo e sigmoidais (*sets* entre 1 e 3 m), bem como estratificações cruzadas planares e laminações plano-paralelas (Roisenberg et al, 2007).

5.2 FORMAÇÃO BOTUCATU

A Formação Botucatu (Juro-Cretáceo) é a unidade basal do Grupo São Bento. Ocorre ao longo de toda a Bacia do Paraná e abrange uma ampla área, recobrindo cerca de 1.300.000 km², compreendendo áreas do Brasil, Uruguai, Paraguai e África. O contato superior dos arenitos eólicos dessa Formação é concordante com as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. Seu contato inferior é marcado por uma superfície erosiva de escala regional. A Formação Botucatu é constituída por arenitos eólicos, de espessura variável depositados em clima árido, com restrita influência do lençol freático. É representada essencialmente por arenito bimodal (fino a médio), castanho e creme avermelhado, composto por quartzo e subordinadamente por feldspato e opacos, com estratificações cruzadas de grande porte (Soares et al. 2008).

5.3 FORMAÇÃO SERRA GERAL

A Formação Serra Geral cobre praticamente toda a região meridional do Brasil e a porção oriental do Paraguai e ocidental do Uruguai. Corresponde a um grande evento de intensa atividade magmática fissural que resultou em extensos derrames basálticos durante o Mesozóico (NARDY; MACHADO & OLIVEIRA, 2008). Posteriormente, por meio de processos distensivos da litosfera deu-se a separação continental (Gondwana), com o aparecimento de novas bacias oceânicas (oceano Atlântico). O magmatismo da formação Serra Geral possui características bimodais, sendo dominado por basaltos e basaltos andesíticos de afinidade toleítica, unidades básicas, contrastantes com as unidades ácidas descritas genericamente como riolitos e riodacitos que ocorrem intercaladas no topo da pilha vulcânica.

Baseado em análises químicas, as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral têm sido subdivididas em três setores (ROISENBERG & VIERO, 2000):

- a) O setor norte é representado por rochas vulcânicas básicas do tipo alto- TiO_2 e $P_2O_5 > 0,3\%$, subordinadamente por intermediárias e ácidas.
- b) Na porção central ocorrem rochas efusivas básicas alto e baixo TiO_2 e basaltos transicionais. São registradas também intercalações com derrames ácidos.
- c) O setor sul é caracterizado por efusivas básicas do tipo baixo TiO_2 . Ocorrem também derrames ácidos e em menor abundância derrames intermediários.

Estudos geoquímicos dos derrames basálticos da Serra Geral, considerando seus elementos menores, traços e terras raras, revelaram que eles não são homogêneos, sendo divididos por Peate et al. (1992) em seis tipos de magmas: Ubirici (alto TiO_2), Pitanga (alto TiO_2), Paranapanema (alto TiO_2), Ribeira (baixo TiO_2), Gramado (baixo TiO_2) e Esmeralda (baixo TiO_2), com valores de MgO entre 4 e 5 wt%.

6 | RESULTADOS

Neste item são apresentadas as unidades geológicas do mapa geológico do município (Figura 02), gerado a partir da integração dos resultados obtidos com as técnicas de aerofotogeologia, imagens de satélites e mapeamento geológico.

6.1 FORMAÇÃO BOTUCATU

Com espessuras médias de 70 metros, os pacotes sedimentares da Formação Botucatu afloram de forma contínua na área do município de Igrejinha, principalmente nas bases das escarpas dos vales como no leito e margens do rio Paranhana nas

porções mais centrais. Nos setores mais erodidos, como na porção sul do município, forma morros testemunhos (Patamares da Serra Geral). Em campo verificou-se que os afloramentos dessa unidade apresentam uma variação considerável de cota. Nas porções mais ao norte, próximas ao município de Três Coroas, as litologias podem aflorar em cotas superiores aos 145 metros, e ao sul do mesmo vale, próximo aos municípios de Parobé e Taquara, não atingem mais do que 60 metros. Na porção leste do município, no vale formado pelo Rio Padilha, os pacotes sedimentares podem alcançar cotas de 200 metros. Este comportamento sugere a presença de blocos estruturais controlados por falhamentos.

As litologias dessa unidade são representadas essencialmente por arenitos bimodais, finos a médios, de cor rosa-claro, bastante litificados em alguns afloramentos, dominantemente quartzosos, sem matriz argilosa, com grãos foscos variando de sub arredondados a arredondados e normalmente bem selecionados. As principais estruturas descritas foram as estratificações tangenciais e cruzadas acanaladas de grande a médio porte, sendo raros as plano-paralelas. O contato inferior da Formação Botucatu se dá com a Formação Pirambóia, não sendo encontrado na área do município de Igrejinha. O seu contato superior com os basaltos da Formação Serra Geral é discordante. Nas partes mais elevadas os arenitos tornam-se mais silicificados, endurecidos e com menor porosidade. De forma menos frequente são encontrados arenitos intertrápicos, não muito espessos, intercalados nos derrames de basalto.

6.2 FORMAÇÃO SERRA GERAL

Predominam as unidades relacionadas ao magmatismo da Formação Serra Geral. Foram identificadas rochas vulcânicas básicas (Fácies Gramado) e lavas ácidas (Fácies Caxias), com predomínio das primeiras, localizadas na região da unidade geomorfológica Escarpas da Serra Geral. As lavas ácidas são restritas a uma pequena porção no extremo noroeste do município, na parte mais elevada da sequência onde as cotas chegam a 770 metros, já no Planalto dos Campos Gerais.

6.2.1 Fácies Gramado

Os derrames vulcânicos do Fácies Gramado ocorrem na base da Formação Serra Geral, com espessura média de até 450 metros. Os primeiros derrames estão sobrepostos diretamente acima das rochas sedimentares da Formação Botucatu, podendo nas porções basais ocorrer intercalações de arenitos intertrápicos.

As lavas basálticas que afloram na porção central do município ao longo do vale do Rio Paranhana, possuem características peculiares que permitiram a sua subdivisão em dois níveis distintos, Basaltos I e Basaltos II.

O primeiro nível de derrames (Basaltos I) apresenta-se normalmente com forte alteração sendo encontrado até próximo os 250 metros de altitude. Em cortes de

estrada, observa-se que são derrames de espessura variável. Geralmente apresentam incipiente horizonte maciço seguido de horizonte vesicular bem desenvolvido com forte fragmentação, que facilita a exploração desta litologia como matéria prima para a produção de saibro utilizado no leito de estradas do município. Apresenta frequentemente arenito intertrapico. Alguns derrames são majoritariamente formados por zona vesicular - amigdalóide. Raramente, apresenta nível com disjunções colunares. As vesículas variam em tamanho, localmente chegando a centimétricas, e são total ou parcialmente preenchidas por um ou mais minerais como quartzo e zeolitas (Figura 01). Possui grande suscetibilidade à alteração, gerando solos espessos, de textura argilosa e coloração arroxeadas. Normalmente apresentam relevo com encostas suavizadas.

Devido a suas características foram selecionadas 04 amostras (Basalto I) para análise difratométrica, cujos resultados estabelecem características mineralógicas diferenciadas. O principal objetivo dessa etapa foi a identificação mineralógica das amostras, especialmente das fases de alteração, no âmbito da cristalização final do magma em ambiente hidrotermal ou, na interação com o arenito Botucatu e por processos intempéricos.

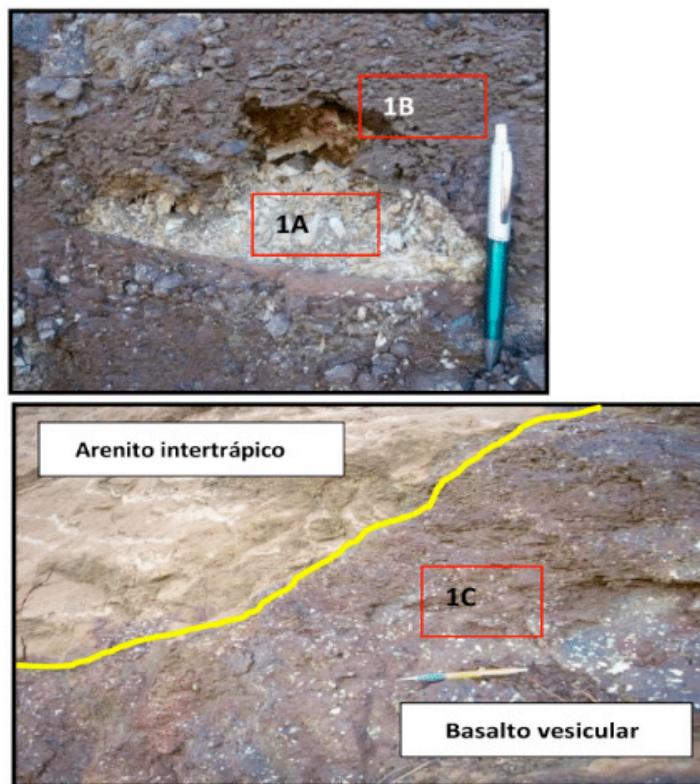


Figura 01. Derrame basáltico vesicular amigdalóide do Fácies Gramado (Basalto I) vesículas preenchidas por zeolitas com forte processo de alteração e fragmentação da rocha (localização da amostra 1A (zeolita), amostra 1B (rocha Basalto I com estrutura esferulítica) e amostra 1C (rocha Basalto I avermelhado)).

Na análise difratométrica constatou-se que os minerais de coloração branca que preenchem cavidades e vesículas são zeolitas da espécie natrolita e estilbita e secundariamente aparecem feldspatos (Figura 01 – 1A).

As cores por vezes avermelhadas da rocha que compõe o Basalto I, associado

a facilidade de fragmentação e a grande quantidade de vesículas preenchidas com zeolitas e carbonatos determinou exames mais detalhados da sua composição. Os resultados das análises estabelecem o predomínio de argilominerais expansivos do grupo das esmectitas com espaçamentos variando de 15 Å quando no modo natural, passando para 17-18 Å quando no modo glicolado. Supõem-se que as amostra 1B e 1C são esmectitas com ordenamento cristalino superior e típico de uma origem hidrotermal ou tardí-magmática (possibilidade de serem da espécie das celadonitas), ou seja, se formaram junto com o processo de resfriamento das lavas (ver localização na Figura 01). No que refere à amostra 2A, o comportamento sugere uma esmectita do grupo das montmorilonitas, de baixa cristalinidade e típico de processos de alteração intempérica do Basalto I. Portanto, no Basalto I observa-se uma facilidade dos minerais da rocha se alterarem para minerais expansivos do grupo das esmectitas.

O segundo nível de derrames (Basaltos II) apresenta-se normalmente pouco alterado e com disjunções colunares bem desenvolvidas. São predominantes nas áreas acima dos 250 metros de altitude. A textura da lava varia de afanítica a porfirítica fina com microfenocristais e com cor preta a cinza escura. Possuem em sua constituição mineralógica essencialmente feldspatos alcalinos e cárquicos e minerais ferromagnesianos (normalmente piroxênios) e grãos esparsos de minerais opacos (geralmente magnetita). Provavelmente por ter sofrido um resfriamento mais lento em relação às demais zonas do derrame, possui espessura maior que as demais zonas, sendo constituído basicamente por rochas maciças e densas.

Os afloramentos dos derrames desse segundo nível são em forma de estruturas colunares (sub-vertical), dando a eles um aspecto prismático. Sua suscetibilidade à alteração é menos acentuada, gerando solos pouco espessos, contendo pequenos blocos e matações subarredondados, além de relevo escarpado.

6.2.2 Fácies Caxias do Sul

Os derrames vulcânicos ácidos do Fácies Caxias estão posicionados estratigráficamente acima das rochas básicas, sendo aflorantes nos topo dos morros mais elevados da área do município, os quais desenvolvem morfologia em mesa.

As rochas ácidas ocorrem como derrames maciços que apresentam uma textura esferulítica característica e observada em campo sendo denominada de “carijó”. Localmente, texturas de fluxo são encontradas, resultante da natureza mais viscosa da lava. O Fácies Caxias consiste em derrames granulares finos a microfaneríticos, horizontes superiores com disjunção tabular regular bem desenvolvida e raras são as vesículas preenchidas por sílica. O centro dos derrames é maciço e contém estruturas

de fluxo. Na área de estudo as rochas ácidas são cinza a avermelhadas e afaníticas.

6.3 DEPÓSITOS RECENTES

Em grande parte do município de Igrejinha as unidades acima descritas encontram-se recobertas por materiais transportados por agentes de transporte gravitacionais (colúvios) ou fluviais (aluviões).

Os colúvios são formados por materiais que se originaram nas cotas mais altas, sendo naturalmente transportados para as cotas mais baixas por efeito gravitacional. O processo se inicia com a alteração e formação de perfis de solos nos locais com declividade menos acentuadas ou de maior facilidade de alteração da rocha que compõe o substrato. As principais rochas expostas aos agentes intempéricos na região do município são os arenitos eólicos da Formação Botucatu e os basaltos da Formação Serra Geral.

Os depósitos coluviais se deslocam continuamente para as cotas mais baixas do terreno, sendo que a acumulação final localiza-se nas bases das encostas e dos vales, onde a dinâmica do sistema de drenagem transporta os sedimentos, de acordo com a sua competência. A formação continuada destes depósitos ocorre devido ao avanço do intemperismo, erosão e retrabalhamento das rochas e blocos remobilizados. Estes depósitos encontram-se, preferencialmente, nas quebras de relevo, formadas no contato de derrames e nos sopés e superfícies dos morros.

Sendo os basaltos a rocha principal para a geração dos sedimentos, observa-se que o produto final é constituído de um material com características de bimodalidade (material fino siltoso argiloso e blocos de rocha parcialmente intemperizados). Portanto, os sedimentos cuja fonte são os basaltos não formam areia e se caracterizam por serem pobemente selecionados, constituídos por depósitos de cascalho, siltoso-argilosos, matações, blocos e seixos angulosos a subarredondados de arenitos e basaltos. No que se refere ao Arenito Botucatu, a sua própria natureza favorece a formação de areias no material inconsolidado.

Os depósitos aluvionares englobam os sedimentos depositados pelos cursos d'água. Ocorrem preenchendo calhas de rios e suas planícies de inundação ao longo dos vales de toda área do município formando depósitos inconsolidados, representados por cascalhos e sedimentos siltoso-argilosos mal selecionados. Associado ao material aluvionar ocorrem sedimentos mal selecionados com presença de clastos de arenito e basalto, alimentados por material coluvionar das encostas do terreno. A heterogeneidade granulométrica nesses depósitos é devido aos diferentes ambientes de sedimentação e também à variação de energia do agente transportador.

6.4 ANÁLISE ESTRUTURAL

A análise estrutural dos lineamentos traçados na área de estudo foi realizada

com base na fotointerpretação das fotografias áreas escalas 1:110.000 e 1:60.000.

Foi observado uma dispersão dos lineamentos, mas com o predomínio significativo no sentido E-W e do quadrante NW. Os intervalos mais importantes de distribuição têm valores N85°

- 90°E e N50° - 55°W. Estas orientações exprimem a localização das grandes deformações de caráter frágil, representadas por fraturas e falhas, essas últimas produzindo perturbações das posições originais das unidades.

Os demais lineamentos aparecem variando nos valores tanto no que condizem ao tamanho quanto à constância, estes refletem os transectos secundários provenientes dos lineamentos maiores. Apesar de serem de menor amplitude, não implicam numa passividade em relação ao terreno, algumas destas descontinuidades refletem no direcionamento das drenagens.

As observações relativas a frequência das orientações dos alinhamentos evidenciou a ocorrência de lineamentos com grandes extensões (atingindo comprimentos da ordem de 16 Km) na orientação nordeste-sudoeste, em torno do azimute 045°. Uma pequena concentração de lineamentos extensões menores ocorrem na orientação noroeste-sudeste, em torno do azimute 315°. Os alinhamentos mais extensos indicam a forte possibilidade de zonas de falhamentos (direção 45°) enquanto os demais seriam interpretados como sistema de fraturamento.

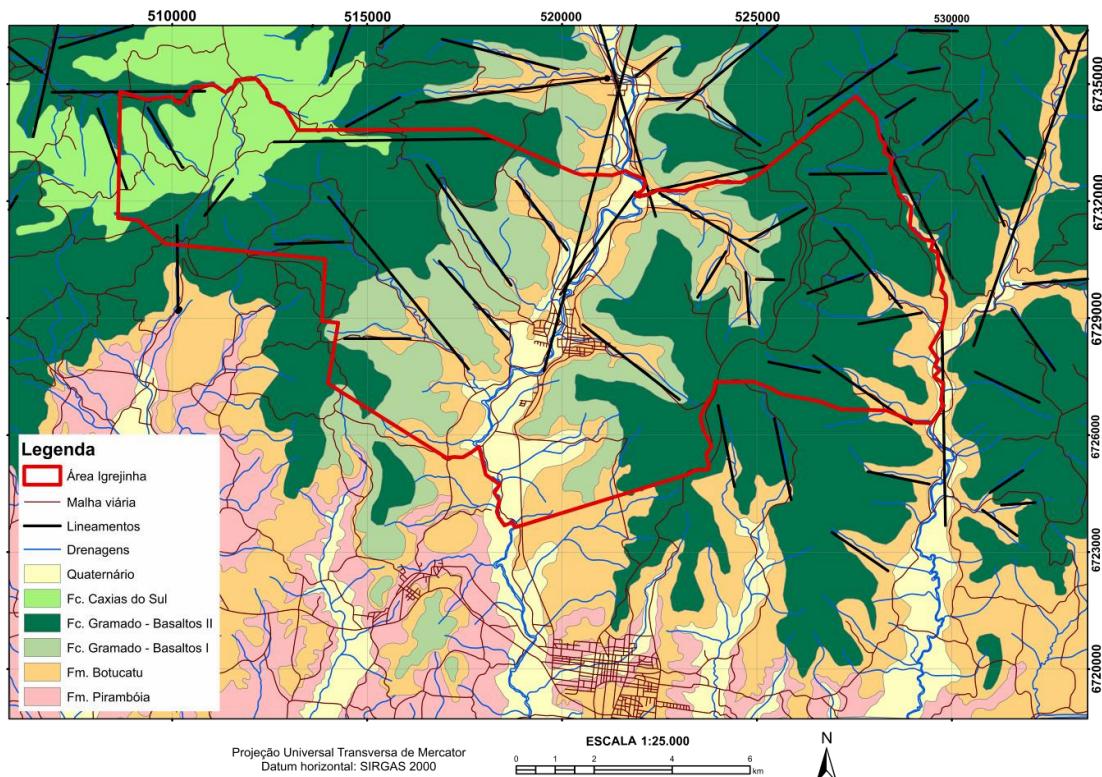


Figura 02. Mapa geológico do município de Igrejinha.

7 | CONCLUSÕES

A investigação geológica permitiu a identificação de 2 Formações de interesse no município de Igrejinha: Formação Botucatu e Formação Serra Geral, além de localmente depósitos aluvio-coluvionares.

A Formação Botucatu tem espessuras médias de 70 metros, formando um pacote sedimentar que aflora de forma contínua na área do município, principalmente na base das escarpas. As principais estruturas descritas foram as estratificações tangenciais e cruzadas acanaladas de grande a médio porte, sendo raros as plano-paralelas. O contato superior com os basaltos da Formação Serra Geral é discordante. Nas partes mais elevadas os arenitos tornam-se mais silicificados, endurecidos e com menor porosidade. De forma menos frequente são encontrados nos basaltos os arenitos intertrápicos.

A rochas vulcânicas pertencentes a Formação Serra Geral encontradas na área são: Fácies Gramado (básicas) e Fácies Caxias (ácidas), com predomínio das primeiras, localizadas na região de escarpas. As lavas ácidas são restritas a uma pequena porção no extremo noroeste do município, na parte mais elevada da sequência onde as altitudes ultrapassam os 770 metros.

Os derrames vulcânicos do Fácies Gramado ocorrem com espessura média de até 450 metros. Os primeiros derrames estão sobrepostos diretamente acima das rochas sedimentares da Formação Botucatu. As lavas basálticas que afloram na porção central do município ao longo do vale do Rio Paranhana, possuem características peculiares que permitiram a sua subdivisão em dois níveis distintos, Basaltos I e Basaltos II. Os Basaltos I têm características de grande variabilidade e suscetibilidade à alteração, gerando solos espessos, de textura argilosa e coloração arroxeadas; nas regiões onde afloram são típicos os deslizamentos de terra e os movimentos lentos de rastejo, podendo ocorrer também escorregamentos rotacionais, associados aos depósitos de tálus e colúvios, comuns na base das encostas. As características dessas rochas permitem a observação de feições indicadoras de movimentação de solo e de colúvio, como degraus de abatimento, trincas e árvores inclinadas. Os Basaltos II têm características diferenciadas, normalmente pouco alterados e com disjunções colunares bem desenvolvidas. São predominantes nas áreas acima dos 250 metros de altitude. A cor da rocha é preta a cinza escura e a textura da lava varia de afanítica a porfirítica fina com microfenocristais; onde afloram são comuns a ocorrência de queda de blocos e os movimentos de massa do tipo fluxo de detritos e escorregamentos.

Os depósitos recentes ocorrem em grande parte do município recobrindo as unidades acima descritas. São formados por sedimentos ou materiais transportados por agentes de transporte gravitacionais (colúvios) ou fluviais (aluvões). Os depósitos coluviais se deslocam continuamente para as cotas mais baixas do terreno, sendo que a acumulação final localiza-se nas bases das encostas e dos vales. Estes depósitos encontram-se, preferencialmente, nas quebras de relevo formadas no contato de

derrames e nos sopés e superfícies dos morros.

8 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Geól. José M. Denardin pela ajuda nos trabalhos de campo, ao apoio institucional da PM Igrejinha, ao PPGEC/UFRGS e Instituto de Geociências, CAPES e CNPq por apoios diversos à pesquisa.

REFERÊNCIAS

CAETANO-CHANG, M. R. & Wu, F.T. DIAGÊNESE DE ARENITOS DA FORMAÇÃO PIRAMBÓIA NO CENTRO-LESTE PAULISTA. **Geociências**, v. 22, N. Especial, p. 33-39, 2003

NARDY, A. J. R.; MACHADO, F. B.; OLIVEIRA, M. A. F.; 2008. As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. **Revista Brasileira de Geociências**. 38(1): 178-195.

ROISENBERG, A. & VIERO, P.; 2000. O vulcanismo mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. In: **Holz, M. & De Ros, L. F. (eds.) Geologia do Rio Grande do Sul, UFRGS- Cigo**, Porto Alegre. P. 355-374.

ROISENBERG, A. *et al.* **Mapa geológico da folha Gravataí-SH.22-X-C-V, escala 1:100.000**. Porto Alegre: UFRGS/CPRM, 2007.

Rodriguez, E., C.S. Morris, J.E. Belz, E.C. Chapin, J.M. Martin, W. Daffer, S. Hensley, 2005, An assessment of the SRTM topographic products, Technical Report JPL D-31639, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, 143 pp

SOARES, A. P., SOARES, P. C. & HOLZ, M. **Heterogeneidades hidroestratigráficas no Sistema Aqüífero Guarani**. Revista Brasileira de Geociências, 38(4): 598-617, 2008.

CAPÍTULO 7

USO DO XRF EM AMOSTRAS DE SOLO DA COMUNIDADE ILHA DIANA – SANTOS, SP

Larissa Felicidade Werkhauser Demarco

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de
São Paulo
São Paulo - SP

Alexandre Muselli Barbosa

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de
São Paulo
São Paulo - SP

Marcos Jorgino Blanco

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de
São Paulo
São Paulo - SP

Amanda Figueiredo Fonseca

Instituto Oceanográfico da Universidade de São
Paulo
São Paulo - SP

Leonardo Silveira Takase

Instituto Oceanográfico da Universidade de São
Paulo
São Paulo - SP

Luiza de Araújo João Sobrinho

Instituto do Mar da Universidade Federal de
São Paulo
Santos - SP

Felipe Ian Strapasson Saldias

Instituto do Mar da Universidade Federal de
São Paulo
Santos - SP

localizada na confluência do rio Diana com o canal de Bertioga e próxima cerca de 2 km do canal principal do Porto de Santos. O projeto teve por objetivo identificar as principais ameaças socioambientais que a comunidade está exposta, a partir de uma análise integrada ambientalmente e socialmente. Foram analisados parâmetros ambientais e sociais, os ambientais abordaram a: qualidade solo do rio e solo da Ilha, qualidade da água do Rio Diana, qualidade de peixes e ostras; já os tópicos sociais incluíram: saúde, infraestrutura, transporte, educação, comunicação. Este artigo tem por objetivo mostrar os resultados obtidos no solo da comunidade a partir do uso do equipamento XRF. Em caráter preliminar, os resultados obtidos com esse método indicaram a presença de metais pesados no solo da comunidade, porém mais estudos são necessários para quantificá-los de acordo com a legislação ambiental vigente e definir se eles representam algum risco à saúde da comunidade. *Artigo publicado originalmente no 16º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental.*

PALAVRAS-CHAVE: Metais pesados, XRF, Solo, Santos.

ABSTRACT: The Diana Island community is located at the confluence of the Diana River with the Bertioga Canal and next about 2 km

RESUMO: A comunidade Ilha Diana está

from the main channel of the Port of Santos. The project aimed to identify the main socio-environmental threats that the community is exposed, based on an integrated environmental and social analysis. Environmental and social parameters were analyzed, the environmental ones approached: river and island soil quality, Rio Diana water quality, fish and oysters quality; social topics included: health, infrastructure, transportation, education, communication. This article aims to show the results obtained in the soil of the community from the analysis of heavy metals, obtained with the XRF equipment. The results obtained with this method indicated the presence of heavy metals in the soil of the community, but more studies are necessary to quantify them according to the environmental legislation and to determine if the metals analyzed represent some risk to the community.

KEYWORDS: Heavy metals, XRF, Soil, Santos.

1 | INTRODUÇÃO

A Ilha Diana é um bairro de Santos localizado na área continental do município, situando-se na confluência do rio Diana com o canal de Bertioga, a cerca de 2 km do canal do Porto de Santos, próxima a Base Aérea de Santos e ao distrito de Vicente de Carvalho (1,5 km) – Guarujá (**Figura 1**). Possui uma área de aproximadamente com 330.000 m² e cerca de 210 moradores. O acesso à ilha se dá apenas por barco coletivo, que sai do centro de Santos ou por embarcações de uso pessoal de pequeno porte. O projeto teve por objetivo identificar as principais ameaças socioambientais que a comunidade está exposta, a partir de uma análise ambiental e social integrada, pois foram avaliadas condições ambientais (qualidade solo do rio e solo da Ilha, qualidade da água, qualidade de peixes e ostras) e sociais (saúde, infraestrutura, transporte, educação, comunicação). Este artigo tem por objetivo mostrar os resultados obtidos com o uso do equipamento XRF em amostras de solo da comunidade.

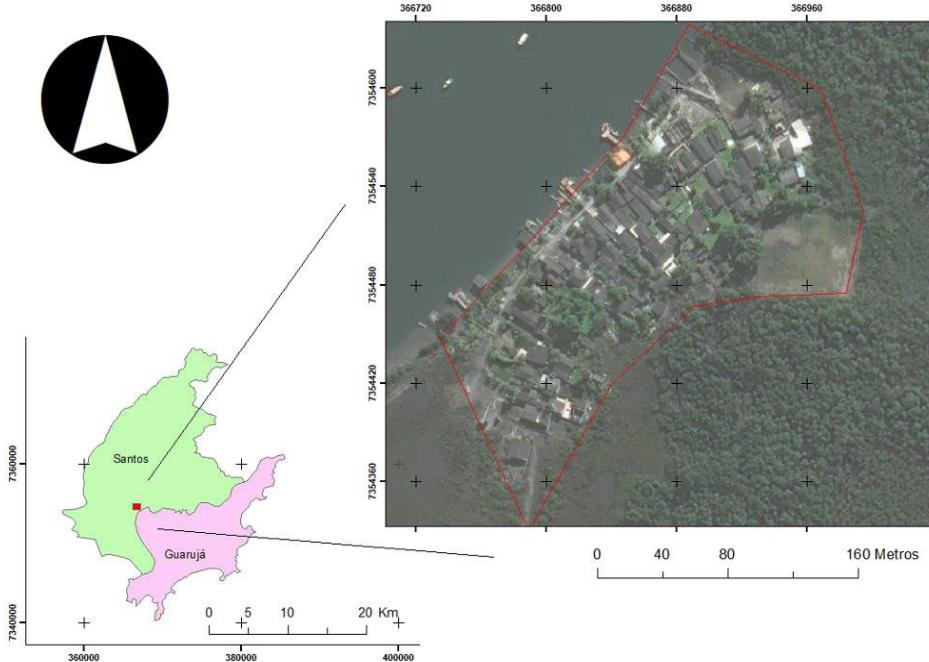


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.

A área de estudo representa uma interface entre ambientes continentais e marinhos, sendo influenciada, por exemplo, pela maré, pois o solo da região é comumente inundado pelas variações diárias desta. A composição mineralógica desta região é condicionada pela interação entre estes dois ambientes, pois as fontes podem ser tanto continentais (rochas e organismos continentais) como marinhas/estuarinas (minerais que compõe a água do mar, organismos marinhos).

Análises utilizando sedimentos inconsolidados servem para comparar esta interface continental/marinha do ponto de vista de metais, pois os sedimentos possuem altas capacidades de adsorção e acumulação, possibilitando o uso dos mesmos como um bom indicador de poluição ambiental (JESUS et al., 2004; SILVA, 2009). Os sedimentos são classificados em relação ao seu tamanho, como: areia, argila, silte e matéria orgânica e, são constituídos de partículas minerais compostas por matrizes com fontes diversas como: siliciclásticas, quartzosas, carbonáticas, etc.

Dentre a classe de contaminantes, os metais, principalmente os metais pesados, são considerados preocupantes por não serem biodegradáveis, de modo que se acumulam em componentes do ambiente (como sedimento e organismos), por longos períodos de tempo, nos quais manifestam sua toxicidade (BAIRD, 2002). Os metais mais prejudiciais, segundo estudos de contaminação ambiental, são os metais pesados (Cd, Cr, Co, AS, Hg, Pb e Zn) e o Fe. Entretanto, mesmo aqueles que apresentam origem natural, provenientes de dissolução de rochas e minerais, podem se tornar fonte de poluição quando suas concentrações excedem os valores naturais, por meio da ação antropogênica (POLETO, 2008).

A seleção dos elementos de interesse para avaliação da qualidade do solo da ilha se baseou nos compostos apresentados na lista de valores orientadores para

solo no Estado de São Paulo (CETESB, 2016), sendo analisadas através de leitura de varredura por fluorescência de raio-X (XRF). Mesmo a análise por XRF sendo um método analítico que trabalha com quantificações totais de metais, não permitindo uma comparação direta com os valores de referência, visto que estes são baseados em valores trocáveis, é uma ótima alternativa para a obtenção de parâmetros de qualidade do solo, visto seu baixo custo e rápida resposta.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A distribuição dos pontos amostrais foi realizada de forma a se avaliar as diferentes situações de uso da área de estudo, compreendendo toda a sua extensão (**Figura 2**), o posicionamento foi adquirido utilizando um GPS da marca Garmin. O período de coleta compreendeu o verão, sendo as amostras coletadas entre 15 cm e 30 cm com o auxílio de colher de inox, sendo descartada a primeira camada do solo. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados e encaminhados para o laboratório de resíduos e áreas contaminadas do IPT para a realização das análises.

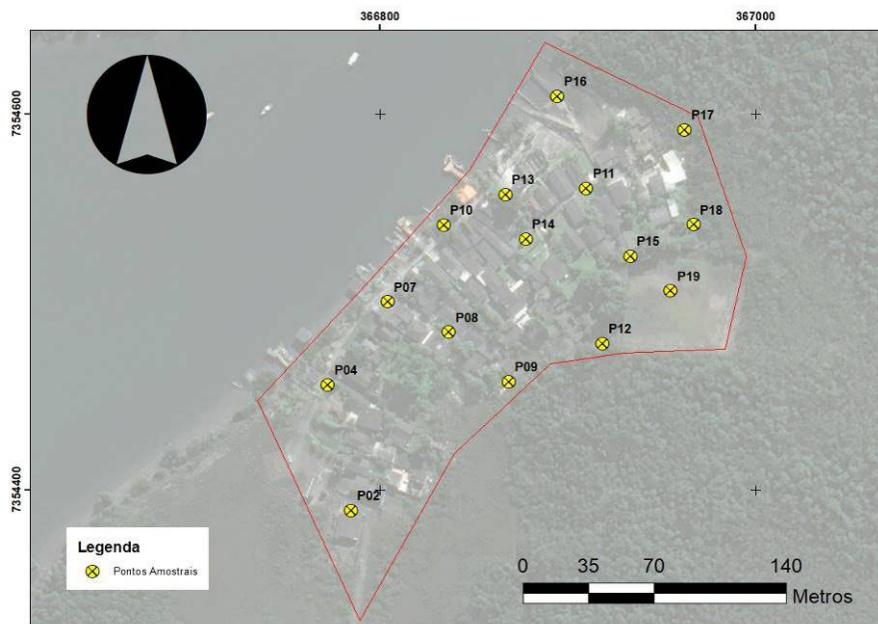


Figura 2: Mapa de distribuição dos pontos amostrais.

As amostras foram preparadas, homogeneizadas e distribuídas em bandejas para diminuição da umidade, sendo coletadas alíquotas de 100 g para as leituras, sendo estas realizadas em triplicata, sendo utilizada a média das leituras como valores representativos das amostras. Os valores obtidos com a utilização do XRF foram especializados, e posteriormente inteporlados (método: *Topo to Raster*), no software ArcGis.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o tratamento e espacialização dos dados, foram obtidos mapas de ocorrência para os metais Bário, Manganês, Cromo, Cobalto, Ferro, Cádmio, Chumbo e Zinco (**Figura 3**).

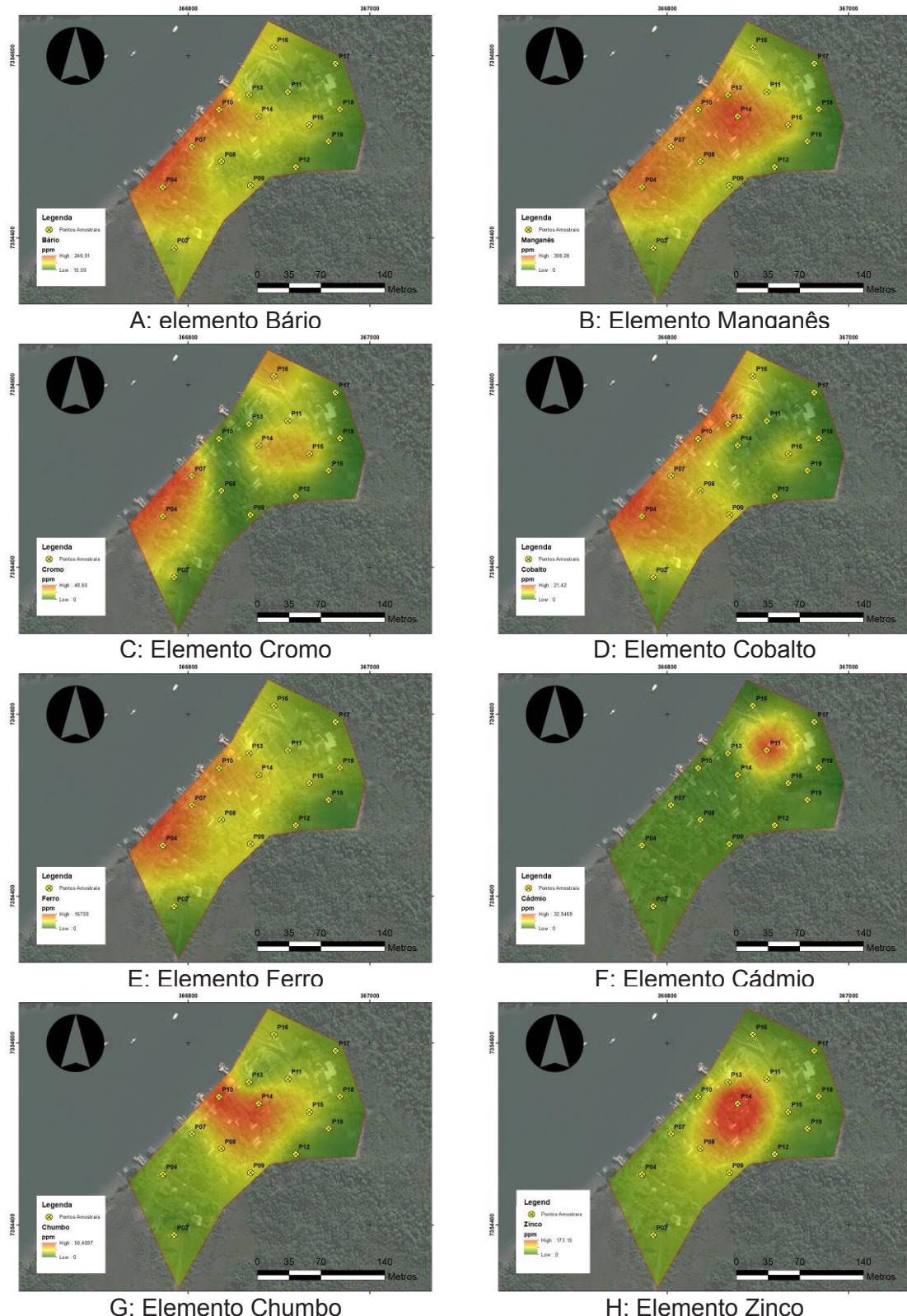


Figura 3: Ocorrência dos metais pesados ao longo da área de estudo. Em A, Bário; B, Manganês; C, Cromo; D, Cobalto; E, Ferro; F, Cádmio; G, Chumbo; H, Zinco.

As Figuras 3A, 3B, 3D e 3E ilustram a ocorrência dos metais Bário, Manganês, Cobalto e Ferro, podendo se destacar que, provavelmente, o teor destes possui relação com a área do solo que está suscetível a inundação pela maré. Pois, as concentrações dos metais citados aumentam em direção ao rio, o qual sofre influência da maré. Com base nisso, é válido apontar que esses metais provavelmente apresentam uma fonte externa a área continental da comunidade, de forma que podem estar sendo transportados ao longo do sistema estuarino do Porto de Santos e sendo disponibilizados para o solo da comunidade através da água do rio, durante a enchente da maré.

O quadro 1 e o quadro 2 indicam as prováveis fontes, vias de exposição e efeitos à saúde humana dos metais analisados neste artigo. Considerando a impossibilidade de utilização do solo da ilha para o cultivo de hortaliças e a inexistência de poços no local (a água utilizada pela população é proveniente da rede pública), as vias de exposição por ingestão estão descartadas, a priori. Entretanto, a comunidade que reside na ilha poderia estar exposta a estes contaminantes a partir do contato dérmico direto com o solo. Portanto, considerando as informações contidas nos quadros 1 e 2, juntamente com a exposição da população local, o risco à saúde humana é potencialmente baixo, devido a ocorrência destes metais no solo.

Metal	Possíveis Fontes:	Tipos de exposição	Efeitos à Saúde Humana
Bário	Metal de ocorrência natural abundante. Compostos de bário, tais como ligas de bário-níquel são usados para eletrodos de vela de ignição e em tubos de vácuo como um agente de secagem e remoção de oxigênio; sulfeto de bário é usado em lâmpadas fluorescentes; o sulfato de bário e clorato dar fogos de artifício uma cor verde. Compostos de bário também são usados em lamas de perfuração, tintas, tijolos, cerâmica, vidro e borracha.	Ingestão (pode bioacumular em algumas plantas, algas marinhas e peixes)	O bário não é conhecido por causar câncer. A exposição a curto prazo pode causar vômitos, cólicas abdominais, diarreia, dificuldades respiratórias, aumento ou diminuição da pressão arterial, dormência ao redor do rosto e fraqueza muscular. Grandes quantidades de ingestão de bário podem causar pressão alta, alterações no ritmo cardíaco ou paralisia e possivelmente morte.
Cádmio	Todos os solos e rochas, incluindo fertilizantes minerais e de carvão, contêm alguma concentração de cádmio. O cádmio tem muitos usos, incluindo baterias, pigmentos, revestimentos de metal e plásticos. É amplamente utilizado em galvanoplastia.	Ingestão (pode bioacumular em plantas, peixes e animais)	Os compostos de cádmio e cádmio são conhecidos como carcinogênicos humanos. Os fumantes são expostos a níveis significativamente mais elevados de cádmio do que os não fumantes. Danos severos aos pulmões podem ocorrer através da respiração de altos níveis de cádmio. A ingestão de elevados níveis irrita severamente o estômago, levando a vômitos e diarreia. A exposição a longo prazo a níveis mais baixos leva a um acúmulo nos rins e possível doença renal, dano pulmonar e fragilidade dos ossos.
Cobalto	O cobalto é um elemento natural encontrado em todo o ambiente; a população em geral pode estar exposta ao cobalto no ar, na água potável e na comida. O cobalto é usado para fabricar superligas (ligas que mantêm sua resistência em altas temperaturas, próximas de seus pontos de fusão) e na fabricação de pigmentos.	Inalação	A exposição aguda a altos níveis de cobalto por inalação em humanos e animais resulta em efeitos respiratórios, como uma diminuição significativa na função ventilatória, congestão, edema e hemorragia do pulmão. A exposição crônica ao cobalto por inalação em humanos resulta em efeitos no sistema respiratório, como irritação respiratória, sibilância, asma, diminuição da função pulmonar, pneumonia e fibrose. Outros efeitos observados em humanos pela exposição por inalação de cobalto incluem efeitos cardíacos, tais como efeitos funcionais nos ventrículos e aumento do coração, congestão do fígado, rins e conjuntiva, e efeitos imunológicos.
Cromo	O cromo é encontrado em rochas, animais, plantas e solo, na forma líquida, sólida ou gasosa. Os compostos de cromo se ligam ao solo e provavelmente não migram para os lençóis freáticos, mas são muito persistentes nos sedimentos da água. O cromo é usado em ligas metálicas, como o aço inoxidável; revestimentos protetores em metal (galvanoplastia); fitas magnéticas; e pigmentos para tintas, cimento, papel, borracha, revestimento de piso de composição e outros materiais. Suas formas solúveis são usadas em conservantes de madeira.	Ingestão (alto potencial de absorção por organismos aquáticos e raízes)	Os compostos de cromo são toxinas e substâncias cancerígenas humanas conhecidas, enquanto o cromo é um nutriente essencial. A inalação de altos níveis pode causar irritação no revestimento do nariz; úlceras no nariz; coriza; e problemas respiratórios, como asma, tosse, falta de ar ou chiado no peito. O contato com a pele pode causar úlceras na pele. Reações alérgicas consistindo de vermelhidão grave e inchaço da pele foram observadas. A exposição a longo prazo pode causar danos ao fígado, sistemas circulatório e renal, e tecidos nervosos, bem como irritação da pele.

Quadro 1: Possíveis fontes, tipo de exposição e efeitos à saúde humana para os metais Bário, Cádmio, Cobalto e Cromo. (Martin & Griswold, 2009; EPA, 2000; ATSDR, 2005).

Metal	Possíveis Fontes:	Tipos de exposição	Efeitos à Saúde Humana
Chumbo	Como resultado de atividades humanas, como queima de combustíveis fósseis, mineração e manufatura, compostos de chumbo e chumbo podem ser encontrados em todas as partes do nosso meio ambiente. Isso inclui ar, solo e água. O chumbo é usado de muitas maneiras diferentes: produção de baterias, munição, produtos de metal como solda e tubos e dispositivos de blindagem de raios X. Seu uso em vários produtos, como gasolina, tintas e solda de tubos, foi drasticamente reduzido nos últimos anos. Hoje, as fontes mais comuns de exposição ao chumbo são tintas à base de chumbo e possivelmente canos de água em casas antigas, solo contaminado, pó doméstico, água potável, certos cosméticos e brinquedos, e cerâmica com chumbo.	Ingestão (pode ser absorvido pelas raízes das plantas)	A EPA determinou que o chumbo é um provável carcinogênico humano. O chumbo pode afetar todos os órgãos e sistemas do corpo. A exposição prolongada de adultos pode resultar em diminuição do desempenho em alguns testes que medem as funções do sistema nervoso; fraqueza nos dedos, pulsos ou tornozelos; pequenos aumentos na pressão sanguínea; e anemia. A exposição a níveis elevados de chumbo pode danificar gravemente o cérebro e os rins e, finalmente, causar a morte. Em mulheres grávidas, altos níveis de exposição ao chumbo podem causar aborto espontâneo. A exposição de alto nível em homens pode danificar os órgãos responsáveis pela produção de espermatozoides.
Ferro	Ampla distribuição.	Ingestão (água)	O Ferro não apresenta efeitos graves à saúde humana. Afeta apenas a qualidade da água potável quanto ao aspecto (cor e sedimentos) e odor.
Manganês	O manganês é um elemento natural que constitui aproximadamente 0,1% da crosta terrestre. Não ocorre no ambiente em sua forma metálica pura, mas é onipresente como um componente de mais de 100 minerais, incluindo muitos silicatos, carbonatos, sulfetos, óxidos, fosfatos e boratos (ATSDR, 2000). O manganês ocorre naturalmente em níveis baixos no solo, na água, no ar e nos alimentos. Dos metais pesados, o manganês é superado em abundância apenas pelo ferro (ATSDR, 2000). A maior parte do minério de manganês é fundida para produzir ferromanganês, que é uma liga de ferro-manganês, usado principalmente na produção de aço para melhorar a rigidez, dureza e resistência. O dióxido de manganês é usado na produção de fósforos, baterias de células secas, fogos de artifício e como precursor de outros compostos de manganês. Estes compostos ainda são usado em fertilizantes, fungicidas, etc.	Ingestão (água)	Embora existam evidências de que o manganês possa ter efeitos adversos à saúde em humanos em altas doses por inalação, a evidência de efeitos adversos por exposição oral em níveis baixos ou moderados é menos convincente. Como o manganês é um nutriente essencial, a preocupação com os efeitos tóxicos potenciais da alta exposição oral deve ser ponderada em relação à preocupação com os efeitos adversos da deficiência de manganês, caso a ingestão seja muito baixa.
Zinco	O zinco é um dos elementos mais comuns na crosta terrestre. O zinco é encontrado no ar, no solo e na água e está presente em todos os alimentos. Na sua forma elementar pura (ou metálica), o zinco é um metal branco-azulado brilhante. O zinco em pó é explosivo e pode explodir em chamas se for armazenado em locais úmidos. O zinco metálico tem muitos usos na indústria. Um uso comum para o zinco é revestir o aço e o ferro, assim como outros metais, para evitar ferrugem e corrosão; esse processo é chamado de galvanização. O zinco metálico também é misturado com outros metais para formar ligas como latão e bronze. O zinco metálico também é usado para fabricar baterias secas Sulfeto de zinco e óxido de zinco são usados para fazer tintas brancas, cerâmicas e outros produtos. O óxido de zinco também é usado na produção de borracha. Compostos de zinco, como o acetato de zinco, o cloreto de zinco e o sulfato de zinco, são usados na preservação da madeira e na fabricação e tingimento de tecidos.	Inalação (fumos de solda) e Ingestão (alimentos e complementos vitamínicos)	A inalação de grandes quantidades de zinco (como pó de zinco ou fumos de fundição ou soldagem) pode causar uma doença específica de curto prazo chamada febre das emanações de metal, que geralmente é reversível quando a exposição ao zinco cessa. No entanto, muito pouco se sabe sobre os efeitos a longo prazo da inalação de poeira ou vapores de zinco. A ingestão de altos níveis de zinco por vários meses pode causar anemia, danificar o pâncreas e diminuir os níveis de lipoproteína de alta densidade (HDL). A EPA determinou que, devido à falta de informação, o zinco não é classificável quanto à sua carcinogenicidade humana.

Quadro 2: Possíveis fontes, tipo de exposição e efeitos à saúde humana para os metais Chumbo, Ferro, Manganês e Zinco. (Martin & Griswold, 2009; EPA, 2000; ATSDR, 2005).

A análise preliminar com XRF sugere que as áreas da Figura 3 merecem estudos mais detalhados para quantificar os metais no solo e verificar sua potencialidade de causar algum dano para as pessoas da comunidade que ali residem.

4 | CONCLUSÕES

O perfil de distribuição das concentrações de metais na área de estudo demonstra o impacto principalmente influenciado pela área continental, sugerindo seu transporte ao longo do sistema estuarino do Porto de Santos e sendo disponibilizados para o solo da comunidade através da água do rio, durante a enchente da maré. A aplicação do XRF como uma ferramenta de varredura para a análise de metais em sedimentos, associadas a ferramentas de geoprocessamento, permitem a espacialização das

concentrações, se apresentando como uma ótima ferramenta de baixo custo e de rápida detecção para varredura e identificação de anomalias de metais no solo, permitindo assim a obtenção de informações preliminares sobre a qualidade dos solos.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas – FIPT, ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e ao prof. Dr. Ronaldo Torres da Universidade Federal de São Paulo por todo o apoio recebido.

REFERÊNCIAS

ATSDR. **Toxicological profile for Zinc**. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2005. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/phs/phs.asp?id=300&tid=54>.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2 ed. São Paulo, 2002. 622 p.

CETESB, DECISÃO DE DIRETORIA Nº 256/2016/E, DE 22 DE NOVEMBRO DE 2016. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2014/12/DD-256-2016-E-Valores-Orientadores-Dioxinas-e-Furanos-2016-Intranet.pdf>.

EPA. **Cobalt Compounds**. 2000. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/cobalt-compounds.pdf>.

JESUS, H. C.; COSTA E. A.; MENDONÇA, A. S. F.; ZANDONADE, E. **Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da ilha de Vitória-ES**. Química Nova, Vol. 27, Nº 3, 378-386, 2004.

MARTIN, S. and GRISWOLD, W. **Human Health Effects of Heavy Metals**. *Environmental Science and Technology Briefs from Citizens*, 15, 1-6, 2009. Disponível em: <https://www.engg.ksu.edu/chsr/files/chsr/outreach-resources/15HumanHealthEffectsofHeavyMetals.pdf>

POLETO, C. Ambiente e sedimentos. Porto Alegre: ABRH, 2008. 404 p.

SILVA, L. A. **Avaliação da biodisponibilidade de metais em amostras de sedimentos do Rio Uberabinha (Uberlândia - Minas Gerais)**. Universidade Federal de Uberlândia – Campus Santa Monica, Programa de Pós-Graduação em Química, Uberlândia-MG, 2009. Dissertação de Mestrado, 75p.

VERIFICAÇÃO DA ADESÃO EM SOLO GRAMPEADO OBTIDA ATRAVÉS DE ENSAIOS DE ARRANCAMENTO COMPARADOS COM MÉTODOS EMPÍRICOS

Rodrigo Rogério Cerqueira da Silva

Universidade Nove de Julho, Departamento de
Ciências Exatas
São Paulo – São Paulo.

parâmetros de adesão para solos coesivos.

PALAVRAS-CHAVE: Solo grampeado, ensaio de arrancamento, injeção de calda de cimento, solos coesivos.

ABSTRACT: The technique of stabilization of slopes by means of stapled soil has become usual in the geotechnical environment due to its low cost, versatility of adaptation to varied geometries, high speed of execution, especially in situations of landslides in natural slopes. One of the main pathologies related to the stapled soil is its rupture due to lack of adhesion, this technique is evaluated in its limit state through the shear strength developed by the main geotechnical parameter the adhesion (q_s) obtained through the soil-reinforcement interaction. The main objective of this research is to compare the adhesion values (q_s) obtained through in situ pullout tests with the applicability of empirical correlations of the literature developed by Clouterre (1991), Ortigão (1997), Ortigão et al. (1997) and Springer (2006). Providing a database for geotechnical community. The tests were carried out in anchorage in an infrastructure project located in the Guarulhos region, demonstrating that the Springer (2006) method is more efficient in determining the adhesion parameters for cohesive soils.

KEYWORDS: Soil Nailing, pullout resistance, injection of cement grout, Cohesive soil

RESUMO: A técnica de estabilização de encostas por meio do solo grampeado vem tornando-se usual no meio geotécnico pelo seu baixo custo, versatilidade de adaptação à geometrias variadas, alta velocidade de execução, principalmente em situações de riscos de escorregamentos em taludes naturais. Uma das principais patologias ligadas ao solo grampeado é a sua ruptura por falta de aderência, esta técnica é avaliada em seu estado limite através da resistência ao cisalhamento desenvolvida pelo principal parâmetro geotécnico a adesão (q_s) obtida através da interação solo-reforço. O principal objetivo desta pesquisa é confrontar os valores de adesão (q_s) obtidos através de ensaios de arrancamento realizados in loco com a aplicabilidade de correlações empíricas da literatura desenvolvidas por Clouterre (1991), Ortigão (1997), Ortigão e Palmeira (1997) e Springer (2006), fornecendo base de dados para comunidade geotécnica. Os ensaios foram realizados em grampos em uma obra de infraestrutura localizada na região de Guarulhos, demonstrando que o método de Springer (2006) é mais eficiente na determinação dos

1 | INTRODUÇÃO

Atualmente profissionais da área de engenharia geotécnica se deparam com o fato de que não há uma norma técnica para o uso de solo grampeado indicando boas práticas de projeto e parâmetros a serem ponderados, levando a técnica a superdimensionamentos distanciando-se da técnica desenvolvida por Rabcewicz (1964), através do sistema rápido de contenção para estabilização de encostas através de barras de aço inseridas no maciço por perfuração com posterior injeção de nata de cimento. Um dos principais mecanismos que contribui para a estabilidade do maciço de solo é a resistência ao cisalhamento desenvolvida na interface solo reforço (q_s), contribuindo com o desenvolvimento de tensões de tração nos grampos.

De acordo com Ortigão et al. (1995) a metodologia de execução somente através de barra de aço com injeção de bainha (preenchimento anelar entre furo e aço) permite obter parâmetros de resistência ao cisalhamento através da adesão (q_s) entre solo-grampo da ordem de 100 KPa. Estudos realizados por Frazen (1998) demonstrou através de ensaios de arrancamento em grampos, que a adesão é influenciada pela tensão normal do solo atuante na superfície do terreno, ângulo de atrito do solo, interação entre solo e chumbador e o seu perímetro. Este tipo de estrutura passiva necessita de deslocamentos para que haja mobilização da resistência ao cisalhamento através da interface solo e grampo.

Segundo Ortigão (1997) e Silva e Pereira (2016), alguns fatores podem ser essências nos valores de (q_s), como os parâmetros do solo, propriedades do grampo, método de perfuração, limpeza do furo, características mecânicas da calda de cimento, além de fatores ambientais como temperatura e umidade. As condições favoráveis para execução do solo grampeado de acordo com Elias et al. (2003) esta relacionada ao teor de umidade do solo, as estruturas devem ser executadas acima do lençol freático, sendo as condições favoráveis comprovadas a partir de investigação geológica-geotécnica do tipo sondagem a percussão, sendo o índice de resistência NSPT um dos principais parâmetros para dimensionamento dos grampos. Solos finos e rígidos, granulares denso com coesão aparente e rochas que não apresentam plano de ruptura, são considerados favoráveis para aplicação da técnica em solo grampeado.

2 | PROGRAMA EXPERIMENTAL

O desempenho da adesão dos grampos foi analisado por meio da interpretação de boletins de sondagens SPT, revisão bibliográfica através de artigos, normas internacionais e parâmetros obtidos dos ensaios de arrancamento realizado *in loco*. Os testes foram realizados em dois grampos executados no mesmo talude e alinhamento, porém em cotas distintas, com a finalidade de verificar as diferenças da adesão (q_s) devido à heterogeneidade do subsolo local.

A previsão da resistência ao arrancamento (q_s) foi realizada por meio de correlações empíricas da literatura desenvolvidas por Clouterre (1991), Ortigão (1997), Ortigão e Palmeira (1997) e Springer (2006). Embora as correlações entre valores de arrancamento (q_s) e as características do solo sejam ferramentas importantes principalmente para concepção inicial de projeto, os ensaios de arrancamento se constituem imprescindível para a real avaliação do atrito solo-grampo (q_s) do comportamento da obra, além de demonstrar quais os métodos de previsão de resistência ao arrancamento é o mais eficiente e próximo do comportamento obtido in loco.

3 | CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GEOTÉCNICAS

Segundo Hasui e Carneiro (1980) e Janasi e Ulbrich (1991) a compartimentação no município de Guarulhos pode ser separado em duas amplas unidades geológicas, compostas por granitoides intrusivas de idade neoproterozóica ou rochas sedimentares de idade Cenozóica da Bacia de São Paulo, com embasamento composto por gnaisses, migmatitos e rochas metamórficas de baixo a médio grau, de idade arqueana a neoproterozóica.

O embasamento cristalino na região de Guarulhos pode ser repartido em duas unidades maiores, afastadas pela faixa de cisalhamento Caucaia-Rio Jaguari, que reparte o município na direção NE. Prevalecem ao Norte da Falha do Rio Jaguari metassedimentos distintos, de idade proterozóica, deformados ao longo de zonas de cisalhamento e metamorfismo no neoproterozóico. Estes metassedimentos envolvem essencialmente filitos e xistos nomeados de Grupo São Roque, intercalados aos filitos predominam corpos lenticulares de metadolomitos, quartzitos, metamargas, rochas metabásicas, rochas cálcio-silicáticas e metaconglomerados (ALMEIDA et al. 1981).

Estudos realizados por Juliani (1993), reparti estas rochas nos grupos Serra do Itaberaba, incluindo as sequências vulcano-sedimentar, clasto-químicas e clásticas e São Roque, fundamentalmente clástico. Estas rochas do município de Guarulhos se localizam em muitas partes recobertas pelos sedimentos terciários da Bacia de São Paulo, surgindo no extremo Sul, unido ao perímetro no bairro de São Miguel na cidade de São Paulo, ou em pequenos altos estruturais, formados por blocos do embasamento aflorantes no meio dos sedimentos.

A área da execução dos ensaios foi previamente selecionada após inspeção de fatores geológicos do terreno favoráveis a execução dos ensaios, comprovados a partir de sondagens do tipo SPT.

As investigações geotécnicas compostas por sondagem a percussão apresentaram uma homogeneidade das camadas do subsolo, inicialmente caracterizada pela presença de um solo sedimentar composto em areia média a grossa com argila, pedregulho fino, de cores marrom, vermelha, variegada, variando sua compacidade ao

longo das sondagens em medianamente compacta a compacta. Por fim, determinou-se uma camada argilosa pouco siltosa, com areia fina, de cores cinza, marrom, variegada e com consistência rija a dura. O nível de água foi detectado durante o período de realização das investigações, sendo que sua cota é variável conforme a topografia do terreno encontrado em torno de -6 a -12 m.

Com base nas informações contidas dos perfis de horizonte descrito acima, foi desenvolvido o estudo do perfil geológico conforme a Figura 1, apresentando os valores de NSPT a partir dos resultados obtidos pelas sondagens SPT 01 e SPT 02 e 03 realizadas na área de execução dos grampos testes.

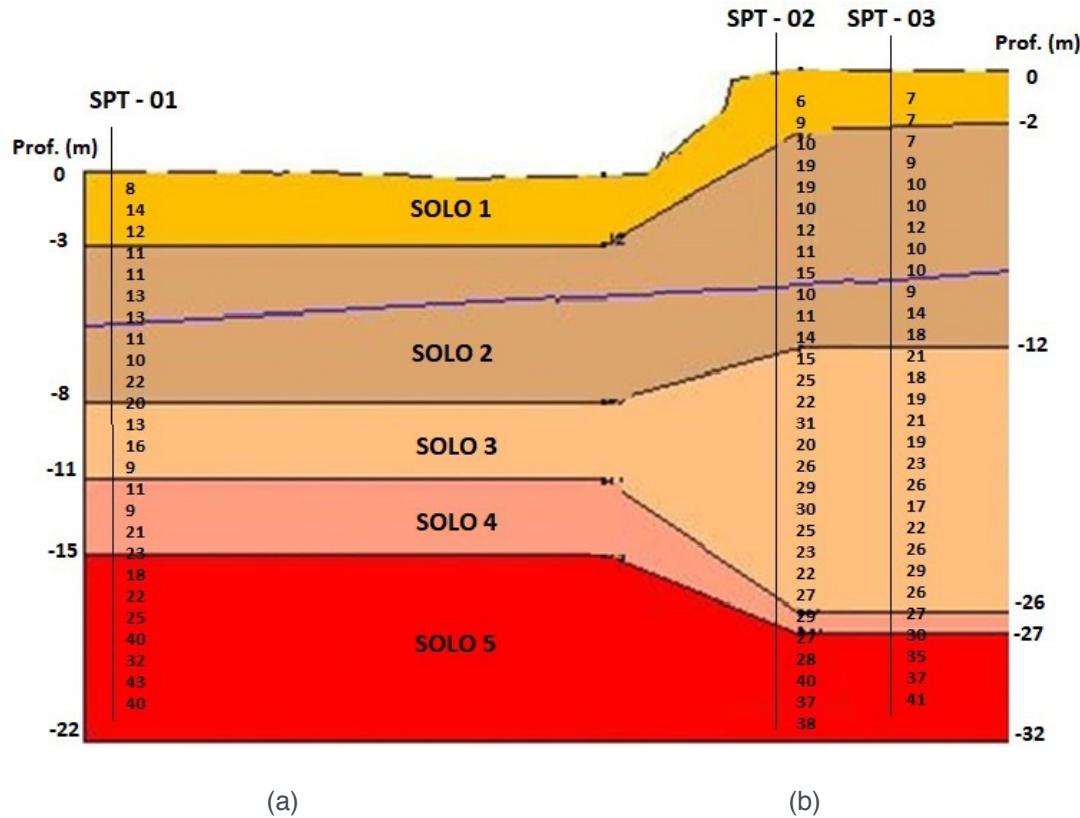


Figura 1. Perfil geológico da área dos ensaios e valores das sondagens NSPT.

Os parâmetros geotécnicos adotados fundamentaram-se na análise dos resultados das sondagens a percussão através do seu índice NSPT, classificação táctil-visual e das amostras de solos recolhidas durante as investigações geotécnicas para determinação dos índices físicos conforme Tabela 1. Os parâmetros em função dos horizontes de solo e de suas características efetivas de resistência média de NSPT, coesão efetiva e ângulo de atrito efetivo do solo são apresentados na Tabela 2.

Camada de solo	e	n	γ_{nat} (KN/m ³)	γ_{sat} (KN/m ³)	γ_s (KN/m ³)	Sr (%)	LP	LL	w (%)
1	1,172	53,80	17,0	17,0	27,75	40,30	26,5	35	16,3
2	1,090	51,99	18,0	18,0	27,74	43,78	20,9	31,4	16,8
3	0,956	48,61	18,0	18,0	27,73	53,98	18,6	38	18,9
4	0,976	49,49	19,0	20,5	27,70	49,9	21,9	30	23,3

5	0,639	35,03	20,0	20,5	27,55	47,97	19,4	34,6	19,6
Onde: e – índice de vazios; n – porosidade; γ_{nat} – peso específico aparente natural; γ_{sat} - peso específico aparente saturado; γ_s – peso específico do solo; Sr – grau de saturação; LP - limite de plasticidade; LL – limite de liquidez; w – teor de umidade.									

Tabela 1. Índices físicos das camadas da área de execução dos grampos testes.

Camada de solo	NSPT médio na camada	Coesão c' (KPa)	Ângulo de atrito efetivo do solo $\phi'(^{\circ})$
1	7	20	15
2	13	15	22
3	22	20	25
4	31	25	30
5	40	35	30

Tabela 2. Parâmetros de resistência dos solos investigados.

NSPT – Índice de resistência à penetração; c' – coesão; ϕ – ângulo de atrito.

4 | DETERMINAÇÃO ADESÃO SOLO-BARRA ATRAVÉS DE MÉTODOS EMPÍRICOS

A mobilização da resistência ao cisalhamento da interface solo-grampo é responsável pelo aumento ou diminuição da resistência dos grampos. Pela natureza e propriedades dos solos, a resistência ao cisalhamento da interface solo-grampo pode ser mobilizada tanto pelo atrito, quanto pela adesão superficial no perímetro com o comprimento ancorado do grampo.

A resistência ao arrancamento (q_s) foi realizada por meio de correlações empírica através dos métodos consagrados da literatura como Clouterre (1991), Ortigão (1997), Ortigão e Palmeira (1997) e Springer (2006). De acordo com Elias e Juram (1991) e Lazart et al. (2003) os valores obtidos através correlações empíricas baseadas nos números de golpes do ensaio SPT, são conservadores e podem ser usados como estimativa preliminar de projeto.

A Tabela 3 apresenta os valores dos métodos empíricos utilizados para determinação da adesão solo-grampo, considerando as duas camadas de solo que foram executados os grampos testes.

Métodos	Cálculo	q_s (KPa) Camada solo 2	q_s (KPa) Camada solo 3
Clouterre (1991)	Gráficos para argila	40	50
Ortigão (1997)	$q_s = 50 + 7,5 \text{ NSPT}$	102,50	125
Ortigão e Palmeira (1997)	$q_s = 67 + 60 \ln(\text{NSPT})$	184	205
Springer (2006)	$q_s = 45,12 \ln(\text{NSPT}) - 14,99$	73	89

Tabela 3. Adesão Solo-Grampo (q_s) obtido através de métodos empíricos.

5 | ENSAIO DE ARRANCAMENTO

As correlações entre valores de arrancamento (q_s) e as características do solo são ferramentas importantes, principalmente para concepção inicial de projeto, os ensaios de arrancamento se constituem imprescindível para a real avaliação do atrito entre solo-grampo (q_s) do comportamento da obra.

A execução de ensaios de arrancamento em grampos não é regulamentada por nenhuma norma técnica, a ABNT está em processo de elaboração de norma técnica de Muros e Taludes em Solos Reforçados, que compreende a execução de solos grampeados e contempla a realização de ensaios de arrancamento (Comissão ABNT CE-002:152.16). Sendo que a presente pesquisa utilizou os procedimentos e recomendações de ensaios, esquemas de montagem e interpretações do comportamento do arrancamento, baseados através do estado da arte e do comportamento adquirido durante os ensaios.

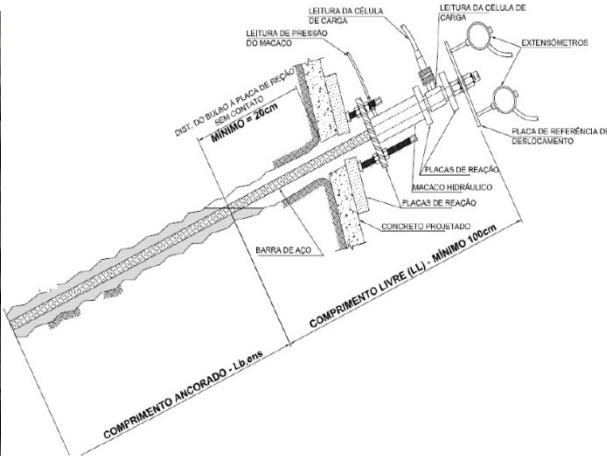
A metodologia utilizada *in loco* apresenta os procedimentos mínimos necessários dos parâmetros de adesão efetivos do solo grampeado, na interface solo/calda, confirmando os valores de adesão considerados durante a fase de projeto, aonde os resultados obtidos dos ensaios deverão ser confrontados com os valores de projeto para confirmação ou para indicação da necessidade de reavaliação do sistema de contenção.

Após um tempo mínimo de sete dias de cura da calda de cimento após a injeção da bainha, realizaram-se os ensaios de arrancamento em dois grampos testes, avaliando sua carga limite através de incrementos de cargas Figura 2 (a). Para realização dos ensaios foi utilizado como referência a metodologia empregada por Lazart et al. (2003) e Silva e Pereira (2016), adotando o comprimento do trecho ancorado da bainha dos grampos de 3 m, podendo ter uma variação de mais ou menos 10% (2.70 m à 3.30 m).

A montagem dos ensaios deve garantir um comprimento livre mínimo de 1 metro na extremidade de aplicação da força de ensaio, garantido também um afastamento mínimo da extremidade da bainha à placa de reação de 20 cm, conforme Figura 2 (b).



(a)



(b)

Figura 2. (a) Vista geral ensaio de arrancamento, (b) Vista geral detalhe de montagem ensaios.

Os gramos testes foram executados nas camadas de solos 2 e 3, conforme parâmetros geotécnicos demonstrado na Tabela (1), com profundidades de 10 metros, sendo 7 metros livre e 3 ancorado conforme recomendação Lazart et al. (2003).

As injeções foram realizadas somente com bainha de forma ascendente até atingir o refluxo caudal, com calda de cimento fator a/c 0,5 com f_{ck} de 25 MPa, verificando durante as injeções o consumo para a camada 2 em 3 sacos de cimento e camada 3 em 1,5 saco de cimento por metro de chumbador injetado.

De acordo com estudos realizados por Silva e Pereira (2016), a injeção somente através da bainha é fundamental pra a fixação dos gramos, além de contribuir no tratamento para reduzir as infiltrações através das feições geológicas de baixas permeabilidades, quando executados em solos coesivos. Ao longo do talude a verificação da integridade da injeção da bainha foi analisada através da exumação de trechos de gramos, verificando que a porosidade do maciço compromete a interação dos elementos de tração após o abatimento da calda de cimento. As Figuras 3 (a e b), demonstram a verificação da integridade da bainha dos gramos executados nas camadas de solos 2 e 3.



(a)

(b)

Figura 3. Verificação do preenchimento de calda dos gramos, (a) camada 2, (b) camada 3.

O carregamento dos gramos durante os ensaios foram realizados através da metodologia aplicada por Falconi e Alonso (1996), Springer (2006) e Silva (2012), ao qual recomendam que o incremento de carga deva ser de 5 kN (500 kgf), com 5 minutos em cada estágio de carga até a ruptura, através de valores que permitam um número mínimo de leituras carga x deslocamento.

Segundo Clouterre (1991) e Lazart et al. (2003) o ensaio deve ser finalizado quando a força de tração atingir um valor máximo (T_{max}) ou estabilizar para deslocamentos crescentes, conforme demonstra a Figura 4.

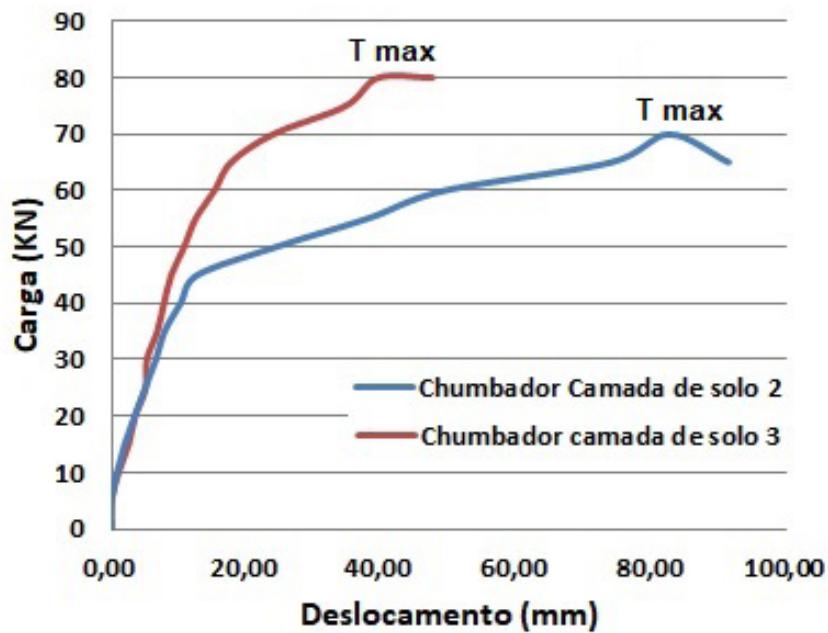


Figura 4. Curva carga x deslocamento dos grampos executados nas camadas de solo 2 e 3.

6 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

Dentre os métodos de previsão do coeficiente de segurança, para as análises de estabilidade global foram adotadas cunhas circulares determinadas pelo método de Bishop Simplificado, elaborados a partir software computacional, considerando fator de segurança mínimo para a estabilidade global de 1,50.

A estabilidade interna do tratamento representada a partir da Figura (5), ilustra os carregamentos em cada barra do solo grampeado, demonstrado que os grampos atenderão a limitação imposta por norma para cargas de trabalho (Trab) de 50 kN e tensão máximas (Tmáx) 72 kN, comprovada a eficiência da análise de estabilidade por software após a realização dos ensaios, obtendo-se a força de arrancamento máxima (Tmax), a real avaliação do atrito solo-grampo (qs).

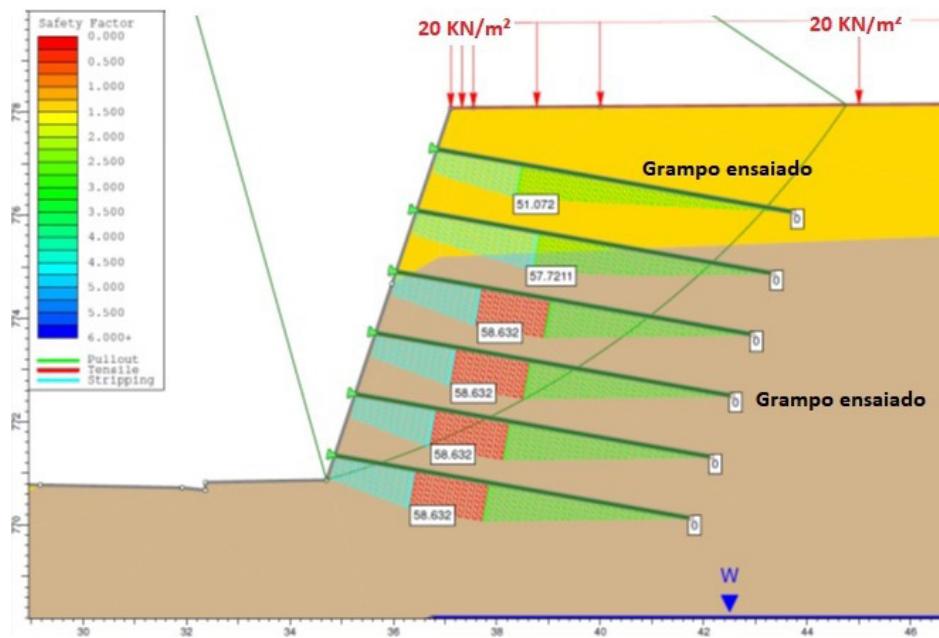


Figura 5. Dimensionamento de gramos com $T_{trab}=50$ kN e $T_{máx}=72$ kN.

O comportamento dos parâmetros obtidos *in loco* pode ser comprovado conforme indicado por Lazart et al. (2003) e Silva e Pereira (2016), onde o valor unitário do atrito (q_s) é obtido por meio da através da equação 1 e apresentados na Tabela 4.

$$q_s: T_{máx} / (\pi \cdot D_b \cdot L_b) \quad (1)$$

Em que:

q_s = adesão solo/bainha (Kpa);

$T_{máx}$ = Força máxima do ensaio (KN);

L_b = comprimento ancorado da bainha (m);

D_b = diâmetro da bainha (m).

Camada	$T_{máx}$ (KN)	D_b (m)	L_b (m)	q_s (KPa)
Solo 2	70	0,10	3	74
Solo 3	80	0,10	3	85

Tabela 4. Adesão Solo-Grampo (q_s) obtido através dos ensaios de arrancamento.

Os parâmetros obtidos durante as investigações geotécnicas demonstraram que as diferentes estruturas dos solos influenciaram nos resultados obtidos *in loco*, diante das classificações para cada horizonte, sendo a adesão (q_s) relacionada ao índice de vazios do solo, comprovada através do volume de calda injetado na camada de solo 2, comprometendo a adesão através da interação solo-barra, não formando uma bainha integral ao longo dos gramos, diminuindo a capacidade de carga a tração com grandes deslocamentos. A influência na formação da adesão através da interação solo-barra de aço, em relação ao índice de vazios e porosidade do solo, é verificada no chumbador executado na camada de solo 3 com pequenas deformações e maior

resistência ao arrancamento.

A condição esperada para avaliar a aplicabilidade dos métodos para determinação do (qs) é que os valores analisados agrupem-se entre os limites superior e inferior, ou seja, com uma margem de 20% para cima ou para baixo da força máxima obtida durante o ensaio de carregamento. De maneira que quanto mais próximo de 100% for o valor da relação (qs estimado\ qs ensaio), mais exato será considerado o resultado estimado pelos métodos baseados em correlações empíricas, contribuindo assim com aspectos técnicos para dimensionamento, diminuído a grande dispersão dos resultados obtidos através das referidas correlações.

Para permitir a comparação dos resultados entre os métodos empíricos de previsão com o ensaio de arrancamento, a Figura 6 apresenta a precisão dos métodos com a realidade obtida *in loco*.

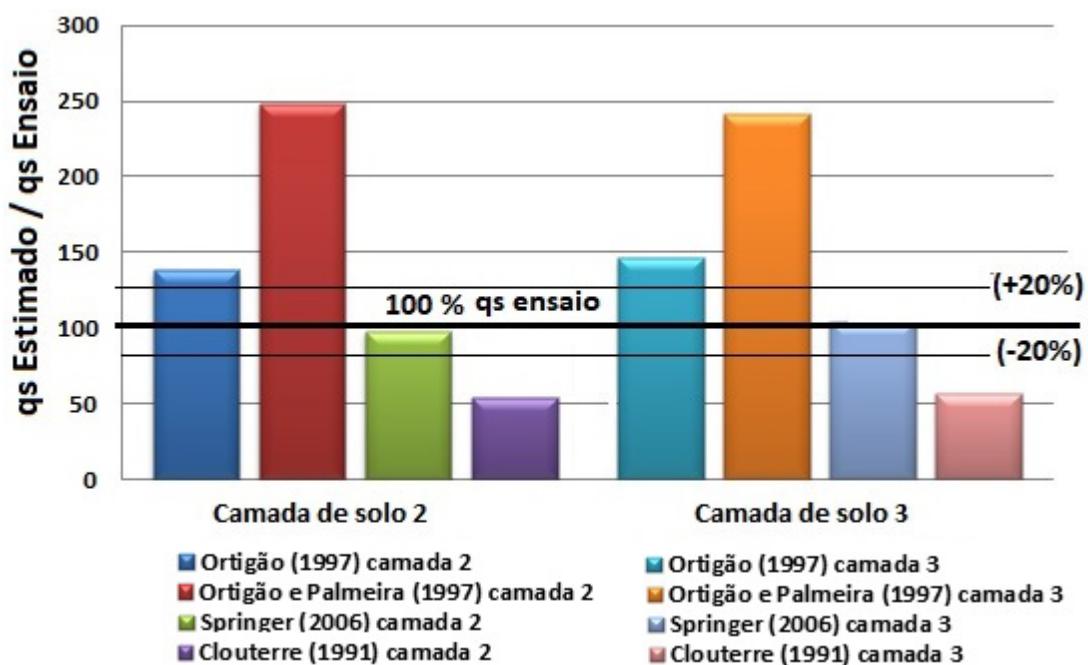


Figura 6. Análise comparativa entre os valores de (qs) obtidos por meio de métodos empíricos e através dos ensaios de arrancamento.

Os resultados aplicados na Figura 6, demonstram que a previsão dos métodos que consideram a resistência ao cisalhamento da interface solo calda de cimento, não foram discrepantes em virtude da heterogeneidade do solo local para a camada 2 e 3, não sendo satisfatória para os métodos de Ortigão e Palmeira (1997) ao qual apresentou valores acima do real em torno de 39 a 47 %. O método empírico de Clouterre (1991), realizado a partir da pressão média para solos argilosos obtidos através de ensaios pressiométricos, subestimou o parâmetro de (qs) entre 54 a 58 %.

O método de Ortigão (1997) e Springer (2006) foram os mais conservadores, apesar de Springer (2006) subestimar o parâmetro de (qs), foi o que apresentou melhor previsão dentro dos limites adotado de variação $\pm 20\%$.

7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

As condições geotécnicas de estabilidade dos maciços de solo estimadas através de software ou métodos consagrados de determinação da adesão dos grampos através de sondagens devem ser confirmadas durante a execução da obra.

A exumação parcial dos grampos possibilitou uma análise qualitativa das condições de injeção, relacionando o índice de vazios e porosidade do material na formação de uma bainha íntegra ao longo dos grampos, contribuindo os índices físicos na formação da adesão através da interação solo-barra de aço.

Embora as correlações entre valores de arrancamento (q_s) e as características do solo sejam ferramentas importantes para concepção inicial de projeto, os ensaios de arrancamento se constituem numa necessidade imprescindível para a real avaliação do atrito solo-grampo (q_s) e do comportamento da obra. O ensaio de arrancamento em sua condição de ruptura permite a verificação da verdadeira solicitação de esforços através da interação solo-calda de cimento-barra de aço.

Os métodos empíricos de Ortigão (1997) e Springer (2006), baseados na resistência ao cisalhamento da interface solo-calda, foram que apresentaram valores próximos dos obtidos *in loco* através de valores de NSPT, com melhor previsão ao método Springer (2006), ao contrário dos parâmetros fornecidos por Clouterre (1991), determinados a partir de ensaios pressiométricos, admitindo valores para solos argilosos sem considerar a heterogeneidade obtida *in loco*.

Os parâmetros do solo obtidos através de investigações geológicas-geotécnicas, propriedades do grampo, método de perfuração, limpeza do furo e características mecânicas da calda de cimento, são fatores essências nos valores de (q_s).

REFERÊNCIAS

AIMEIDA F.F.M., HASUYI Y., BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R. A. **Brazilian Structural Provinces: an introduction**. Earth-Science Reviews, v. 17, n. 1-2, p. 1-29. 1981.

CLOUTERRE. **Recomendations Clouterre – Soil Nailing Recommendations for Designing, Calculating, Constructing and Inspecting Earth Support Systems Using Soil Nailing (English Translation)**, Scientific Committee of the French National Project Clouterre, ENPC, Paris, France. In: Report FHWA-SA-93-026, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC, USA, July. Edited by F. Schlosser. 1991.

ELIAS, V.; JURAM, I. **Soil nailing for stabilization of highway slopes and excavations**. In: Report FHWA-RD-89-198, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC, USA. 1991.

FRAZEN, G. **Soil Nailing – A Laboratory and Field Study of Pullout Capacity**. Doctoral Thesis, Department of Geotechnical Engineering, Chalmers University of Technology, Sweden. 1998.

FALCONI, F.F.; ALONDO, U.R. **Considerações sobre o dimensionamento de uma Estrutura de Contenção e Solo Grampeado**. In: Seminário de Engenharia e Fundações Especiais e Geotecnica. 1996.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R. **Origem e evolução da bacia sedimentar de São Paulo.** In. Mesa redonda aspectos geológicos e geotécnicos da bacia sedimentar de São Paulo, p. 5-13. 1980.

JANASI, V.A.; ULBRICH, H.H.G.J. **Late Proterozoic granitoid magmatism in the state of São Paulo, southeastern Brazil.** Precambrian Research, v. 51, n. 1-4, p. 351-374. 1991.

JULIANI, C. **Geologia, petrogênese e aspectos metalogenéticos dos Grupos Serra do Itaberaba e São Roque na região das serras do Itaberaba e da Pedra Branca, NE da cidade de São Paulo, SP.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 1993.

LAZART, C. A., EILIAS, V., ESPINOZA, R. D., SABATINI, P. J. **Soil nail walls.** In: Report FHWA0-IF03-017, Geotechnical Engineering Circular n. 7, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC, USA, March. 2003.

RABCEWICZ, L. V. **The New Austrian Tunnelling Method.** Revista Water Power p.453-457 Novembro – 1964, p.511515, Dezembro – 1964, p.19-22, Janeiro 1965.

SILVA, R.R.; PEREIRA, G. A. **Verificação do Desempenho de Grampos Realizados com Injeção de Bainha.** IN. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica - COBRAMSEG, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. 2016.

SPRINGER, F. O. **Ensaios de Arrancamento de grampos em solo residual de gnaisse.** Tese de Doutorado Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 310p. 2006.

ORTIGÃO, J. A. R. **Pullot Tests in Soil Nailing Structures.** Revista Solos e Rochas, São Paulo, Vol.20, Nº1, p.39-43. 1997.

ORTIGÃO, J. A. R.; PALMEIRA, E. M. **Solo grampeado: técnica para estabilização de encostas e escavações.** In: 1^a Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (COBRAE). Rio de Janeiro: ABMS, p. 57-74. 1997.

PROCESSOS EROSIVOS HÍDRICOS LINEARES DOS TIPOS RAVINA E BOÇOROCA

Gerson Salviano de Almeida Filho

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas,
Tecnólogo Civil, MSc
(11) 3767-4643, gersaf@ipt.br

**Geraldo Figueiredo de Carvalho Gama
Júnior**

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas,
Engenheiro Civil
(11) 3767-4434, ggama@ipt.br

groundwater in the bottom of the incision. Thus, differentiation between the ravine and gully is of considerable importance, since gullies requires more extensive measures for its control, often involving engineering works, especially when affect cities and roads.

KEYWORDS: Soil erosion; Gully; Ravines.

1 | INTRODUÇÃO

O tema erosão dos solos é tratado por diversas áreas do conhecimento: Agronomia, Engenharia Civil, Geologia e outras. O entendimento do comportamento dos processos erosivos hídricos lineares permite destacar dois tipos de maior importância: as ravinas e as boçorocas. Uma ravina é o resultado do escoamento superficial, enquanto uma boçoroca é o canal esculpido pelo afloramento do lençol freático no fundo da incisão e também pelo escoamento superficial. Por isso, a diferenciação entre ravina e boçoroca tem uma considerável importância, já que as boçorocas necessitam de medidas de maior envergadura para sua contenção.

RESUMO: O entendimento do comportamento dos processos erosivos hídricos lineares permite destacar dois tipos de maior importância: as ravinas e as boçorocas. Uma ravina é o resultado do escoamento superficial, enquanto uma boçoroca é o canal esculpido pelo afloramento do lençol freático no fundo da incisão e também pelo escoamento superficial. Por isso, a diferenciação entre ravina e boçoroca tem uma considerável importância, já que as boçorocas necessitam de medidas de maior envergadura para sua contenção.

PALAVRAS-CHAVE: Erosão do solo; Boçoroca, Ravina, Voçoroca.

ABSTRACT: The understanding of the behavior of linear erosion allows highlight two more important types: ravines and gullies. A ravine would be the result of runoff while gully would be the channel carved by outcropping of

A evolução de áreas intensamente afetadas pela erosão apresenta normalmente, um primeiro estágio de erosão laminar intensa, que leva à formação de sulcos rasos e

profundos. Não havendo medidas de combate, os sulcos podem crescer rapidamente formando ravinas de portes variados. Se as condições dos terrenos forem favoráveis, as ravinas podem se aprofundar até atingir o nível d'água subterrânea. Neste estágio, passa a se desenvolver a boçoroca (ou voçoroca), que evolui de modo acelerado e complexo em função da ação combinada das águas superficiais e subterrâneas. Os conceitos dos processos de erosão, do tipo ravina e boçoroca, são muito discutidos entre os pesquisadores da geografia e geologia e, também, pelos pesquisadores das áreas de engenharia civil e agronomia, cuja diferenciação desses processos é fundamental na elaboração dos projetos de estabilização e contenção, visto que, no caso das boçorocas há necessidade da adoção de medidas de maior envergadura, principalmente quando atingem cidades, estradas e ferrovias.

Para não haver confusões quanto ao que cada conceito se refere, é necessário buscar a fundamentação teórica de vários autores que trabalham na área de erosão de solos e com diferentes formações e, assim, deixar mais claro o que se entende por processos erosivos.

2 | CONCEITOS DE EROSÕES

O conceito de erosão está associado a processos de desgaste da superfície do terreno, desencadeado pelo escoamento da água superficial com caráter mais contínuo e gradativo, por meio da desagregação, transporte e deposição dos materiais alterados que compõem o solo (IPT, 1986; ALMEIDA FILHO, 2000; GUERRA, 2005; TOMINAGA et al., 2009). Tal situação provoca a produção de grande quantidade de sedimentos que contribui para o assoreamento de cursos d'água e reservatórios de abastecimento e, consequentemente, favorece a ocorrência de inundações e a danificação de infraestruturas rurais e urbanas (DAEE, 1989; ALMEIDA FILHO, 2000; LEPSCH, 2002; IPT, 2012).

Conceptualmente, é importante distinguir os processos de erosão por escoamento laminar dos processos de erosão linear acelerada, estes últimos envolvem a movimentação de grandes massas de solo e sedimentos, conhecidos no Brasil como sulcos, ravinas e boçorocas.

2.1 Erosão do tipo Laminar

Na erosão laminar ou em lençol, o escoamento das águas pluviais pode formar pequenos filetes generalizados em extensas áreas, que resulta na remoção progressiva e relativamente uniforme dos horizontes superficiais de solo.

Esse tipo de erosão é extremamente atuante em áreas de uso agrícola, onde os solos apresentam-se desnudos em determinadas épocas do ano, antecedendo ao período de plantio (VALLE JUNIOR, 2008), na área urbana também ocorre esse tipo de processo na expansão da cidade por meio de abertura de novos loteamentos e bairros

sem infraestrutura. De acordo com CASTRO et al. (2004), a água de chuva provoca a erosão laminar por meio do impacto das gotas sobre a superfície do solo, caindo com velocidade e energia variáveis, e por meio de escorramento da enxurrada. Sua ação erosiva depende da distribuição pluviométrica e sua intensidade. A erosão laminar remove lentamente as finas camadas superficiais do solo de modo imperceptível, que pode ser observada quando, em culturas perenes, as raízes tornam-se expostas.

2.2 Erosão do tipo Sulco

As erosões em sulcos são pequenas incisões em forma de filetes muito rasos e ocorrem nas linhas de maior concentração das águas de escoamento superficial. Sulcos são pequenas incisões em forma de filetes muito rasos representados por áreas onde ocorrem erosão laminar muito intensa. Este processo ocorre nas linhas de maior concentração das águas de escoamento superficiais, resultando em pequenas incisões no terreno. Os sulcos podem passar despercebidos até que comecem a interferir no trabalho de preparo do solo nas áreas agrícolas e nas áreas urbanas ocorrem na expansão da cidade com a implantação dos novos loteamentos e ruas sem pavimentação. Possui fácil controle, porém, se os sulcos não forem bem contidos podem aprofundar-se, originando ravina.

2.3 Erosão do tipo Ravina

A ravina é um sulco profundo no solo provocado pela ação erosiva da água de escoamento superficial concentrado, e que não pode ser combatido pelos métodos mais simples de conservação de solo na área rural e, na área urbana, com medidas estruturais. Os seus mecanismos envolvem movimentos de massa, representados pelos pequenos deslizamentos que provocam o alargamento da feição erosiva e também seu avanço remontante. As ravinas têm as seguintes características: formato em “V”; normalmente de forma alongadas, mais compridas que largas e com profundidades variáveis; raramente são ramificadas e não chegam a atingir o nível d’água subterrânea (OLIVEIRA, 1994; CERRI et al., 1997); o desenvolvimento lateral se dá pelo escoamento das águas pluviais no seu interior, provocando erosão no pé do talude e, consequentemente, ocorre o deslizamento.

Existe uma tendência em que se considera uma profundidade mínima para as ravinas em torno de 30 cm, (TRICART, 1977) ou 50 cm (IMESON e KWAAD, 1980). GUERRA (1994) também apresenta uma diferenciação cuja proposta é de que as ravinas podem ser obliteradas por máquinas agrícolas. Ao considerar que os sulcos e ravinas são originados pelo escoamento concentrado das águas superficiais e, ao haver a interceptação do lençol freático, existe uma somatória de processos erosivos superficiais e subsuperficiais, fazendo com que a forma erosiva atinja grandes dimensões e passe a denominar-se boçoroca (SALOMÃO, 1994), desenvolvendo processos/fenômenos como “*piping*”, liquefação de areias, deslizamentos, e outros.

De acordo com GUERRA et al. (1999) e OLIVEIRA (1999), aspectos importantes para o desenvolvimento das ravinas e boçorocas dependem da conjugação de fatores naturais, como a pluviosidade, o tipo de solo, o relevo, e o uso e ocupação das terras.

O progresso do ravinamento pode atingir o lençol freático. Nesta etapa, intervêm processos ligados à circulação das águas de subsuperfície, fazendo com que o ravinamento atinja grandes dimensões e a forma passe a ser denominada boçoroca.

2.4 Erosão do tipo Boçoroca

A palavra boçoroca provém do tupi-guarani “ibi-çoroc”, e tem o significado de terra rasgada (PICHLER, 1953), ou então de “mbaê-çorogca”, traduzível por coisa rasgada (FURLANI, 1980). A origem indígena da palavra vem ao encontro do fato de que essas feições são reconhecidas de longa data, tendo sido descritas pela primeira vez em 1868 por Burton (PONÇANO e PRANDINI, 1987; FURLANI, 1980).

A erosão em boçoroca é a mais grave porque envolve mecanismos mais complexos, ligados aos fluxos superficiais e também subsuperficiais da água infiltrada no solo. Frequentemente apresentam fluxo de água livre e contínuo no seu fundo, alimentado pelo “vazamento” do lençol freático, que, nesse caso foi interceptado pelo rasgo da terra, e que fica minando nas suas paredes (taludes) na forma de surgências ou por meio de verdadeiras tubulações naturais chamadas de dutos ou piping, como o fenômeno é conhecido internacionalmente (CASTRO et al., 2004). Segundo IWASA e PRANDINI (1982), boçorocas seriam ravinas profundas de erosão, que se originam preferencialmente ao longo de linhas de drenagem, desenvolvendo-se tanto em sedimentos coluviais ou aluviais, como em solo residual, em encostas naturais, por ação erosiva combinada entre as águas superficiais e subterrâneas.

Segundo PRANDINI (1985), uma explicação para o fato de não se enfrentar a erosão provocada pelas águas no subsolo e outras particularidades específicas, pode ser encontrada nas tecnologias internacionais disponíveis para analisar e corrigir fenômenos, nos quais o controle das águas superficiais do terreno é tido como o único ou mais importante mecanismo de erosão. Como tais técnicas de análise e correção são de domínio universal, e como a ação erosiva das águas do subsolo tem sido registrada muitas vezes como sazonal, permite-se supor que a influência da água subsuperficial, bem como os demais fatores próprios de solos, possam também ter sido subestimados na caracterização de ravinas em outros países com geologia e climas comparáveis às áreas onde no Brasil desenvolvem-se as boçorocas. Esta ação pode ser determinante quando, por meio de “piping”, uma surgência d’água dá origem a um túnel (entubamento) simples ou ramificado, o qual gera uma depressão por desabamento do solo que capeia a cavidade (FURLANI, 1980). Tal fato só pode ser detectado nas fases iniciais de sua implantação, pois, em pouco tempo, a própria evolução do fenômeno torna-o indistinguível de uma boçoroca originada por entalhe superficial (PRANDINI, 1985). ALMEIDA FILHO et al. (1993) estudando a evolução

acelerada da erosão do Parque Bauru, na área urbana do município de Bauru, também enfatizam a ação complexa e conjunta das águas superficiais e subsuperficiais. Segundo SÁ (2001) apud SILVA (2003) a ação do “piping” provoca a remoção de partículas do interior do solo, formando canais que evoluem em sentido contrário ao fluxo d’água, podendo dar origem a colapsos do terreno, com desabamentos e escorregamentos que alargam e criam ramificações.

Na bibliografia, a maioria dos autores menciona o fenômeno do “piping” como o mais importante processo de evolução da boçoroca, mas nestas condições há pouco aprofundamento para entender os mecanismos deste fenômeno. É fundamental estudar a evolução da boçoroca, entendendo o comportamento do lençol freático na bacia de contribuição com análise das vertentes.

3 | CONSIDERAÇÕES

A Geologia de Engenharia, “especialização que enfoca as relações biunívocas entre o homem e o meio físico geológico” (RUIZ e GUIDICINI, 1998), pode e deve cumprir importante papel voltado à minimização dos impactos ambientais e à recuperação do ambiente, agregando as diferentes áreas do conhecimento que respondem pela solução de problemas de engenharia e meio ambiente (SALOMÃO et al. 2012). As erosões do tipo sulcos e ravinas não apresentam ramificações, em compensação as boçorocas ou voçorocas apresentam uma ou várias ramificações integrando-se ao ramo principal e destruindo grandes áreas de pastagens, culturas, bens públicos e moradias e tendo como consequência a jusante o assoreamento das drenagens. BACELLAR (2000) também aponta que a classificação mais utilizada no Brasil tem sido a do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, que diferencia as ravinas das boçorocas pelo fato da segunda atingir o lençol freático, que implica em hidrodinâmicas diferentes, embora admitam que uma ravina possa evoluir para boçoroca quando o nível do freático é interceptado, o que não significa que a dinâmica de todo o foco erosivo seja esta.

Nos estudos dos processos de boçorocamento na bacia hidrográfica do Ribeirão Vai Vem (Ipameri-GO) foram definidas como incisões que têm a presença do fluxo permanente, e as ravinas como incisões sem a presença do lençol freático, observando também que na boçoroca há a atuação tanto do fluxo superficial como do fluxo subsuperficial, enquanto as ravinas estão ligadas ao fluxo superficial (ROCHA, 2012).

Quanto à denominação ravina ou boçoroca vários pesquisadores (PICHILER, 1953; RODRIGUES, 1982; IPT, 1986; SALOMÃO, 1994 E 1999; OLIVEIRA, 1994; CANIL, 2000; ALMEIDA FILHO, 2000; CASTRO et al. 2004, CASTRO, 2005; ALMEIDA et al. 2005; CAMAPUM de CARVALHO et al., 2006) indicam que a erosão tipo ravina é desencadeada basicamente pelo escoamento concentrado das águas pluviais, enquanto a passagem para boçoroca se dá quando aflora o lençol freático, com tendência a alargar-se e aprofundar- se, até atingir o seu equilíbrio dinâmico. Na

erosão do tipo boçoroca, a evolução lateral e remontante por meio de “piping” não requer a ação da chuva, conforme relata SALOMÃO (1999). O fenômeno de “piping” provoca a remoção de partículas do interior do solo formando canais que evoluem em sentido contrário ao do fluxo de água, podendo dar origem a colapsos do terreno, com desabamentos que alargam a boçoroca ou criam novos ramos.

Conforme BIGARELLA e MAZUCHOWSKI (1985), a boçoroca ou voçoroca é nitidamente um fenômeno hídrico, envolvendo a ação das águas superficiais e subsuperficiais e o seu início se dá a partir da concentração de água na superfície da vertente, a princípio com pequenos regos, que tendem a evoluir para sulcos e ravinas cada vez mais profundos, até encontrar o lençol freático. Concorda-se com SALOMÃO (1994) e ALMEIDA FILHO e RIDENTE JÚNIOR, (2001) que reafirmam que “o piping é uma erosão interna que provoca a remoção de partículas do interior do solo, formando “tubos” vazios que provocam colapsos e escorregamentos laterais do terreno, alargando a boçoroca ou criando novos ramos”.

Finalmente, há boçorocas que se apresentam conectadas a ravinas em sua cabeceira ou em suas bordas laterais, cuja tendência é de se aprofundarem e se integrarem ao fenômeno do boçorocamento. Apesar do papel da ação das águas subterrâneas ter sido destacado por vários autores, ele não tem sido considerado nos projetos da maioria das obras de contenção das boçorocas. A ação das águas subterrâneas é diretamente responsável pelo insucesso de numerosas obras de engenharia.

É fundamental assinalar que, a despeito de decisiva na evolução das formas erosivas conhecidas no Brasil como boçorocas, a ação das águas subterrâneas, como foi destacada há décadas por diversos autores, não tem sido devidamente levada em conta, na concepção da maioria das obras de correção (IPT, 2012). Aliás, muitas vezes, é a própria erosão interna a responsável direta pela ruína precoce destas mesmas obras (ALMEIDA FILHO, 2000).

Apesar de alguns pesquisadores desconsiderarem a diferença entre ravina e boçoroca, tem crescido o número de evidências favoráveis à gênese de canais associada à erosão subterrânea nos mais variados ambientes. Na erosão do tipo boçoroca, o desenvolvimento dos processos de alargamento e evolução ocorre de forma rápida e intensa. Correspondendo a um avançado estágio de degradação do solo, cujo poder destrutivo local é superior ao das outras formas, e, portanto, de difícil contenção.

Assim, a boçoroca desenvolve vários mecanismos: erosão superficial, erosão interna, solapamentos e descalçamentos, desabamentos e escorregamentos, que se conjugam no sentido de dotar esta forma de erosão de elevado poder destrutivo. Este poder destrutivo se manifesta de maneira flagrante nas grandes dimensões desta forma de erosão e nas grandes velocidades de avanço, através da rápida evolução de seus ramos ativos que atingem edificações, estradas e obras públicas.

Por isso, julga-se de fundamental importância a diferenciação entre ravina e

boçoroca, na elaboração dos projetos para estabilização e contenção desses processos. Sendo fundamental ainda, considerar a ação do lençol freático, que muitas vezes é um dos fatores responsáveis pelo insucesso das obras de engenharia. Enquanto nas obras de estabilização das ravinas devem-se realizar medidas para o disciplinamento do escoamento superficial e estabilização do processo.

Além disso, o quadro de desequilíbrio da natureza na área rural continuará, enquanto a ocupação agrícola não adotar as práticas conservacionistas adequadas e respeitar a capacidade de uso das terras; e enquanto na área urbana a ocupação não for planejada e não considerarem o conhecimento do meio físico (pedologia, geomorfologia e geologia/geotecnica), dos recursos da água, clima, das suas potencialidades e limitações. A adoção de instrumentos técnicos é fundamental, pois constituem a base sobre a qual o poder público deve estabelecer as medidas preventivas e correções dos processos erosivos.

O uso urbano diferencia-se fortemente do uso rural. Os núcleos urbanos e, principalmente, suas periferias são o palco dos mais intensos processos de degradação ambiental, onde a erosão aparece de forma intensa e acelerada. Mesmo terrenos pouco suscetíveis à erosão passam a desenvolver este processo em função das fortes modificações provocadas pelo parcelamento do solo, da implantação do sistema viário e da grande mobilização provocada pelos serviços de terraplenagem. Cortes e aterros expõem tanto o solo superficial como o saprolito à degradação acelerada. As condições hidrológicas, já modificadas pelo desmatamento, são fortemente alteradas em função da impermeabilização do solo promovida pelo pavimento das ruas, telhados, pátios e outros.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA FILHO, G. S de.; RIDENTE JÚNIOR, J. L. (2001). **Diagnóstico, prognóstico e controle de erosão.** In: Anais do VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Goiânia, 2001. Apostila.
- ALMEIDA FILHO, G. S. de. (2000). Diagnóstico de processos erosivos lineares associados a eventos pluviosos no município de Bauru, SP. 222 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas - Fec/Unicamp, Campinas.
- ALMEIDA FILHO, G. S. de. et al. 1993. **Estudo evolutivo da erosão do Parque Bauru e assoreamento do Ribeirão Vargem Limpa, Bauru, SP.** In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CONESUL, 1/ SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 10, 1993, Gramado. Anais... São Paulo: ABRH, v.5, p. 294-302.
- ALMEIDA, M. C. J. de.; RIDENTE JÚNIOR, J. L.; MONTEIRO, A. C. M. C.; MARINS, A. M. de A. D. (2005). **Soil erosion analysis in the influence area of Tietê Paraná Hydroway (Tietê Branch).** Sociedade & Natureza, Uberlândia, Special Issue, p. 62-71, May.
- BACELLAR, L. de A. P. (2000). **Condicionantes geológicos, geomorfológicos e geotécnicos dos mecanismos de voçorocamento na bacia do rio Maracujá, Ouro Preto, MG.** Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. (1985). **Visão integrada da problemática da erosão.** In:

Anais do III Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Maringá, 1985. Livro Guia. Maringá: ABGE. 332p.

CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SOUZA, N. M.; SALES, M. M.; SILVA, M. T. da. (2006). **Processos erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília, DF: Editora FINATEC. p. 39-88.

CANIL, K. (2000). **Processos erosivos e planejamento urbano: carta de risco de erosão das áreas urbana e periurbana do município de Franca, SP**. 96 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Geografia, FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CASTRO, S. S. de. (2005). **Erosão hídrica na alta bacia do rio Araguaia: distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual**. Revista do Departamento de Geografia, USP, São Paulo, n.17, p.38-60.

CASTRO, S. S. de.; XAVIER, L. de S.; BARBALHO, M. G. da S. (Org.). (2004). **Atlas geoambiental das nascentes dos rios Araguaia e Araguainha - condicionantes dos processos erosivos lineares**. Goiânia: Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Goiás. 75p.

CERRI, L. E. S.; SILVA, J. A. F.; SANTOS, P. H. P. (1997). **Erosão do solo: aspectos conceituais**. Revista Universidade Guarulhos. Geociências, II (6). p. 92-98.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. (1989). **Controle de erosão; bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas**. 2. ed. São Paulo: DAEE/ IPT/ Secretaria de Energia e Saneamento. 92p.

FURLANI, G.M. 1980. **Estudo geomorfológico das boçorocas de Casa Branca. São Paulo**. 379 p. (Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas - USP).

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. (2005). **Erosão dos solos e a questão ambiental**. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Org.). Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p 225-256.

GUERRA, A. J. T. SILVA, A. S. BOTELHO, R. G. M. (1999). **Processos erosivos no Domínio do Cerrado**. In: **Erosão e conservação dos solos**. Editora Bertrand Brasil. 1º edição. Rio de Janeiro, 1999.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). (1994). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Russel. 458p.

IMESSON, A. C.; KWAAD. F. J. P. M. (1980). **Gully types and gully prediction**.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. (2012). **Cadastramento de erosão e inundação no Estado de São Paulo**. São Paulo. (Relatório Técnico, 127824-205).

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. (1986). **Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe/ Paranapanema**. São Paulo: IPT/ DAEE. 6v. (Relatório Técnico, 24 739).

IWASA, O.Y., PRANDINI, F.L. 1982. **Prevenção e correção de fenômenos erosivos: as boçorocas, exemplo da necessidade de diagnose**. Geologia Ciência-Técnica, CEPEGE, USP, n. 7, p. 23-53.

LEPSCH, I. F. (2002) **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo (SP): Oficina de Textos, 178p.

OLIVEIRA, M. A. T. (1999). **Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas.** In: Antônio José Teixeira Guerra; Antônio Soares da Silva; Rosangela Garrido Machado Botelho. (Org.). Erosão e Conservação dos Solos - Conceitos, Temas e Aplicações. 1 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, v. , p. 56-99.

PICHLER, E. (1953). **Boçorocas.** Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, 2 (1), p. 3-16. Maio.

PONÇANO, W.L., PRANDINI, F.L. 1987. **Boçorocas no Estado de São Paulo: uma revisão.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4, 1987, Marília. Anais... São Paulo: ABGE. p. 149-177.

PRANDINI, F.L. 1985. **Erosão: particularidades dos ravinamentos.** In: PECULIARITIES OF GEOTECHNICAL BEHAVIOR OF TROPICAL LATERITIC AND SAPROLITIC SOILS, 1985, São Paulo. Progress Report... São Paulo: ABMS. Tema 3.

SALOMÃO, F. X. de T.; CANIL, K.; RODRIGUES, S. P. (2012). **Exemplo de aplicação da geologia de engenharia no controle preventivo e corretivo dos processos erosivos.** Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, São Paulo, v. 2, n. 2, Dez.

OLIVEIRA, A. M. dos. S. (1994). **Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios. Exemplo do reservatório de Capivara, rio Paranapanema, SP/ PR.** 211 p. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, São Paulo.

ROCHA, E. A. V. (2012). **Processos de voçorocamento na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vaim Vem (Ipameri – GO).** Dissertação (Doutorado em Geografia – Universidade Federal de Uberlândia).

RODRIGUES, J. E. (1982). **Estudo de fenômenos erosivos acelerados: boçorocas.** 162 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos.

RUIZ, M. D.; GUIDICINI, G. (1998). Introdução. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. (Ed.). **Geologia de Engenharia.** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p.1.

SALOMÃO, F. X. de T. (1999). **Controle e preservação dos processos erosivos.** In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. B.; BOTELHO, R. C. M. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

SALOMÃO F. X. de. T. (1994). **Processos erosivos lineares em Bauru (SP): regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural.** 200 p. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, FFLCH, USP, São Paulo.

SILVA, A. F. da. A. **Mapeamento geotécnico e análise dos processos erosivos na bacia do córrego Tuncum, São Pedro, SP, escala 1:10.000.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade de São Carlos/USP, 2003.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do. (2009). **Desastres naturais: conhecer para prevenir.** São Paulo: Instituto Geológico.

TRICART, J. (1977). **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: SUPREN – IBGE. 109 p.

VALLE JUNIOR, R. F. do. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba. Jaboticabal,** (Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”), 2008.

COMPARED BACKGROUND AND REFERENCE VALUES IN SOURCES OF CADMIUM-ENRICHED SOILS FROM BRAZIL

Fernando Machado de Mello

Instituto de Agronomia - Departamento de Geociências - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Seropédica-RJ, Brazil.

Essaid Bilal

Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne (EMSE),
CNRS member UMR 6524, UMR 5600 EVS
Environment, City, Society
Saint-Étienne, France.

Gustavo Neves

Instituto de Agronomia - Departamento de Geociências - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Seropédica-RJ, Brasil.

Maria Eduarda Loureiro dos Reis Teodoro

Instituto de Agronomia - Departamento de Geociências - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Seropédica-RJ, Brazil.

Thiago Peixoto de Araujo

Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). São Leopoldo-RS, Brazil.

RESUMO: A complexidade do processo de avaliação da variação dos níveis de contaminação do solo é, em parte, devido à imprecisão na caracterização de sua origem distinta, natural ou resultante de atividades antrópicas. O estabelecimento e a comparação de backgrounds e valores de referência do conteúdo destes contaminantes são importantes

para nortear e contribuir na regulamentação e jurisprudência de cunho protetivo ambiental em geral. Algumas ações visando o controle de metais pesados, entre outros elementos químicos, apontam para um uso mais restritivo de fertilizantes fosfatados, ricos nestes elementos, em vários países. Reconhecer e caracterizar solos contaminados são uma séria preocupação com problemas que toda sociedade tem de lidar hoje em dia e é um dos maiores e mais negligenciados problemas no Brasil. Neste trabalho pretende-se fazer um balanço de fontes naturais de metais pesados e cargas adicionais destes contaminantes, em especial o Cádmio, em solos brasileiros, principalmente através da aplicação de fertilizantes minerais, aplicados em grande volume e responsáveis pelo significativo incremento de sua concentração. Isto é uma ameaça à saúde pública em várias regiões, e é uma das prioridades na proteção e prevenção de suas fontes de concentração anômala no solo. A degradação da qualidade do solo concernente à contaminação e poluição por metais pesados é, hoje, reconhecido também como um sério risco ambiental e à saúde.

PALAVRAS-CHAVE: Solo, Cádmio, Contaminação, Legislação, Valores de Referência.

ABSTRACT: The complexity of the assessment process of variations in contamination levels of

soils is in part due to distinct sources, natural or by some anthropic activities. Compare these different substances sources, backgrounds and guiding values is very important to introduce directions and contributions for regulations or environmental protection legislation in general, for heavy metals contents, among other chemical components, and are pointing to more restrictive use of phosphate fertilisers, rich in those pollutant elements, in many countries around the world. Recognize and characterize contaminated soils is a serious concern with issues that whole society have to deal with today and one of the largest and most neglected problems in Brazil. This work intends to obtain an insight in the natural sources and loads of heavy metals, especially cadmium to soils in Brazil, mainly with the application of huge volume of mineral fertilisers, directly linked with their dangerous concentrations. This is a threat to public health in many regions, and it is one of the priorities to protect it from all sources of anomalous concentration in the ground. Decreasing soil quality by means of contamination and pollution by heavy metals is now recognized also as a serious risk for environmental quality and to the health of people.

KEYWORDS: Soil, Cadmium, Contamination, Legislation, Reference Values.

1 | INTRODUCTION

Soils enriched in Heavy Metals Elements (HME) became a major worldwide environmental issue, not only by the well known toxicology risk linked with consumption of contaminated tobacco and food, but by the long-term effects related to its slow and continuous concentration in soils and water. This concentration is driven through their strong geochemical and physical affinity for some special soils and geologic terrains, specially a long residence time in surface.

The cadmium contamination is largely due to agricultural practices, mining and metallurgy. The current paper has the purpose to analyse and compare how this major issue is receiving attention in Brazil and in some developed countries, analyze the guiding values and behaviour of heavy metals in the soil, with emphasis in Cd from the fertilisers and mining industry; to compare protocols of sampling, methods of detection and regulations around the world; and to compare the minimum concentrations to establish levels of intervention and assess the risk. The distribution of most elements in soil shows a pattern related to geology and/or mineralisation. Past climates and the prevailing particular tropical conditions in Brazil caused strong argillic and ferrallitic weathering of some rocks, with a change in mineralogy, and a modification of vertical and lateral distribution patterns of most major elements, but the main source of the anomalous enrichment in arable soils remains the HME generated through time by agricultural activities on the environment, particularly in Latosols over volcano-sedimentary basins of Brazil. The current legal Brazilian norm, established by the

National Environmental Council (CONAMA, 2009) through resolution 420/2009 – proposed different values of reference for inorganic substances.

Quality control and risk assessment associated to the soil contamination requires the knowledge of the total content in those elements and the influence of source rock contents in HME in the various constituent compartments of the ground. In the present work, HME are considered as the sense of Alloway (1995), the metals/metalloids which behaves geochemically as Siderophiles (Co, Ni, Au, Mo, Pb, As), Calchophiles (Cu, Ag, Au, Zn, Cd, Hg, Pb, As, Sb, Se, Ti, Mo) and the Lithophiles (V, Cr, Mn, U, Ti).

In phosphate fertilisers some HME, like Cd contents, are expressed in mg Kg-1 of P or P_2O_5 . 1 kg of P is equivalent to 2.29 kg of P_2O_5 . Comparing different types of units is sometimes difficult and may require conversions between P and P_2O_5 or back calculating mg Cd Kg-1 P_2O_5 based on an assumed fertiliser application rate. Phosphorus Pentoxide (P_2O_5) has 44% P. To obtain the value expressed in Cd Kg-1 P one must divide it by 2.29 to express in the Cd Kg-1 P_2O_5 form.

Soil contamination by HME became a problem in large agricultural areas, especially in extensive plantations, with the continuous use of phosphate based fertilisers. The option to protect this natural resource is by using the legislation to establish, in a clear manner the rules, regulations and norms. This is the base to support and increase the controls and monitoring of those elements. In the last years, biomedical research has shown a strong correlation caused by cadmium in diseases of humans. A recent line of research has concluded that cadmium is a major human toxicant; there is a need to limit exposure from as many sources as possible. The World Health Organization - WHO (2010) presented a list containing ten substances that threatens the public health and cadmium was the fifth one.

2 | STANDARDS CADMIUM CONTENTS IN ROCKS, SOILS AND FERTILISERS

Cadmium has low crustal abundance, in the region of 0.1 mg kg-1 (Alloway, 1995) and it is found rarely in its elemental form, in greenockite (CdS), octavite (CdSe) and monteponite (CdO) (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). Cadmium is often found in association with zinc-bearing and zinc-bearing lead ores, which are the main source of cadmium production (Greenwood and Earnshaw, 1997). The high cadmium contents are also found in black shales and in phosphate rocks, varying considerably from one source to another, in general with two extremes, igneous rocks having the lowest contents compared to sedimentary (McLennan and Taylor, 1999; McLennan and Murray, 1999).

The phosphate rocks which are mined in Brazil, Russia, South Africa and Finland are igneous rocks and have very low cadmium contents (sometimes below 10 mg kg-1 P_2O_5). In the other hand, those found in North and West Africa and in the Middle East are sedimentary rocks formed in environments rich in organic matter, and generally

have much higher cadmium levels. In Tunisia, Togo, Senegal, they reaching frequently values of 60 mg kg⁻¹ P₂O₅ while in Morocco deposits, the most important supplier of Brazil and European Union (EU), deposits leads cadmium contents in fertilisers above 60 mg kg⁻¹ P₂O₅. Most natural soils contain less than 1 mg kg⁻¹ of cadmium resulted from the weathering of parent materials (Alloway, 1995). Generally lower levels are found in acid igneous rocks (mean granite 0.09 mg kg⁻¹) than basic (mean basalt 0.13 mg kg⁻¹). In seds, sandstone and limestone shows lower levels, higher contents are found in black shales (0.3 to 219 mg kg⁻¹), organic-rich seds or marine manganese nodules and phosphorite (Fergusson, 1990). Elevated Cd values are generally linked with Pb and Zn of sulphide mineralisation from Sedex or VHMS mineralisation. The average Cd contents in soil surface is estimated to be 0.53 mg kg⁻¹, with all higher values reflecting anthropogenic influences (Kabata Pendias 2001).

Although uneven distributed by different regions of Brazil, the dominant soil type is the Latosol, with 56,30% in total area of the country, followed by the Argisol (20,68%) and Neosol (9,38%) (Coelho et al. 2002). That distribution is mostly due to the geologic ground and by extreme climatic differences in the country, inducing complexes and unique pedogenic processes. Proposed HME baseline values of natural concentrations in brazilian soils by Amaral Sobrinho (1993) suggests that different values of HME could be found in the same class and level of soil or between different classes as a function of the variation of soil characteristics. Estimation of natural contents of HME in some soil types of Brazil was performed by Fadigas (2006), dividing the soils in seven groups (see **TABLE 1**), the first one (1) distinguished by high contents in Mn, Fe and clay is composed by Red Distrophic Latosol, Brun Latosol and Red Argisol mainly formed in terrains of basaltic compositions, some of them over the huge Paraná Sedimentary Basin. This is the group that naturally concentrates the highest values of HME. The second group (2) includes those with high levels of silt, Mn and high CEC (Cation Exchange Capacity), including Chernozem soils, Luvisols, eutrophic soils, and some samples of Yellow Latosol, Red-Yellow Latosol and Red Argisol. The sixth and seventh groups (7 and 8) shows the lowest levels in HME and share the same composition but are differentiated by clay and Fe contents, includes Yellow Dystrophic Latosols and Argisols, and in minor quantity by soils derived by Tertiary and Quaternary sediments. Third, fourth and fifth (3, 4 e 5) groups share intermediate characteristics of those cited above and are mainly constituted by a great variety of Latosols and Argisols, and, with minor importance by Plinthosol, Cambisol, Nitosol with dystrophic character. Average values showed in **TABLE 1** are near the quality reference values (Casarini, 2000) for the State of São Paulo, Brazil, in which the concentrations, in mg kg⁻¹ are: Cd (0.5), Co (12.5), Cu (35.1), Cr (40.2), Ni (13.2), Pb (17), Zn (59.9).

GROUP (G)	ELEMENT						
	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Soil Concentration (mg kg ⁻¹)							
1	55	20	35	119	79	1,0	19
2	48	10	18	19	44	0,8	28
3	65	4	25	16	23	1,6	16
4	35	10	17	12	35	0,9	18
5	23	4	7	6	12	0,4	22
6	43	2	12	2	12	0,4	3
7	19	2	5	3	6	0,3	40
QSm ²	41	8	17	25	30	0,8	20

¹ Concentration considered normal for the soils belonging to each group and corresponding to the value of the upper quartile (75%) of the frequency distribution of the sample data in each group.

² Mean upper quartile between groups

Table 1 - Normal considered values of Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in natural soils, proposed as a Reference Value (RV)¹. Modified from Fadigas et al., 2006.

The adsorption/desorption of Cd and Zn presents a great sensibility to pH, compared with Cu and Pb. This chemical behaviour could contribute to explain the accumulation Zn and Cd in soil surficial layers in locals with higher pH (Alloway, 1990), *i.e.* in topsoils, the upper, outermost layer of soil, usually the top 5 cm to 20 cm depth layer. It has the highest concentration of SOM (Soil Organic Matter) and microorganisms and is where most of the biological soil activity occurs, where plants nourishment by roots concentrates.

Phosphate fertilisers contain between 5 and 100 mg kg⁻¹ Cd and up to 300 mg kg⁻¹ Cd may be present in sewage sludge. Cd is a trace element in fertilisers, which have been applied extensively to arable and pasture land around the world. In United Kingdom (UK) the ECB (2007) reported that current fertilisers contain around 79 mg kg⁻¹ Cd of P. Based on the use of fertilisers in the 1980s and early 1990s, Alloway (1995) estimated that around 4.3 g of cadmium per hectare per year has been added to agricultural soils in the UK. Across the European Union, 231 tonnes of cadmium are added to agricultural soils each year from fertiliser use (EC, 2007). The average cadmium levels in fertiliser was estimated in 2000, showing that levels in cultivated soil have a trend, lower in the countries of northern Europe (about 2.5 mg Cd Kg⁻¹ P in fertiliser and 0.21 mg Cd Kg⁻¹ in soil) and much higher in other parts of Europe (about 138 mg Cd Kg⁻¹ P in fertiliser and 0.5 mg kg⁻¹ soil). It was concluded that this average cadmium content of European fertilisers, 138 mg Cd Kg⁻¹ P (or 60 mg Cd Kg⁻¹ P₂O₅), would lead to a radical increase in the concentrations of cadmium in soil and crops, and in cadmium leaching.

Only 10% of the applied P as a fertiliser is taken by the plants, differing in this aspect by the higher taken of N and from K. This difference is also attributed by the higher P fixation in tropical soils, with high Fe-Al oxides (Raij, 2003). The Brazilian consumption of

P_2O_5 was in 2002 about 2.777.000 t (Lopes, 2003), 43% of monoammonium phosphate (MAP), 30% in the form of simple superphosphate (SSP), 15% triple superphosphate (TSP) and 12% of other sources of the market.

Langenbach and Sarpa (1985) compared the Cd concentration in eleven brazilian phosphates and observed that they Cd contents are lesser than 2.0 mg kg⁻¹ Cd. The brazilians phosphate rock from Catalão-GO presents 4 mg kg⁻¹ Cd, 19 mg kg⁻¹ Cr e 58 mg kg⁻¹ Pb, and the fine apatitic concentrate from Araxá-MG presents 7 mg kg⁻¹ Cd, 44 mg kg⁻¹ Cr e 127 mg kg⁻¹ Pb (Gabe and Rodella,1999, in Alcarde & Rodella, 2003). Amaral Sobrinho et al. (1992) presented typical ranges of HME in phosphate fertilisers as 0.1–170 mg kg⁻¹ Cd, 7–225 mg kg⁻¹ Pb, 7–38 mg kg⁻¹ Ni, 1–300 mg kg⁻¹ Cu and 50–1450 mg kg⁻¹ Zn.

3 | HEALTH PROBLEMS CAUSED BY CADMIUM

The ground contamination by heavy metals elements is a major environmental problem for two main reasons. Beside the well know ecotoxicology risk in food, this contamination can have very long-term effects because its continuous concentration and strong chemical and physical affinity for the solid matrix of distinctive geodiversity terrains and a long residence time in soils (Echevarria and More, 2006).

The kidney is the most sensitive organ to cadmium excess and the toxicity is driven by the diet, but the cadmium in food is only the second factor, smoking is the dangerous contribution to cadmium human body burden. Cadmium is also retained in liver and, once absorbed, is not easily excreted, its biological half life ranging between 10 to 30 years. Cd food intakes are in decreasing order of importance: cereals and cereal products; vegetables; meat products, offal (inner organs), fish and seafood. The highest inputs of phosphate fertilisers are in vegetables and wheat. Cd causes the augmentation of glucose excretion and amino acids, lithiasis on kidney and urine calcium, decalcification of bones promoting fractures, enfisema of lungs and fibrosis peribronchial and perivascular (Johri et al., 2010)

The EU community promote long lived studies concerning cadmium exposure and have recently implemented fertiliser limits envisaging food safety standards that are more stringent than USA standards. EU concern about cadmium in food, since 1980, was triggered by a rising body burden in some segments of the population that approached the level of onset of adverse health effects. While the overall average cadmium intake from food alone does not pose a risk to most people, certain populations are considered at higher risk. As examples, vegetarians could consume more of the metal due to their diet, women may increase their absorption due to low levels of Fe, and tobacco consumers are exposed to an additional source of Cd.

4 | ANALYTICAL METHODS COMPARED

Comparison of three extraction procedures was performed by Campos et al. (2005) to assess HME in mineral fertilizers (Embrapa, 1999; USEPA 3051A and USEPA 3050B) for Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn from Brazil and the main fertilizers commercialized there. The methods described do not fully solubilize the solid fraction of phosphates and are more indicated than total extractions for soil pollution studies, due to representation of maximum potential bioavailability of a certain pollutant (**FIGURE 1**).

The USEPA 3050B method, from the Environmental Protection Agency, EUA (Usepa, 1998a), takes 1 g of the material, while USEPA 3051A (Usepa, 1998b) less material, 0.5 g to 1.0 g. The Embrapa Method (Embrapa, 1999) uses approximately 0.5 g of the material added to 20 mL of HCl 2 mol L⁻¹. The quantification of the trace elements content was performed (Campos et al., 2005) by air acetylene flame atomic absorption spectroscopy. Among the studied phosphates, the thermophosphate presented significantly greater concentrations of Cd, Cr, Cu, Ni, and Zn whereas Cu, Ni, Pb, and Zn were found in greater contents in the natural phosphate 2. The reactive phosphate 3 presented the greatest quantity of Cd (145 ± 13 mg kg⁻¹) and the natural phosphate 2, the highest quantity of Pb (234 ± 9 mg kg⁻¹).

The tested methods can be applied in studies concerning heavy metals in samples of brazilian natural phosphate fertilisers phosphates (FN1 e FN2) showed an average of 8.7 mg kg⁻¹ of Cd content, non-brazilian ones presented higher values, in average, 77 mg kg⁻¹ Cd (Campos et al., 2005). Phosphate rocks presented contents between $5\pm0,6$ e 145 ± 13 mg kg⁻¹ (Figure 1). Those values are in the range cited by Kabata-Pendias & Pendias (2001) phosphate fertilisers, 0,1–170 mg kg⁻¹ of Cd. Amaral Sobrinho et al. (1992) encountered lower contents for apatite rocks (2–7 mg kg⁻¹ Cd). As for Cu content, there was no difference between the extraction methods. For Ni and Zn contents, there was no statistical difference between USEPA 3051A and USEPA 3050B, but they were superior than the Embrapa method (1999). The USEPA 3050B extracted more Cd than other methods, while for Cr contents, Embrapa method extracted the most.

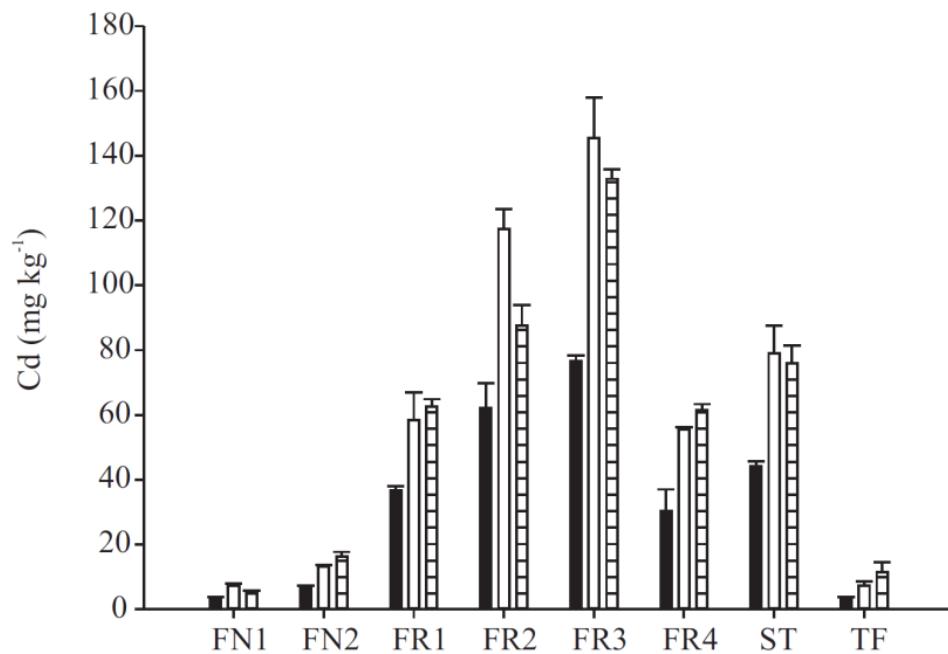


Figure 1 - Average contents of Cd in brazilian natural phosphates FN1 an FN2, brazilian triple superphosphate and reactive non-brazilian phosphates FR1, FR2, FR3 and FR4, determined by methods USEPA 3051A (in black bars), USEPA 3050B (white bars) and EMBRAPA (dashed bars). Higher traces are the standard deviation of average values. Modified from Campos et al., 2005.

5 | GUIDING VALUES IN BRAZIL AND EUROPE

The Brazilian Environmental Council (CONAMA), through Resolution n.420/2009, established that each state in the country must determine quality reference guiding values for heavy metal concentrations based on a set of soil samples that represent the local geomorphology, lithology and pedogenic processes. This was decided because the international values or those from other regions might result in erroneous interpretation regarding areas suspected of contamination. The brazilian resolution establishes three types of guiding values: Quality Reference Values (QRVs), which should be determined by each state, Prevention Values (PVs) and Investigation Values (IVs), that are established and is valid for the whole country. In São Paulo state the limits were determined by CETESB mainly in topsoil and are, in mg kg⁻¹ (As - 15), (Cd - 1.3), (total Cr - 75), (Cu - 60), (Hg - 0.5), (Ni - 30), (Pb - 72) and (Zn - 1,900) to class it at risk.

Cadmium in fertilizer phosphate rock, animal manures and land applied municipal sewage sludge is increasingly regulated in different parts of the world. Initially, cadmium was regulated primarily because of concerns about the metal leaching from fertilized soil into ground and surface waters. However, as knowledge increased about cadmium as a major human toxicant in our food, the emphasis on allowable cadmium in fertilizer has shifted to the amount of uptake seen in agricultural commodities grown on soils that include added cadmium in fertilizer. The limits on cadmium in fertilizer have taken

several forms, most commonly: (i) a limit on the amount of cadmium allowed per unit of phosphorous (mg Cd Kg-1 P) and (ii) a limit on the amount of cadmium allowed per unit of phosphorous oxide (mg Cd Kg-1 P₂O₅). This limit is used because American Plant Food Control officials adopted P₂O₅ as the standard for guaranteed analysis of phosphorous content based on an ancient measurement procedure. The method was replaced, but the form designation is in use today in fertiliser packs. This measure may be ambiguous because the actual phosphorous applied to soil is about 44 % of the P₂O₅ weight percentage designated on pack.

In The Netherlands the Soil Quality Regulation (2006) and the Soil Remediation Circular (2009) focuses on the elaboration of the remediation criterion used to determine whether urgent remediation is necessary. To be compared worldwide, all values presented in **TABLE 2** are taken only from soils with 10% of organic matter and 25% of Clay. This restriction is due to strong correlation between HME, clay and SOM contents. Higher the SOM content, higher levels of HME. Sandy soils are poor in HME than argillic ones and the SOM. The highest allowed levels in EU community are 3 mg Cd kg-1, 150 mg Zn kg-1; 140 mg Cu kg-1 and 50 mg Pb kg-1 (Chaudri et al., 1993). In Poland, those limits are, for arable soil 3 mg Cd kg-1, 300 mg Zn kg-1 and 200 mg Pb kg-1 (Chlopecka et al., 1996).

Elements	Background values) ^a (mg/kg)	Sediment ^a (mg/kg)	Max Values		Intervention Value) ^a (mg/kg)	Intervention Value) ^b (mg/kg)
			Maximum values for residential soil quality class) ^a (mg/kg)	Maximum values for industrial soil quality class) ^a (mg/kg)		
As	20	29	27	76	76	76
Cd	0.6	0.8	1.2	4.3	13	13
Cr total	55	100	62	180	180	-
Cu	40	36	54	190	190	190
Hg Total	0.15	0.6	0.83	4.8	36	-
Pb	-	-	-	-	-	4
Ni	50	85	210	530	530	530
Zn	140	140	200	720	720	720

Legend: a) Soil Quality Regulation 2006; b) Soil Remediation 2009.

Table 2 - Background values, Intervention Values and Maximum Values in soil in function of its destination (Soil Remediation Circular 2009 e Soil Quality Regulation 2006). Modified from Ribeiro (2013)

According to EU recommendations, soil treated with sewage sludge should not contain more than 3 mg kg-1 Cd (86/278/EC/12-6-1986). Soil Guideline Values (SGVs) for cadmium in the Netherlands, are presented according to land use in **TABLE 2**.

The SGVs apply only to cadmium and its inorganic compounds. For residential and allotment land uses, SGVs are based on estimates representative of lifetime exposure. Although young children are generally more likely to have higher exposures to soil contaminants, the renal toxicity of cadmium are based on considerations of the kidney burden accumulated over 50 years or so (Environment Agency, 2009). It is therefore reasonable to consider exposure not only in childhood but averaged over a longer time period.

6 | PROPOSED REDUCTION OF CADMIUM CONTENTS OF PHOSPHATE FERTILISERS IN EU

European Commission recently proposed a regulation (European Union Regulation - EC 2016) envisaging stringent limits of cadmium in phosphate fertilisers. Besides the proposals of no action and general actions for market incentives, they are synthetically: (i) an initial limit of 60 mg Cd Kg-1 P₂O₅ will apply as soon as the regulation comes into force; (ii) more stringent limit of 40 mg Cd Kg-1 P₂O₅ will phase in three years later; (iii) the lowest limit of 20 mg Cd Kg-1 P₂O₅ will come into force nine years after the regulation initiation and (iv) a new Regulation setting a Community limit value for cadmium content in phosphate fertilisers at 60 mg cadmium/kg P₂O₅ decreasing over time to 40 and eventually 20 mg cadmium/kg P₂O₅ if decadmiation becomes available on industrial scale.

A new Regulation converges to a common proposal: establish an EU limit value of 60 mg cadmium/kg P₂O₅ as a starting point. This limit would take effect after an appropriate transition period of e.g. 2 to 3 years. Flexibility should be given to allow Member States to set limit values at either 40 or 20 mg cadmium/kg P₂O₅ in the light of specific conditions in their territories. Fertilisers would be labelled to provide an indication which limit value for cadmium they comply with.

7 | DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The metallic elements tracks (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) are rapidly increasing in soils mainly due to the indiscriminate use of fertilisers and, recently, urban sewage sludge. As some of them are potentially toxic and present no agronomic interest, their presences generate a major concern. The agricultural use of the residual mud allows the recycling of precious components such as the organic matter and many nourishing elements of the plant (Logan and Harrison, 1995). Residual muds can replace or reduce the use of this imported and expensive fertilisers. Economic and environmental issues are in the center of this debate, and this paper intends to expose the main advances in the knowledge.

Muds are products susceptible to supply in the cultures of the nourishing elements useful for their growth and for their development. Furthermore, certain sewage sludge (composted or limed) can play the role of amendment, by allowing maintaining or to improve the structure of the ground, its biological activity or still control its acidity. Nevertheless, from an agronomic point of view, and provided that the farmer respects the agronomic advice, the economy on the purchases of fertilisers can be considerable.

The calculated Cd increase with the application of 200 kg ha⁻¹ of the FR3 incorporated in 0.1m of soil depth by but and would reach 0.094 mg kg⁻¹, by the way, it would 111 applications to attain the intervention level of 10 mg kg⁻¹ de Cd of CETESB (2001). In the other hand, they noticed that in five years, Cd contents could double, from one average soil of 0.5 mg kg⁻¹ Cd (Campos et al., 2005).

The possibility of overcome the maximum permissible concentration, not only for Cd, but also for other elements evaluated, increases with larger quantities of phosphates fertilizers associated with sewage sludge and other fertilizers containing trace elements. Ramalho et al. (1999) availed the use of polluted water and phosphate fertilisers combined, and observed that soils that received 25 years of phosphate fertilisers, showed a noticeable increase of Cd (0.66 mg kg⁻¹) when compared with control area (0.5 mg kg⁻¹), without however elevate it to critical levels. The conditions that determine the adsorption capacity, such as pH, organic matter content, content of clay and oxides of Fe and Al, affect the availability and mobility of heavy metals present in phosphates (Abdel-Haleem et al., 2001). It is also important to consider local conditions that could lead to losses by erosion of soil particles enriched with heavy metals, transported to other areas or water bodies.

Current limits of cadmium on fertilisers in Brazil are insufficient to meet health and environmental protection goals. The states that have previously established base levels need to review recent research on the health effects of cadmium, the increment of cadmium in soils, and the contribution of fertiliser to cadmium loading in surface waters. These states should lead the way toward health protection adopting more stringent limits that certainly will reduce exposures and prevent adverse health effects.

REFERENCES

- ABDEL-HALEEM, A.S.; SCROON, A.; EL-BAHI, S.M.; ZOHNY, E. **Heavy metals and rare earth elements in phosphate fertilizer components using instrumental neutron activation analysis.** *Applied Radiation and Isotopes*, v.55, p.569-573, 2001.
- ALCARDE, J. C.; RODELLA, A. A. **Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos.** *Tópicos em Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 3, p. 291-334, 2003
- ALLOWAY, B.J. **Cadmium In Heavy Metals in Soils** (2nd edn.). (ed. B.J. Alloway). London: Blackie Academic & Professional. 368p.1995
- ALLOWAY, B.J. **Heavy Metals in Soils – Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability.** New York: Springer. pp. 11-493. 2010

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, L.M., OLIVEIRA, C.; VELLOSO, A.C.X. **Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.16, p.271- 276 .1992

AMARAL SOBRINHO, N.M.B. **Interação dos metais pesados de resíduos siderúrgicos com um podzólico Vermelho Amarelo**,. Viçosa UFV. Dsc.Thesis .163p.1993

ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry. **Toxicological profile for cadmium**. Atlanta: US Department of Health and Human Services. 487p.2012.

CAMPOS, M.L.; PIERANGELI, M.A.P.; GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J.; CURI, N. **Baseline concentration of heavy metals in Brazilian Latosols**. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.34, p.547-558. 2003.

CASARINI, D. C. P. **Proposta de valores de referência de qualidade e intervenção para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**. In: Sem. Internacional sobre Qualidade de Solos e Águas Subterrâneas, 2., SP. An. CETESB, 165p. 2000

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB () **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente. pp 247.2001

CHAUDRI, A.M.; McGRATH, S.P.; GILLER, K.E.; RIETZ, E. & SAUERBECK, D.R. **Enumeration of indigenous Rhizobium leguminosarum biovar trifolii in soil previously treated with metal-contaminated sewage sludge**. *Soil Biol. Biochem.*, 25:301-309.1993

CHLOPECKA, A.; BACON, J.R.; WILSON, M.J. & KAY, J. **Forms of Cadmium, Lead, and Zinc in contaminated Soils from Southwest Poland**. *J. Environ. Qual.*, 25:69-79, 1996.

COELHO, M.R.; SANTOS, H.G.; SILVA, E.F. & AGLIO, M.L.D.O Recurso natural solo. In: MANZATTO, C.V.; FREITAS JR., E. & PERES, J.R.R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro, Embrapa Solos,. p.1-11.2002

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA (2009) Resolução nº 420, de 28 de dez. de 2009. **Dispõe sobre critérios e valores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas**. Diário Oficial da União, nº 249, de 30/12/2009. p.81-4. 2009.

ECHEVARRIA, G. and MOREL. J-L. **Caractérisation de la biodisponibilité des éléments en traces dans les sols et validation de mesures fiables**. *Sols et environnement*. Vandœuvre-lès-Nancy.,57p. 2006.

ECB. **European Union Risk Assessment Report. Cadmium oxide and cadmium metal, Part 1 – environment**. Volume 72. EUR 22919EN. Luxembourg: Office for Official .2007.

ENVIRONMENT AGENCY. **Contaminants in soil: updated collation of toxicological data and intake values for humans. Cadmium**. Science Report SC050021/SR TOX7. Bristol: Environment Agency. 11p.2009.

EMBRAPA - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, . 212p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1). 1997

ENVIRONMENT AGENCY, 2009. **Soil Guideline Values for cadmium in soil. Science Report SC050021 / Cadmium** SGV. Bristol, UK: Environment Agency.11p 2009.

EUROPEAN UNION REGULATION EC . **Limits for cadmium in phosphate fertilisers. Proposal**

FADIGAS, F. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N.; ANJOS, L. H. C.; FREIXO, A. A. **Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros.** *Revista Bras. de Eng. Agrícola e Ambiental* v.10, n.3. p.699-705. 2006.

GREENWOOD, N.N. and EARNSHAW, A. **Zinc, cadmium and mercury.** *Chemistry of the Elements*, 29, pp. 1201–1226.1997.

JOHRI N., JACQUILLET G., UNWIN, R. **Heavy metal poisoning: the effects of cadmium on the kidney.** *Biometals* 23:783–792.2010.

KABATA-PENDIAS, A. and PENDIAS, H. **Trace Elements in Soils and Plants**, Third Edition. Boca Raton: CRC Press LLC.2001.

LANGENBACH, T.; SARPA, M. **Teor de cádmio nos fertilizantes fosfatados brasileiros.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.9, p.179-181.1985.

LOGAN, T.J., HARRISON, B.J.() **Physical characteristics of alkaline stabilized sewage sludge (Nvitro soil) and their effects on soil properties.** *J. Environ. Quality.* 24, pp. 153-164.1995

LOPES, A.S. **Reservas de fosfatados e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no mundo.** In: *Simpósio sobre fósforo na agricultura brasileira*, 2003, Piracicaba. Anais. Piracicaba: Potafos/Anda., 1 CD-ROM.2003

MASON, B. and C.B. MOORE). **Principles of Geochemistry**, 4th ed., Wiley, New York. *J. Appl. Sci. Res.*, 5(6): 585-594, 2009594 .1982.

MCLENNAN, S.M. and S.R. TAYLOR () **Earth's continental crust.** In (C.P. Marshall and R.W.Fairbridge, Eds.), *Encyclopedia of Geochemistry*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, 145-151.1999.

MCLENNAN, S.M. and MURRAY, R.W. **Geochemistry of sediments.** in (C.P. Marshall and R.W. Fairbridge, Eds.), *encyclopedia of geochemistry*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, pp. 282- 292.1999.

RAIJ, B. van. **Fósforo no solo e interação com outros elementos.** In: *simp. sobre fósforo na agricultura brasileira*. Piracicaba. Anais. Piracicaba: Potafos/Anda. 1 CD-ROM. 2003.

RAMALHO, J.F.G.P.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X. **Acúmulo de metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso contínuo de adubação fosfatada e água de irrigação.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.971-979.1999

RIBEIRO, M. A. C. **Contaminação do solo por metais pesados.** Lisbon. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias. *M.sc Dissertation.* 249 p.2013

WORLD HEALTH ORGANIZATION 2010 .*Preventing Disease through Healthy Environments, Exposure to Cadmium: A Major Public Health Concern.* 2010.

CORRELAÇÕES DE RESISTÊNCIA PARA ALGUMAS ROCHAS METAMÓRFICAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS, SUDESTE DO BRASIL

Klinger Senra Rezende

Universidade Federal de Viçosa
Viçosa - MG

Daniel Silva Jaques

Universidade Federal de Viçosa
Viçosa - MG

Eduardo Antônio Gomes Marques

Universidade Federal de Viçosa
Viçosa - MG

(grosso e fino) foram ensaiados, segundo a International Society for Rock Mechanics (ISRM) Suggested Methods (2007). As definições de alteração de ambos os tipos de rochas foram baseadas nas sugestões da ISRM. As amostras foram ensaiadas em graus de alteração W1, W2 e W2/W3. Os valores para um parâmetro que correlaciona s_c (resistência à compressão simples) e $Is_{(50)}$ (Índice de Carga Pontual) foram encontrados apenas para amostras sãs (W1) de pegmatito e anfibolito, e variam entre 13,4 e 19,4 e 29,7 e 36,2, respectivamente. Amostras de xisto grafitoso (xisto rico em grafita) foram ensaiadas em graus W2, e os valores para o parâmetro de correlação variaram de 13,8 a 14,9.

PALAVRAS-CHAVE: Correlações de resistência em rochas, rochas metamórficas, resistência à compressão.

ABSTRACT: This paper presents the results of a series of lab mechanical tests on metamorphic rocks from São João Del Rey Pegmatitic Province, located at South of Minas Gerais state, Southeast Brazil. The main purpose of the paper is to present results of uniaxial compressive strength (UCS) and point load (PLT) tests and correlation equations between these results for some of the rocks under study. Also, comparison with correlation equations proposed by other researchers, are performed.

RESUMO: Este artigo apresenta os resultados de uma série de ensaios de laboratório em rochas metamórficas da Província Pegmatítica de São João Del Rey, localizada ao Sul do estado de Minas Gerais, Sudeste do Brasil. O principal propósito deste artigo é apresentar os resultados de ensaios de resistência à compressão uniaxial (UCS) e carga pontual (PLT) e equações de correlação entre estes resultados para algumas das rochas em estudo. Além disso, comparações com equações de correlação propostas por outros pesquisadores são apresentadas. Esta pesquisa é parte de um estudo mais detalhado sobre o comportamento geomecânico das rochas desta Província Pegmatítica e estes resultados foram utilizados para enriquecer uma base de dados de propriedades de rochas metamórficas. Três litotipos: anfibolito, xisto grafitoso e pegmatito

This research is part of a more detailed study on geomechanical behavior of the rocks of this Pegmatitic Province and its results were used to enrich databank rock properties of metamorphic rocks. Three rock types: amphibolite, graphite-rich schist and pegmatite (coarse and fine-grained) were tested, through International Society for Rock Mechanics (ISRM) Suggested Methods (2007). Weathering definitions were based both on the suggestions of ISRM. Samples were tested on W1, W2 and W2/W3 weathering grades. Values for a parameter, which correlates UCS and PLI (Point Load Index), were found just for sound samples (W1) of pegmatite and amphibolite, and vary between 13.4 and 19.4 and 29.7 and 36.2, respectively. Graphite-rich schist rock samples tested were from W2 grades, and values for a parameter varied from 13.8 to 14.9.

KEYWORDS: Correlations of strength to rocks, metamorphic rocks, uniaxial compressive strength.

1 | INTRODUÇÃO

A Província Pegmatítica de São João Del Rei, situada na porção sul do Estado de Minas Gerais tem cerca de 70km de comprimento e 20km de largura. Vários importantes recursos minerais – ouro, manganês, estanho e tântalo têm sido extraídos dessa região. As reservas de cassiterita e tantalita foram rapidamente exauridas em virtude da intensa atividade mineira que lá ocorreu e por serem, em sua quase totalidade, representadas por depósitos primários e secundários de pequeno porte. Hoje são explotados somente os corpos pegmatíticos da área próxima ao Volta Grande, voltados principalmente para a produção de concentrados de tântalo (tantalita e microlita), estanho (cassiterita) e lítio (espodumênio) (PEREIRA et al, 2004). A lavra de tais minerais está, atualmente, sendo realizada em minas a céu aberto, mas há um estudo geológico e geomecânico em desenvolvimento para avaliar a possibilidade de mineração subterrânea, com excelentes resultados até agora. Este artigo apresenta alguns dos resultados desses estudos geomecânicos, especificamente os de testes de resistência à compressão, realizados em torno de camadas de rochas ricas em minerais estanho, tântalo e lítio.

O objetivo principal deste artigo é apresentar os resultados dos testes de resistência à compressão e equações de correlação entre s_c e PLT para os tipos de rocha mais comuns – xisto grafitoso, anfibolito e pegmatito, existentes na Mina de Volta Grande localizada na cidade de Nazareno, Minas Gerais, Brasil. Vários testes de s_c e PLT foram realizados para os principais graus de alteração, encontrados em superfície e subsuperfície, e as correlações foram obtidas para amostras de rochas sãs. Todos os tipos de rochas testados durante a presente pesquisa não são comumente encontrados na literatura.

Segundo vários autores (Greminger, 1982; Broch, 1983; Foster, 1983 e Singh et al, 2011), há variações significativas de acordo com o tipo de rocha. A Tabela 1

apresenta várias equações que correlacionam $Is_{(50)}$ (Índice de carga pontual) e s_c desenvolvidos por diversos autores (atualizados a partir Singh et al., 2012), o que mostra claramente a necessidade de correlações específicas para cada tipo de rocha.

Greminger (1982), Broch (1983) e Foster (1983), mencionam que a anisotropia de rochas foliadas deve também ser considerada, uma vez que a resistência medida paralela à foliação apresenta correlações pobres com os índices de carga pontual.

Autores	País	Litotipo	Equação de correlação
Broch & Franklin (1972)	África do Sul	Vários	$sc = 23,7 \ Is(50)$
Bieniawski (1975)	South Africa	Arenitos	$sc = 23,9 \ Is(50)$
Hassani et al. (1980)	Reino Unido	Rochas sedimentares	$sc = 29,0 \ Is(50)$
Read et al. (1980)	Austrália	Rochas sedimentares	$sc = 20,0 \ Is(50)$
ISRM (1985)	---	---	$sc = 20 - 25 \ Is(50)$
Hawkins & Oliver (1986)	Reino Unido	Calcário Arenito	$sc = 26,5 \ Is(50)$ $sc = 24,8 \ Is(50)$
O'Rourke (1988)	EUA	Rochas sedimentares	$sc = 30,0 \ Is(50)$
Vallejo et al. (1989)	Índia	Quartzito Folhelho	$sc = 17,4 \ Is(50)$ $sc = 12,6 \ Is(50)$
Goodman (1989)		Vários	$sc = 24,0 \ Is(50)$
Singh & Singh (1993)	Índia	Quartzito	$sc = 23,4 \ Is(50)$
Barroso (1993)	Brasil	Vários	$sc = 18 - 24 \ Is(50)$
Das (1985)	Canadá	Siltito Arenito Folhelho	$sc = 14,7 \ Is(50)$ $sc = 18,0 \ Is(50)$ $sc = 12,6 \ Is(50)$
Smith (1997)	Vários	Arenito/Calcário	$sc = 24,0 \ Is(50)$
Rusnak & Mark (1999)	EUA	Folhelho Siltito Arenito Calcário	$sc = 21,8 \ Is(50)$ $sc = 20,2 \ Is(50)$ $sc = 20,6 \ Is(50)$ $sc = 21,9 \ Is(50)$
Marques & Paes (2013)	Brasil	Gnaisse Micaxisto Xisto Grafítoso	$sc = 27,6 \ Is(50)$ $sc = 21,6 \ Is(50)$ $sc = 20,8 \ Is(50)$

Tabela 1 - Correlações entre s_c e $Is_{(50)}$ propostas por vários pesquisadores (modificado de Singh et al., 2012).

2 | MÉTODOS

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânicas das Rochas da Universidade Federal de Viçosa e utilizando-se das metodologias sugeridas pela International Society for Rock Mechanics (ISRM, 2007). Rochas de três litotipos (anfibolito, pegmatito e xisto grafítoso) foram ensaiadas. Propriedades físicas (peso

específico seco e saturado, porosidade aparente e capacidade de absorção de água) foram ensaiadas utilizando a técnica de Buoyancy da ISRM (2007). A fim de se avaliar o efeito do grau de alteração sobre a resistência, ensaios de carga pontual foram realizados em amostras de diferentes alterações (W1, W2 e W2/3), de acordo com a ISRM, 2007). Ensaios de resistência à compressão uniaxial foram realizados em amostras de rochas sãs (W1), à exceção de amostras de xisto grafítico, ensaiadas em grau de alteração W2. Além disso, o litotipo pegmatito foi também diferenciado em pegmatito fino e pegmatito grosso, de acordo com o tamanho de seus grãos. O conjunto de todas as amostras ensaiadas é apresentado na Figura 1.



Figura 1 - Amostras utilizadas nos ensaios de resistência à carga pontual e compressão simples.

2.1 Teste de carga pontual

Os ensaios foram realizados utilizando-se o equipamento Franklin, como mostrado na Figura 2.



Figura 2 - Aparelho para realização de ensaios PLT.

Estes mesmos testes foram concluídos tanto em amostras axiais quanto diametrais, e apenas eram validados os ensaios em que a ruptura ocorria, necessariamente, pelos

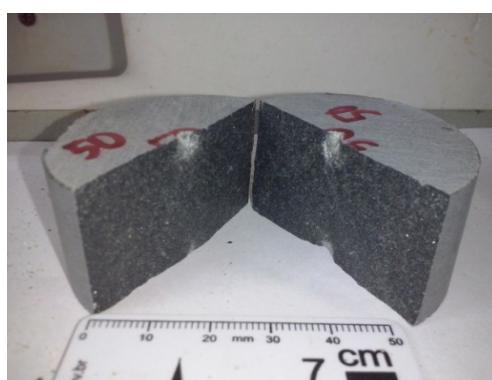
dois pontos de carregamento do equipamento, como mostrado na Figura 3, bem como ensaios invalidados.



(a) – Ensaio diametral válido.



(b) – Ensaio diametral inválido.



(c) – Ensaio axial válido.



(d) – Ensaio axial inválido.

Figura 3 – Exemplos de resultados de ensaios axiais e diametrais válidos e inválidos.

O índice de carga pontual é definido para o ensaio realizado sobre corpos-de-prova cilíndricos de rocha com diâmetro D igual a 50 mm, em que a aplicação da carga P é feita na direção diametral, sendo calculado pela Equação 1:

$$I_{s(50)} = F \frac{P}{D^2} \quad (1)$$

Em que:

P é a carga de ruptura

D é a distância entre ponteiras cônicas

F é um fator de correção do tamanho da amostra.

O valor de F pode ser calculado através da Equação 2. O valor médio do índice de carga pontual, $I_{s(50)}$, é calculado de um total de 10 amostras de rochas, excluindo-se os dois menores e os dois maiores valores obtidos da série.

$$F = \left(\frac{D}{50}\right)^{0,45} \quad (2)$$

2.2 Ensaio de resistência à compressão uniaxial

A resistência à compressão uniaxial é uma das propriedades fundamentais das rochas e, este ensaio é, ainda, o método mais usual para a determinação das propriedades mecânicas de uma rocha (Jaeger & Cook, 1979). Ensaios de compressão uniaxial são normalmente realizados em amostras cilíndricas de rochas, onde a carga é aplicada paralela ao eixo da amostra.

Segundo Azevedo & Marques (2006), apesar de ser um ensaio simples, a preparação de amostras cilíndricas podem ser cara e difícil, especialmente para rochas já alteradas. Todas as amostras foram testadas de acordo com a metodologia ISRM (2007), com a altura em relação ao diâmetro (H/D) entre 2,5 e 3,0. A resistência à compressão uniaxial, s_c , correspondente à carga de ruptura, é simplesmente calculada como na Equação 3.

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (3)$$

Em que:

σ_c - resistência à compressão simples (uniaxial);

P - carga de ruptura;

A - área inicial da amostra, transversal à direção do carregamento P.

Os ensaios foram realizados na máquina universal de ensaios (Figura 4). As amostras eram cuidadosamente centralizadas entre os pratos de carregamento, para se evitar concentrações não uniformes de cargas.



Figura 4 - Máquina universal de ensaios.

3 | RESULTADOS

3.1 Propriedades (índices) físicas

As propriedades físicas foram definidas para todos os litotipos e os resultados são apresentados na Tabela 2.

Litotipo	Grau de Alteração	Massa específica (kg/m ³)		Porosidade (%)	Capacidade de absorção de água (%)
		Seca	Saturada		
Anfibolito	W1	3060,9	3061,8	0,09	0,03
Anfibolito	W2/W3	2874,1	2908,2	3,41	1,19
Pegmatito (fino)	W1	2527,8	2556,7	2,89	1,14
Pegmatite (grosso)	W1	2586,4	2595,2	0,87	0,34
Xisto Grafítoso	W2	2853,5	2879,6	2,61	0,91

Tabela 2 - Resultado das propriedades físicas das rochas em estudo

3.2 Ensaios de carga pontual (PLT)

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios de carga pontual dos litotipos, de acordo com seus respectivos graus de alteração. Os maiores valores de $Is_{(50)}$ foram encontrados para os litotipos de grau de alteração W1, quando comparados aos litotipos W2 e W2/W3.

Litotipo	Grau de alteração	Tipo de teste	$Is_{(50)}$ (MPa)	Número de amostras ensaiadas	Desvio Padrão (MPa)
Anfibolito	W1	Axial	8,57	6	0,52
		Diametral	10,45	7	0,38
Anfibolito	W2/W3	Axial	1,74	7	0,51
Pegmatito(fino)	W1	Axial	10,77	7	0,63
Pegmatito (grosso e fraturado)	W1	Diametral	4,66	6	2,00
Xisto grafítoso	W2	Diametral	1,38	6	0,44
		Axial	2,88	6	1,79

Tabela 3 - Resultados dos ensaios PLT

3.3 Resistência à compressão uniaxial (UCS)

A Tabela 4 apresenta os resultados de UCS para cada litotipo e graus de alteração. Todos os testes foram realizados em rochas sãs e levemente alteradas (W1 ou W2). Infelizmente, não houveram amostras o suficiente para se ensaiar as rochas de graus de alteração W2/W3 e W3 no ensaio de compressão uniaxial.

Litotipo	Grau de alteração	s_c média (MPa)	Número de amostras ensaiadas	Desvio Padrão (MPa)
Anfibolito	W1	310,49	4	18.95
Pegmatito(fino)	W1	143,98	4	32.43
Pegmatito (grosso e fraturado)	W1	90,46	3	25.94
Xisto grafitoso	W2	39,65	3	5.45

Tabela 4 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial

3.4 Equações de correlação entre $Is_{(50)}$ e σ_c

Na Tabela 5, são apresentadas equações de correlação encontradas para as rochas em estudo. Comparações foram feitas entre $Is_{(50)}$ e s_c para testes pontuais diametrais e axiais. Contudo, como as amostras foram preparadas a partir de testemunhos de sondagem, os resultados de PLT axiais apresentam-se mais confiáveis ao serem comparados com os resultados de compressão uniaxial, uma vez que ambos foram ensaiados segundo um mesmo plano de carregamento, a fim de se obter um parâmetro a (Equação 4).

$$\sigma_c = a \times Is_{(50)} \quad (4)$$

Litotipo	Tipo de ensaio PLT	$Is_{(50)}$ (MPa)	s_c (MPa)	Grau de Alteração	Parâmetro a
Anfibolito	Axial	8,57	310,49	W1	36,23
	Diametral	10,45	310,49	W1	29,71
Pegmatito (fino)	Axial	10,77	143,98	W1	13,37
Pegmatito (grosso)	Diametral	4,66	90,46	W1	19,41
Xisto grafitoso	Axial	2,67	39,65	W2	14,85
	Diametral	2,88	39,65	W2	13,77

Tabela 5 - Resultados de equações de correlação entre ensaios PLT e UCS para as rochas em estudo

4 | DISCUSSÕES

Os resultados mostram que o grau de alteração afeta significativamente a resistência à carga pontual do anfibolito, resultando em uma redução de quase 80% da resistência inicial.

Além disso, apesar da ausência de foliações no anfibolito e nos pegmatitos,

uma clara diferença entre resultados axiais e diametrais pode se observada. Nos pegmatitos, essa diferença deve-se ao fraturamento, uma vez que testes diametais foram realizados com carga paralela à superfície média desta estrutura. O anfibolito, massivo à escala macroscópica, apresenta uma diferença entre os testes axial e diametral de cerca de 20%. A princípio, este resultado não pode estar relacionado a qualquer aspecto textural ou à presença de qualquer descontinuidade macroscópica. Portanto, uma investigação adicional microscópica deveria ser realizada para avaliar a presença de qualquer estrutura que poderia ter influenciado esse comportamento.

A observação da Tabela 5 e sua comparação com os resultados apresentados na Tabela 1, mostram que, as rochas ensaiadas no presente estudo, não são comumente encontradas na literatura. Marques e Paes (2013) estudaram alguns xistos de uma outra área no Sudeste do Brasil, mas eles têm testado apenas amostras de rochas massivas, ao contrário das amostras ensaiadas nesta pesquisa. Esse resultado reforça a necessidade de determinação de equações de correlação específicas para cada tipo de rocha e, que deve ser tomado cuidado ao extrapolar correlações de um tipo de rocha para outra, mesmo a partir de uma mesma região.

5 | CONCLUSÕES

As principais conclusões deste estudo são:

1. Como a maioria das rochas ensaiadas em diversos trabalhos encontrados na literatura sobre este tema são sedimentares, há uma necessidade de equações de correlação específicas para diferentes tipos de rochas;
2. A presença de estruturas ou fraturamento presentes nas rochas e sua relação com a direção de carregamento devem ser consideradas, de forma a permitir uma melhor avaliação dos resultados dos ensaios;
3. Os litotipos anfibolito e pegmatitos apresentaram equações de correlação entre UCS e PLT bastante diferentes daqueles encontrados na literatura, ao se comparar ensaios axiais de PLT e ensaios UCS;
4. O parâmetro a também parece ser afetado pelo grau de alteração, como observado nos ensaios com xisto grafitoso W2, apresentando resultados diferentes daqueles encontrados por Marques e Paes (2013) para rochas similares com grau de alteração W1.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, I.C.D.; MARQUES, E.A.G. (2006). **Introdução à Mecânica das Rochas**. Ed. UFV, Viçosa, 361 p.

BROCH, E. (1983). *Estimation of strength anisotropy using the point load test*. Int. J. Rock Mech.

FOSTER, I. R. (1983). *The influence of core sample geometry pm the axial point load test*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci & Geomech. Abst., 20:289-295.

GREMINGER, M. (1982). *Experimental studies of the influence anisotropy on size and shape effects in point load testing*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci & Geomech, Abst., 19:241-246.

INTERNATIONAL SOCIETYFOR ROCK MECHANICS – ISRM (2007). *The complete ISRM suggested methods for characterization, testing and monitoring: 1974-2006*. In: Ulusay, R. & Hudson, J.A. (eds.), suggested methods prepared by the Commission on Testing Methods, ISRM. Ankara, Turkey. 628 p.

JAEGER, J. C; COOK, N. W (1979). *Fundamentals of Rock Mechanics*.3^a Ed. London, 593 p.

MARQUES, A. A.; PAES, B. S. T. (2013). **Correlações entre resistência à compressão uniaxial e resistência à carga pontual para algumas rochas metamórficas de alto grau**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Civil/UFV, Viçosa, Brasil. 89p.

PEREIRA, R. M.; ÁVILA, C. A.; NEUMANN, R (2004). **Estudo mineralógico e químico da cassiterita e de suas inclusões sólidas: implicação com a paragênese das mineralizações da Província Pegmatítica de São João Del Rei, Minas Gerais, Brasil**. Museu Nacional/UFRJ, Rio de Janeiro, 2004, 16p.

SINGH, T. N.; KAINTHOLA, A. and VENKATESH, A (2012). *Correlation between point load index and uniaxial compressive strength for different rock types*. Rock Mech. Rock Eng., 45:259-264.

CARACTERIZAÇÃO DAS FRAÇÕES DE FÓSFORO NO SEDIMENTO SUPERFICIAL DOS RIOS ARACAÍ, CARAMBEÍ E GUAÇU NA CIDADE DE SÃO ROQUE/SP

Sâmia Rafaela Maracaípe Lima

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
- IPEN-CNEN/SP, Centro de Química e Meio Ambiente, São Paulo – SP.

Mainara Generoso Faustino

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
- IPEN-CNEN/SP, Centro de Química e Meio Ambiente, São Paulo – SP.

Eddy Bruno dos Santos

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
- IPEN-CNEN/SP, Centro de Química e Meio Ambiente, São Paulo – SP.

Tatiane Bernardino Seixas Carvalho da Silva

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
- IPEN-CNEN/SP, Centro de Química e Meio Ambiente, São Paulo – SP.

Maria Aparecida Faustino Pires

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
- IPEN-CNEN/SP, Centro de Química e Meio Ambiente, São Paulo – SP.

Marycel Elena Barboza Cotrim

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
- IPEN-CNEN/SP, Centro de Química e Meio Ambiente, São Paulo – SP.

de suma importância, uma vez que ele atua na regulação da produtividade primária. Logo, este trabalho teve por objetivo avaliar a distribuição e fracionamento do fósforo nos sedimentos dos principais rios do Município de São Roque a fim de verificar a contribuição do fósforo no processo de eutrofização, além dos demais impactos antrópicos que possam implicar na qualidade das águas dos rios da região. Para tanto, foram avaliados 5 pontos amostrais e determinadas as concentração de fósforo, juntamente com os parâmetros físico-químicos (granulometria, pH, e matéria orgânica). Os teores de sedimentos finos e de matéria orgânica foram os principais parâmetros ambientais correlacionados com as frações de fósforo. O método analítico utilizado foi o Protocolo desenvolvido pelo *Standards, Measurements and Testing* (SMT), que fracionou o fósforo nos sedimentos em total (PT), inorgânico (PI), orgânico (PO), não apatítico (PINA) e apatítico (PIA). Foi verificado que as maiores concentrações ocorreram nos sedimentos do ponto G4 com $456,9 \text{ mg kg}^{-1}$ para PT e que os teores de PI foram maiores que os de PO na maioria dos pontos.

PALAVRAS-CHAVE: Fósforo; Sedimento; Fracionamento; Protocolo SMT.

ABSTRACT: Phosphorus is an essential element for all forms of life on Earth and can be introduced into the aquatic environment through

RESUMO: O fósforo é um elemento essencial para todas as formas de vida na Terra, podendo ser introduzido no ambiente aquático através de fontes naturais ou antropogênicas. A avaliação deste elemento em ecossistemas aquáticos é

natural or anthropogenic sources. The evaluation of this element in aquatic ecosystems is of paramount importance, since it acts on the regulation of primary productivity. The objective of this work was to evaluate the distribution and fractionation of phosphorus in the sediments of the main rivers of the Municipality of São Roque in order to verify the contribution of phosphorus in the eutrophication process, besides the other anthropic impacts that may imply in the water quality of the region. For that, 5 sample points were evaluated and the phosphorus concentration was determined, together with the physical-chemical parameters (grain size, pH, and organic matter). The levels of fine sediments and organic matter were the main environmental parameters correlated with the phosphorus fractions. The analytical method used was the protocol developed by Standards, Measurements and Testing (SMT), which fractionated phosphorus in the total (PT), inorganic (PI), organic (PO), non-apatite (PINA) and apatite (PIA). It was verified that the highest concentrations occurred in the sediments at point G4 with 456.9 mg kg⁻¹ for PT and that the contents of PI were higher than those of PO at most points.

KEYWORDS: Phosphorus; Sediment; Fractionation; SMT Protocol.

1 | INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural, que se renova através dos processos físicos do ciclo hidrológico. Como um bem de múltiplos usos, a água tem diversos fins como abastecimento público, dessedentação de animais, geração de energia elétrica, suprimento industrial, além de servir para o transporte e diluição de esgotos domésticos, efluentes industriais e resíduos das atividades rurais e urbanas (BARTH e BARBOSA, 1999). No entanto, devido ao acelerado crescimento urbano-industrial e ao aumento populacional, o processo de degradação da qualidade da água tem se intensificado, agravado pelo crescimento desordenado e a falta de saneamento, que prejudicam o uso dos recursos hídricos, diminuindo consideravelmente sua disponibilidade e produzindo inúmeros problemas, a exemplo da eutrofização (PAZ et al., 2000).

Eutrofização é o fenômeno pelo qual um ecossistema se torna cada vez mais produtivo através do enriquecimento por nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio. O fósforo é um nutriente essencial para todas as formas de vida na terra, porém atua como um fator limitante na produção primária dos ecossistemas aquáticos, gerando modificações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do meio, com perdas da sua produtividade e biodiversidade (PROTAZIO et al., 2004). Como consequência, os produtores primários são estimulados, gerando-se o crescimento excessivo de macrófitas e algas planctônicas (SMITH; JOYE; HOWARTH, 2006; WANG; WANG, 2009).

O fósforo na natureza se encontra quase unicamente na forma de fosfato, que pode ser classificado como ortofosfato (forma iônica, representada por PO_4^{3-} , sendo

mais comum em águas naturais os íons $H_2PO_4^-$ e HPO_4^{2-}), fosfatos condensados (polifosfatos) e fosfatos organicamente ligados (APHA, 1995). Em ecossistemas aquáticos continentais tem origem em fontes naturais e artificiais. Dentre as fontes naturais, as rochas fosfatadas da bacia de drenagem constituem a fonte básica de fosfato. As fontes artificiais de fosfato mais importantes são os esgotos domésticos e industriais e o material particulado de origem industrial contido na atmosfera (SILVA, 1997).

De acordo com Paula Filho, (2004) o fósforo encontra-se na fração inorgânica ligada aos óxidos e hidróxidos de alumínio, ferro e manganês, associado ao cálcio e ao material orgânico, onde o somatório destas fases gera o fósforo total. Sabendo-se que essas frações podem ser liberadas dos sedimentos para a coluna de água, a partição geoquímica do fósforo total em inorgânica e orgânica, bem como a percentagem destas frações é crítico para oferecer um perfil mais completo da dinâmica do elemento no ecossistema (NUNES, 2013).

Marins e colaboradores, sugerem que os materiais fosfatados ao serem carreados pelos rios, podem permanecer em meio aquoso ou serem depositados nos sedimentos sob diferentes formas, descrevendo de forma integrada os processos antrópicos que influenciam as bacias hidrográficas e, possivelmente, processos naturais que caracterizam a hidrogeoquímica local, visto que interfere nos processos biogeoquímicos predominantes e na sedimentação de materiais (MARINS et al., 2007).

Nesse contexto, a cidade de São Roque situada a aproximadamente 60 km da capital São Paulo, possui rios, nascentes e represas de grande importância para toda região. Entretanto, devido ao relevo, os solos são susceptíveis à erosão favorecendo os processos de assoreamento nos rios, além dos danos causados pelo processo de ocupação humana irregular. Além disso, os principais rios da região são também os principais receptores de águas pluviais e de efluentes que não apresentam nenhum tratamento prévio até serem lançados em seus cursos d'água (MORAIS et al., 2015).

Desta forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar a distribuição e fracionamento do fósforo nos sedimentos dos rios Aracaí, Carambeí e Guaçu, a fim de verificar a contribuição do fósforo no processo de eutrofização, além dos demais impactos antrópicos que possam implicar na qualidade das águas dos rios do Município de São Roque/ SP, situando a qualidade da bacia hidrográfica e a pré-instalação de um sistema de coleta e tratamento de esgoto.

2 | ÁREA DE ESTUDO

A cidade de São Roque expandiu-se em uma região de serras, morros e morros. As porções central e norte da cidade de São Roque estão inseridas em bacias de cursos d'água tributárias do rio Tietê, a região sul está inclusa na bacia do rio Sorocamirim. Uma porção relativamente pequena do município, junto aos limites

com Vargem Grande Paulista, pertence à bacia do ribeirão São João. Tem sede na UGRHI-10 (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos) – Sorocaba/Médio Tietê, estabelecida pela Lei nº 7.663/91. A UGRHI-10 – que abrange trinta e quatro municípios, dos quais dezesseis como é o caso de São Roque, estão inseridos na Bacia do Médio Tietê Superior (SÃO ROQUE, 2005).

De acordo com Santos, (2014) a rede hidrográfica de São Roque, que contempla os rios Carambeí e Aracaí, além do ribeirão Mombaça ou Guaçu, destacam-se por correrem na região central do município e por serem pontos de despejos da maioria dos efluentes produzidos pelo município. Segundo o autor, o rio Carambeí é formado por nascentes que se originam na região dos bairros Vinhedo, Canguera e Carmo, sendo utilizado nessa região para abastecimento agropecuário e como destino final de esgoto doméstico. Já as nascentes do rio Aracaí são formadas na região dos bairros Ponte Lavrada, Mailasque e Alto da Serra. Seu uso nessa região também é para fins de abastecimento agropecuário e como destino final de esgoto doméstico da mesma forma que o Carambeí pela população dos bairros onde corta. O rio Guaçu, recebe este nome a partir da confluência dos rios Carambeí e Aracaí no cruzamento das avenidas Antonino Dias Bastos e John Kennedy, na região central de São Roque (SANTOS, 2014). Sendo assim, os rios Aracaí, Carambeí e Guaçu (Figura 1), compõem os principais corpos d’água do município de São Roque e são também os principais receptores de águas pluviais e de efluentes que não apresentam nenhum tratamento prévio até serem lançados aos rios (MORAIS et al., 2015).

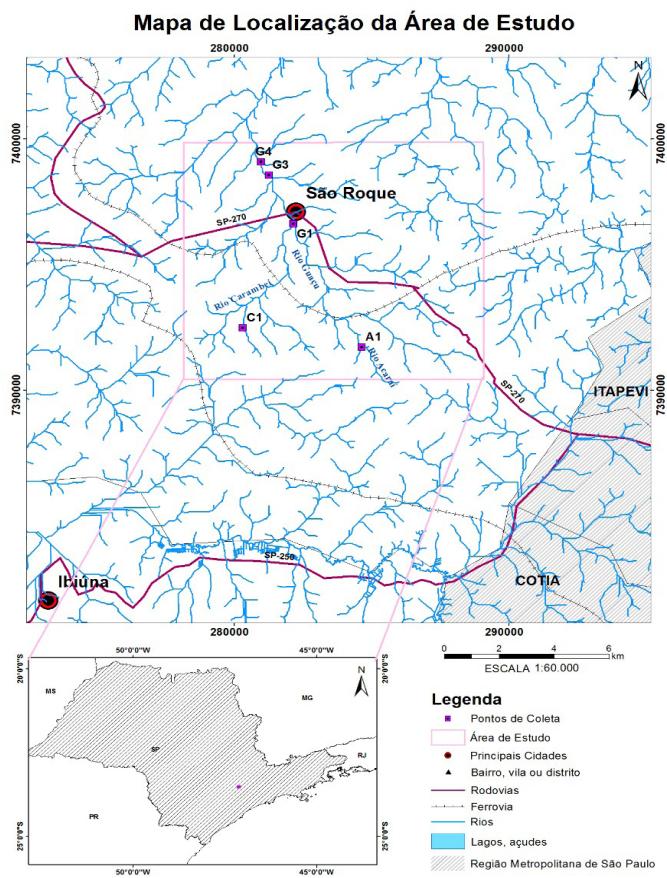


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Coleta e preparo das amostras

As coletas foram realizadas em cinco pontos amostrais no Município de São Roque – SP, que são dois pontos a montante dos rios Aracaí e Carambeí e três pontos ao longo rio Guaçu sendo, um na região central do município e dois outros pontos antes e depois da área de construção da ETE São Roque.

Foram coletadas amostras de sedimentos superficiais para análise em março de 2017 (período de chuva). Os procedimentos de coleta e amostragem seguiram os descritos no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras de Água, Sedimento e Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos (CETESB; ANA, 2011), que discorre sobre a qualificação técnica e a harmonização dos procedimentos de coleta e preservação dos atores que operam no monitoramento da qualidade dos recursos hídricos brasileiros.

Utilizou-se a estrutura dos laboratórios do Centro de Química e Meio Ambiente do IPEN/CNEN-SP para conservação, armazenamento e análise das amostras.

A Tabela 1 apresenta as coordenadas geográficas dos pontos amostrais bem como a localização dos pontos de coleta.

Pontos amostrais	Local de coleta	Coordenadas geográficas	Características locais
A ₁	Aracaí	23°34'14.52"S 47° 6'36.42"O	Ponto a montante do rio Aracaí
C ₁	Carambeí	23°33'47.28"S 47° 9'8.70"O	Ponto a montante do rio Carambeí
G ₁	Guaçu 1	23°31'33.71"S 47° 8'1.86"O	Congruência entre os rios Aracaí e Carambeí.
G ₃	Guaçu 3	23°30'30.13"S 47° 8'32.28"O	Ponto anterior a ETE
G ₄	Guaçu 4	23°30'13.20"S 47° 8'41.88"O	Ponto jusante da ETE em construção

Tabela 1: Descrição dos pontos de coleta das amostras de água superficial e respectivas coordenadas geográficas.

3.2 Análises físico-químicas

Determinou-se o teor de umidade e o teor de matéria orgânica de acordo com Cotta, (2003) sendo o teor de umidade em duas faixas de temperatura a 60-65 °C e a 100-110°C em estufa e o teor de matéria orgânica pelo método de calcinação em mufla a 550°C por 4h. Já a granulometria foi determinada pela técnica de peneiramento, utilizando-se do conjunto NBR nos tamanhos 10,18, 35, 60, 120 e 230, conforme norma

L6.160 (CETESB, 1995). Os valores de pH foram obtidos de acordo com o método EMBRAPA (2011), a partir da medição do sobrenadante das misturas sedimento/KCl (1N) e sedimento/água na proporção 10:25 mL (sedimento:solução) com o auxílio do peagâmetro.

3.3 Determinação das concentrações de fósforo nos sedimentos

As frações do fósforo, apresentadas na Figura 2, foram determinadas pelo protocolo harmonizador de fracionamento de fósforo em sedimentos de água doce chamado *Standards, Measurements and Testing* (SMT) estabelecido pela Comissão Européia em 1996. O método é um procedimento não sequencial que produz cinco frações de fósforo: fósforo total (PT), orgânico (PO), inorgânico (PI), apatítico (PIA) e não-apatítico (PINA). Verificou-se a eficiência do método através do material de referência certificado BCR® 684 (EC/JRC-IRMM) do Instituto de Referência Materiais e Medições (IRMM). A extração foi realizada em triplicatas, utilizando as amostras de sedimento coletadas dos rios Aracaí, Carambeí e Guaçu, que foram agitadas em tubo de polietileno com capacidade 50 mL. A solução extraída foi centrifugada a 4000 rpm por 15 min, a fim de minimizar possíveis perdas. Subsequentemente, as concentrações de fósforo foram determinadas por espectrometria de emissão com fonte de plasma induzido (ICP-OES) para fração disponível.

O equipamento utilizado nas análises foi o Spectro Flame M120 E – Spectro, com tocha axial, que dispõe de recursos em seu programa que possibilitam uma escolha criteriosa das linhas de emissão a serem utilizadas para o elemento em questão. Utilizou-se ainda o método da curva analítica na determinação do elemento, por meio do uso de solução-padrão.

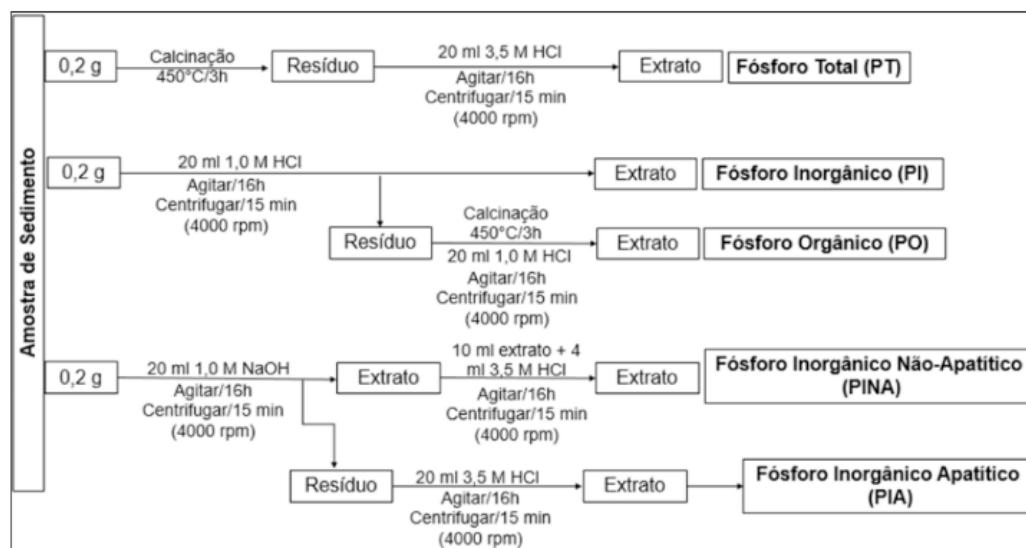


Figura 2. Fluxograma de determinação das frações de fósforo. (Adaptado de Jesus, 2013).

4 | RESULTADOS

4.1 Teor de umidade

Os resultados para o teor de umidade presente nas amostras de sedimento são apresentados na Figura 3. Observou-se, uma variação média de 20% a 26% sendo G3 o ponto com maior porcentagem (26%), em relação aos demais pontos de coleta.

De acordo com a CETESB, (2018) o teor de umidade do sedimento indica a presença de substâncias higroscópicas, indicando que os valores elevados estão geralmente associados a sedimentos finos (silte e argila), que irá resultar em uma maior possibilidade de retenção de contaminantes recentes na bacia de drenagem e que potencialmente possam ter atingido essa matriz limnológica. Logo, a maior umidade no ponto G3 significa que este ponto apresentou sedimentos mais finos possibilitando maior retenção de matéria orgânica que os demais.

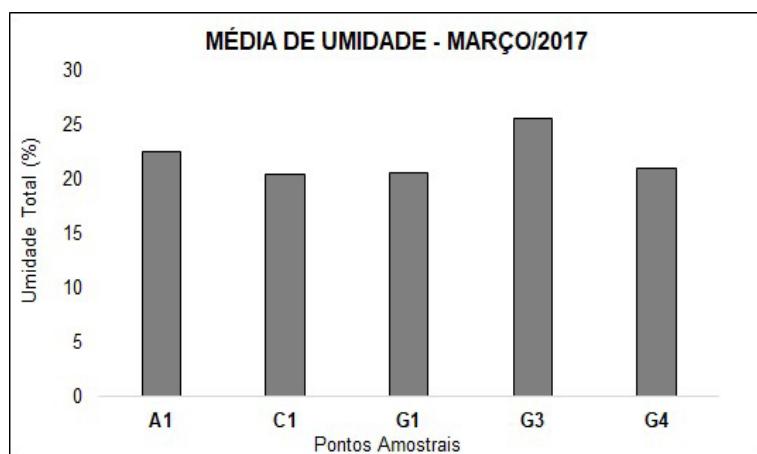


Figura 3. Teor de umidade dos pontos coletados em março de 2017.

Fonte: Autora, (2018).

4.2 Granulometria

O perfil granulométrico dos principais rios do município de São Roque é apresentado na Figura 4. O ponto G3 foi o que apresentou as frações mais finas com 17%, em relação aos demais.

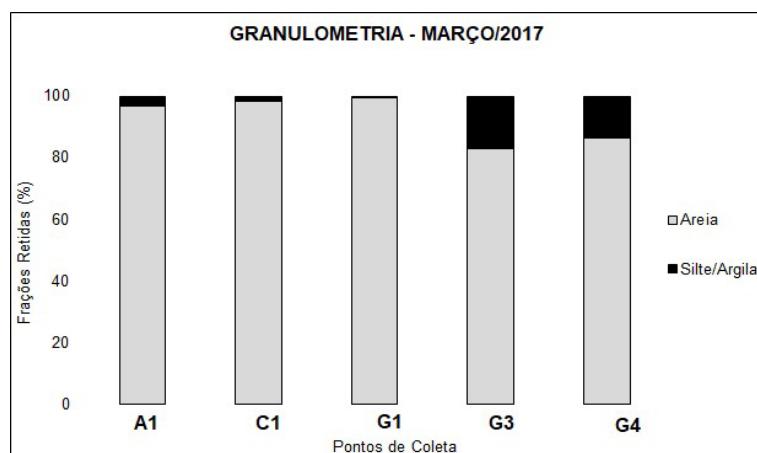


Figura 4. Análise granulométrica dos sedimentos coletados em março de 2017.

Fonte: Autora, (2018).

Elevadas quantidades de silte e argila e menores teores de areia, configuram uma significativa possibilidade de se encontrar contaminantes que possibilitam verificar a qualidade do sedimento presente no corpo hídrico (CETESB, 2018). Este resultado corrobora com os obtidos para o ensaio anterior de teor de umidade (Figura 3) que também apresentou maiores teores para o mesmo ponto.

4.3 Matéria orgânica

Na figura 5 são apresentadas as porcentagens encontradas para as amostras de sedimento dos rios em questão. Observa-se que o ponto G3 e o ponto G4 foram os que apresentaram os maiores teores de matéria orgânica. No entanto, as frações foram todas consideradas inorgânicas.

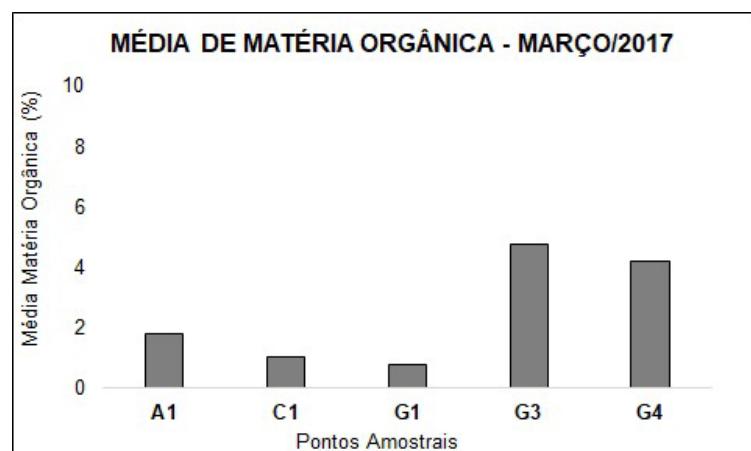


Figura 5. Teor de matéria orgânica presente nos sedimentos coletados em março de 2017.

Fonte: Autora, (2018).

Segundo Esteves, (1988) quando os sedimentos apresentam valores de matéria orgânica acima de 10% são considerados orgânicos e abaixo de 10% são considerados sedimentos inorgânicos ou minerais, com predominância de sílica, argila e compostos como cálcio, ferro, manganês e outros.

Embora os pontos em questão tenham ficado abaixo da porcentagem considerada como orgânica, os mesmos encontram-se a jusante dos demais e recebem maior aporte do descarte de efluente doméstico sem tratamento. Portanto, de acordo com os resultados obtidos nos ensaios de teor de umidade e granulometria, são pontos que apresentam sedimentos com características mais finas, podendo absorver mais contaminantes.

4.4 Análise do pH

Na Figura 6 são apresentados os valores de pH encontrados nos sedimentos dos rios Aracaí, Carambeí e Guaçu. Os rios estudados apresentaram variações de pH entre 6,8 e 7,7.

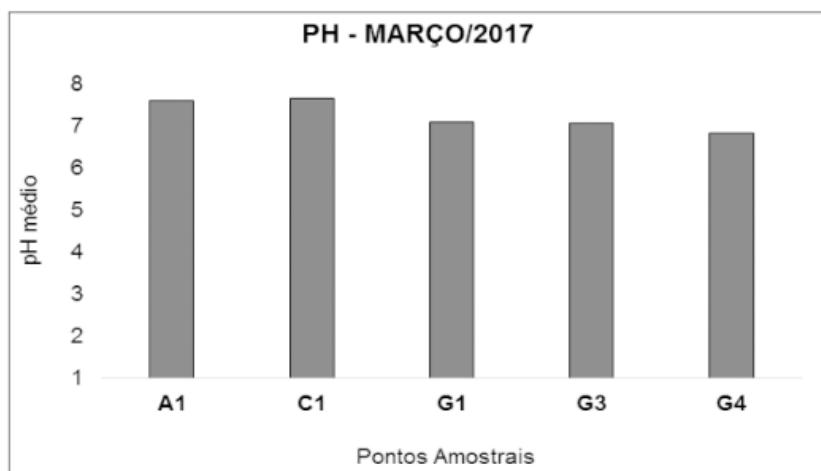


Figura 6. Valores do pH nos sedimentos coletados em março de 2017.

Fonte: Autora, (2018).

Segundo Cotta, (2003) o pH dos solos brasileiros variam entre 4 e 7,5. Devido a coleta ter sido realizada em período chuvoso, Cunha, (2003) explica que após as reações úmidas, os níveis de pH naturais em rios são geralmente próximos da neutralidade.

4.5 Concentração de fósforo no sedimento dos rios aracaí, carambeí e guaçu

Os resultados do fracionamento do fósforo realizado nos sedimentos dos principais rios de São Roque podem ser observados na Figura 7. As maiores concentrações da fração total (PT) foram encontradas nos pontos G4 e G3 respectivamente, que variaram de 456,9 a 349 mg kg⁻¹. Já as menores concentrações foram encontradas nas amostras dos pontos A1, C1 e G1 com 110,4 mg kg⁻¹, 127,4 mg kg⁻¹ e 144,1 mg kg⁻¹ respectivamente. No entanto, não é possível determinar a degradação de um sistema aquático somente com o teor de PT, uma vez que o fósforo ligado à apatita é relativamente estável e inerte. Logo, para a avaliação de um sistema poluído, faz-se necessário também a determinação do fósforo nas formas orgânica e inorgânica.

A distribuição da fração orgânica de fósforo (PO) também foi maior para os pontos G4 e G3, com 108 e 89,9 mg kg⁻¹ respectivamente. As menores concentrações foram encontradas nos pontos G1, C1 e A1 com 27,3 mg kg⁻¹, 30,8 mg kg⁻¹ e 34,8 mg kg⁻¹. A fração PO no ponto G4 corresponde a 24% da fração total. Apesar dessa fração não ser tão significativa quando comparada com a total, essa porcentagem pode ser atribuída aos dejetos de animais, esgoto doméstico, pesticidas orgânicos fosfatados

que são lançados nos rios. Logo o ponto G4 que fica a jusante de todos os outros acaba recebendo as maiores contribuições.

A maior concentração do fósforo na forma inorgânica (PI) foi observada no ponto G4 com $288,2 \text{ mg kg}^{-1}$, seguida do ponto G3 com $232,4 \text{ mg kg}^{-1}$. As menores concentrações foram nos pontos C1 com $66,5 \text{ mg kg}^{-1}$, A1 com $76,5 \text{ mg kg}^{-1}$ e G1 com $143,3 \text{ mg kg}^{-1}$.

Quando comparada as porcentagens obtidas de PI em relação ao estoque total de fósforo, essa fração corresponde a 63%, logo pode-se observar o predomínio de PI em todos os pontos em questão.

Conforme NUNES, (2013) a forma inorgânica PI corresponde às frações ligadas aos óxidos /hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, associado ao cálcio e material orgânico. Porém, nem todas estão disponíveis: a fração ligada ao cálcio é denominada de apatítico (PIA) se encontra estável e inerte, a fração inorgânica não apatítica (PINA) corresponde aos óxidos/hidróxidos de ferro e alumínio e são disponíveis na ausência de oxigênio. Todavia, se faz necessário o estudo dessas formas a fim de estabelecer qual fração prenombra nos corpos d'água estudados, visto que a fração em maior proporção fora encontrada na forma inorgânica.

Quanto a fração inorgânica apatítica (PIA), as concentrações foram também consideradas mais expressivas para os pontos G4 e G3 com $250,7 \text{ mg kg}^{-1}$ e $127,4 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente. Os pontos C1, A1 e G1 apresentaram concentrações de $7,3 \text{ mg kg}^{-1}$, $43,1 \text{ mg kg}^{-1}$ e $46,6 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente. A média de concentração de PIA de todos os pontos do rio Guaçu foi de $141,6 \text{ mg kg}^{-1}$, mostrando uma quantidade razoável de P estável nesses rios.

A distribuição espacial da fração inorgânica não apatítica (PINA) foi maior para G3 com $129,6 \text{ mg kg}^{-1}$ e a menor para o A1 com $11,4 \text{ mg kg}^{-1}$, G4 com $38,8 \text{ mg kg}^{-1}$, C1 $46,7 \text{ mg kg}^{-1}$ e G1 $55,2 \text{ mg kg}^{-1}$. Isso representa em grande parte, os íons de ortofosfatos de origem antropogênica adsorvidos sobre os hidróxidos de ferro e alumínio, com os quais formam complexos (GACHTER et al., 1998).

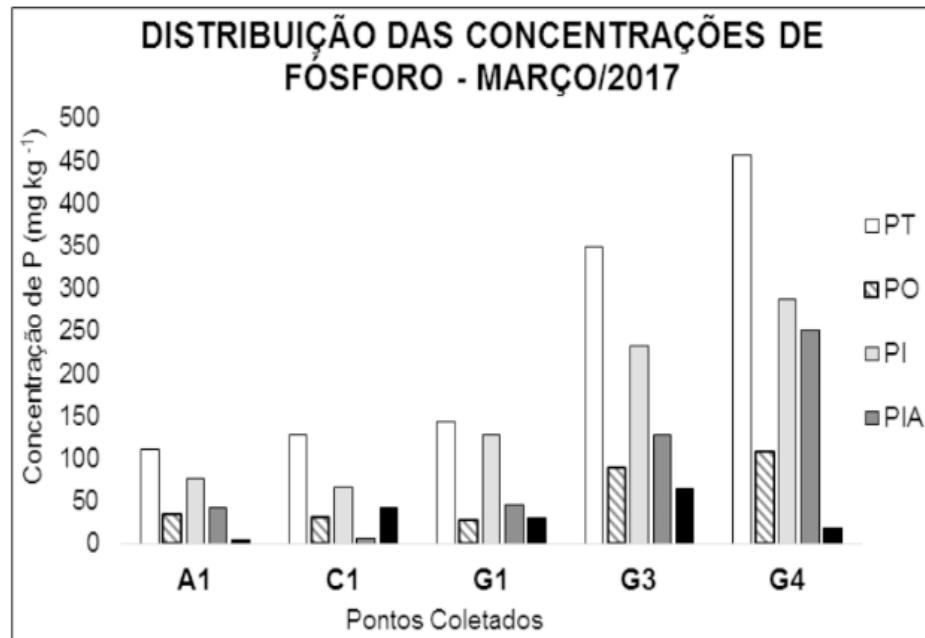


Figura 7. Concentração de P nos rios Aracaí, Carambeí e rio Guaçu em março de 2017.

Fonte: Autora, (2018).

A fim de validar o método de extração para as diversas formas de fósforo contidas nos sedimentos analisados, foi realizada a análise do material de referência certificado BCR 684 (Figura 8).

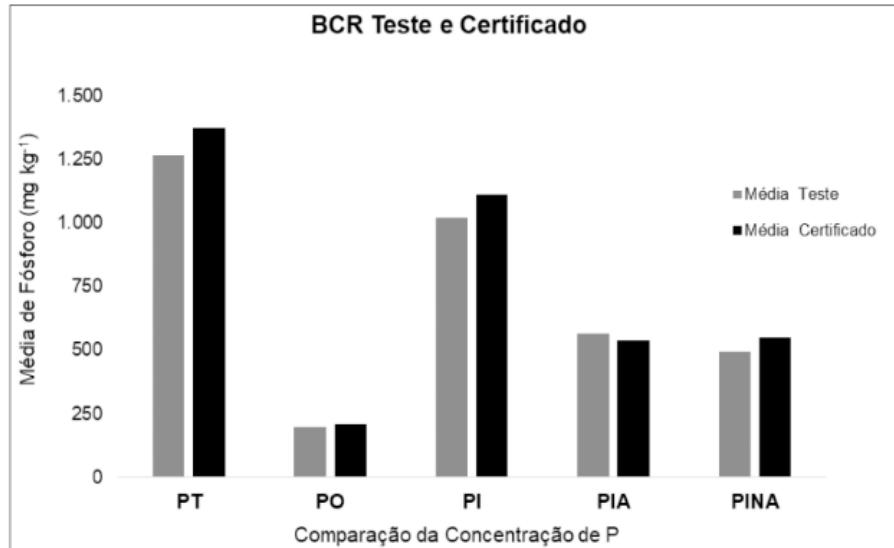


Figura 8. Teste realizado no material certificado BCR 684.

Fonte: Autora, (2018).

Diante destes resultados, pode-se verificar que existe uma boa concordância entre os valores encontrados e os certificados. A recuperação média foi de 94%, o que garante a eficiência do método de extração empregado e, consequentemente, a exatidão dos resultados.

5 | CONCLUSÕES

No presente estudo foram feitas análises sobre o estoque total de fósforo e suas frações geoquímicas nos principais rios do Município de São Roque, no qual considerando os resultados obtidos pode-se concluir que:

- Os resultados obtidos nas análises físico-químicas de determinação do teor de umidade, teor de matéria orgânica, os pontos que apresentaram maiores teores foram o G3 e G4 respectivamente, revelando frações mais finas quanto a classificação granulométrica nesses dois pontos. Todavia, todos os sedimentos foram considerados inorgânicos.
- No ensaio granulométrico dos sedimentos, os pontos G3 e G4 foram os que apresentaram maiores teores de finos com 17% e 13,6% respectivamente. No entanto, de forma geral predomina a fração areia em todos os pontos analisados;
- Os resultados de pH variaram de 7,1 a 7,7, mostrando que as faixas de pH encontram-se próximas a neutralidade, com valores dentro da faixa ótima para condições de vida aquática;
- Os resultados obtidos no fracionamento do fósforo mostraram que as concentrações de PT foram maiores nos pontos G4 e G3, com $456,9 \text{ mg kg}^{-1}$ e $356,0 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente. Este resultado já era esperado, visto que esses pontos ficam a jusante dos demais recebendo as maiores contribuições de esgotamentos sanitários não tratados;
- A fração orgânica PO também apresentou as maiores concentrações para os pontos G4 e G3, com $108,0$ a $89,9 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente. Essa fração corresponde a 24% do total e pode ser atribuída aos dejetos de animais, esgoto doméstico, pesticidas orgânicos fosfatados que são lançados nos rios;
- Para PI as concentrações encontradas também foram maiores nos pontos G4 com $288,2 \text{ mg kg}^{-1}$ seguido do G3 com $232,4 \text{ mg kg}^{-1}$. Representando a maior porção quando comparados a fração de PT, com 63% revelando o predomínio do fósforo na forma inorgânica na área de estudo;
- A fração PIA apresentou valores mais expressivos também para os pontos G4 e G3, com $250,7 \text{ mg kg}^{-1}$ e $127,4 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente. Revelando o fósforo estável nesses rios, ou seja, mais biodisponível e suas concentrações podem refletir diretamente na produção primária do sistema;
- A fração inorgânica não apatítica PINA foi maior nos pontos G3 com $64,8 \text{ mg kg}^{-1}$. Isto pode ser explicado pela grande quantidade de esgoto urbano que são despejados no ponto em questão;
- Os resultados mostraram que as principais fontes de poluição observadas nos principais rios do Município são antropogênicas, visto que as maiores concentrações de fósforo foram na forma inorgânica;
- O estudo das espécies de fósforo no Município poderá contribuir com informações sobre a qualidade dos sedimentos dos principais corpos d'água da região e também evidencia o potencial de deposição de fósforo no sedimento de seus principais rios, elucidando as possíveis relações de causa e

efeito do aporte de efluentes no ambiente aquático dentro do processo de eutrofização.

REFERÊNCIAS

- APHA, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 17^a ed. Estados Unidos: American Public Health Association, 1995.
- BARTH, F. T.; BARBOSA, W. E. S. **Recursos hídricos**. São Paulo: EPUSP, 1999.
- BCR Information. **The certification of the extractable contents (mass fraction) of phosphorus in freshwater sediments following a five-step extraction produce**. European Commission, 2001.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Sedimentos – Determinação da distribuição granulométrica. L6 160**. São Paulo: CETESB 1995.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 27 mar. 2018.
- CETESB e ANA. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas**. Brasília, 2^oEdição: s.n., 2011.
- CLAESSEN, M.E.C. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. EMBRAPA, 1997. p.83.
- COTTA, J. A. de O. **Diagnóstico ambiental do solo e sedimento do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR)**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 130 p., 2003.
- CUNHA, A. C. **Levantamento de parâmetros físico-químicos e hidráulicos para a avaliação da qualidade da água em escoamento natural na bacia hidrográfica do rio Matapi: o desenvolvimento do distrito industrial de Santana-AP**. Governo do Estado do Amapá, Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá, Centro de Pesquisas Aquáticas: Macapá, 2003.
- ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 2^a ed. Rio de Janeiro: Interciênciia, 602p., 1998.
- GACHTER, R.; MEYERS, J. S.; MARES, A. **A contribuition of bacteria to release and fixation of phosphorus in lake sediments**. Limnol. Oceanogr. v. 33, p.1542-1558, 1998.
- JESUS, E. T. **Distribuição e Fracionamento de Fósforo em Sedimentos de Manguezais do Estuário do Rio Tibiri na Ilha do Maranhão, Região Amazônica**. 2013. 59 f. Dissertação (Mestrado em QUIMICA) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2013.
- MARINS, R.V., PAULA FILHO, F.J. ROCHA, C.A.S. **Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos estuarinos do Rio Jaguaribe - costa nordeste oriental brasileira**. Química Nova, 30: 1208-1214, 2007.
- MORAIS, J. L. R.; VIANA, M. A. ; COELHO, R. S . **Avaliação dos Índices de Qualidade das Águas dos Principais rios do Município de São Roque, Sp**. Scientia Vitae, v. 2, p. 40-49, 2015.
- NUNES, M. L. F. **Distribuição e fracionamento do fósforo nos sedimentos dos rios Bacanga e Anil na Ilha do Maranhão**. Dissertação (Mestrado em Química). Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 2013.

PAULA FILHO, F. J. **Distribuição e Partição Geoquímica de fósforo em sedimentos estuarinos do Rio Jaguaribe/Ce.** Fortaleza-Ce, UFCE. Dissertação de Mestrado, 88p.,2004.

PAZ, V. P.S; TEODORO, R. E. F; MENDONÇA, F. C. **Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande-PB, v 4, n 3, p.465-473, Jan. 2000.

PREFEITURA DA ESTÂNCIA TURÍSTICA DE SÃO ROQUE. **Revisão do Plano Diretor: caracterização ambiental e urbanística.** São Roque, 2005. v. 1. Disponível em:<http://www.saoroque.sp.gov.br/useruploads/files/caracteristicas_gerais/caracterizacao.pdf>. Acesso em 10 março de 2018.

PROTAZIO, L. TANAKA S.M.C.N; CAVALCANTE, P.R.S. **Avaliação de procedimentos de extração sequencial de fósforo em sedimento.** São Luis-MA, Universidade Federal do Maranhão - UFMA. Revista Analytica, nº 08, 2004.

SANTOS, E. B. **Análise da Qualidade da Água de rios do Município de São Roque/SP.** [Trabalho de Conclusão do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas]. Instituto Federal de São Paulo. São Roque, 2014.

SILVA, J. G. O. **Emprego Rural e a Mercantilização do Espaço Agrário. São Paulo em Perspectiva.** v. 11, n.2, p. 50-64, 1997.

SMITH, V.H.; JOYE, S.B.; HOWARTH, R.W. **Eutrophication of freshwater and marine ecosystems.** Limnology and Oceanography, v. 51, p. 351-355, 2006.

WANG, H. & WANG, H. **Mitigation of lake eutrophication: Loosen nitrogen control and focus on phosphorus abatement.** Progress in Natural Science, v. 19, p. 1445-1451, 2009.

ANÁLISE DAS RELAÇÕES IÔNICAS COMO PARTE DA ANÁLISE HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS À OESTE DO RIO GUANDU - BAIXADA FLUMINENSE - RJ

Isabela Martins Itabaiana

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Departamento de Geociências
Seropédica – Rio de Janeiro

Décio Tubbs Filho

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Departamento de Geociências
Seropédica – Rio de Janeiro

Patrick Aloe Teixeira

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Departamento de Geociências
Seropédica – Rio de Janeiro

principais e possíveis contaminações existentes no aquífero Piranema.

PALAVRAS-CHAVE: Água Subterrânea, Relações iônicas, Aquífero Piranema.

ABSTRACT: The area of study covers the Municipalities of Seropédica and Itaguaí, in the Baixada Fluminense, Rio de Janeiro State. The use of groundwater in the region is very important to supply both public and private demand, which suffer with precarious sanitation conditions. In addition, the aquifer has good quality, usable for human consumption, and it is a resource easy to obtain, once it is a shallow free aquifer. The physico-chemical parameters, hydrogenionic potential (pH) and electrical conductivity (EC) were analyzed along the main ions present in the water. The ionic ratios rMg/rCa , rNa/rCl , rCl/rBr , rCl/rNO_3 , $rCl/rHCO_3$ were used in the hydrochemical analyzes in order to understand the origin of the main components and possible contaminations in the aquifer in question.

KEYWORDS: Groundwater, Ionic Rations, Piranema Aquifer.

1 | INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta parte do estudo obtido no trabalho “Inventário Hidrogeológico

RESUMO: A área de estudo abrange os Municípios de Seropédica e Itaguaí, na Baixada Fluminense, Estado do Rio de Janeiro, aonde o uso de água subterrânea na região é muito importante no abastecimento público e privado, frente ao precário saneamento básico. Além disso, o recurso hídrico dispõe de boa qualidade, usado para consumo humano, e é de fácil obtenção, por se tratar de aquífero raso e de caráter livre. Os parâmetros fisico-químicos, potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE), foram analisados juntamente com os principais íons presentes na água. As relações iônicas rMg/rCa , rNa/rCl , rCl/rBr , rCl/rNO_3 , $rCl/rHCO_3$ foram empregadas nas análises hidroquímicas com o propósito de compreender a origem dos componentes

da água subterrâneas à oeste do Rio Guandu, Baixada Fluminense – RJ”, baseado nas informações disponibilizadas por pesquisas anteriores.

O objetivo principal fundamenta-se na sistematização das informações de captações de água subterrânea, a partir de levantamentos realizados, e através do agrupamento de dados, realizar uma análise hidroquímica com abordagem nas relações entre os íons dissolvidos na água, denominadas razões iônicas.

O estudo das razões iônicas se faz importante, uma vez que, estas razões podem indicar o relacionamento com o litotipo do qual a água se origina, indicar a ação de fenômenos modificadores ou indicar uma característica específica da água considerada.

2 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

2.1 LOCALIZAÇÃO

O presente trabalho reúne informações de amostras coletadas nos municípios de Itaguaí e Seropédica - mesorregião metropolitana do Rio de Janeiro, incluindo a UFRRJ e a Embrapa-Agrobiologia. O acesso aos locais citados é feito por meio das rodovias BR-116 (Presidente Dutra) que liga o município do Rio de Janeiro ao município de Seropédica, BR 465 (antiga Rio-São Paulo), RJ-099 (reta de Pirarema) e também pela BR-111, onde a área de estudo estende-se pelas coordenadas 22°50'09.23"S, 43°48'22.55"O; 22°53'28.66"S, 43°41'59.43"O; 22°48'29.32"S, 43°35'06"O; 22°42'46.76"S, 43°41'16.44"O, de acordo com o polígono da figura 1.

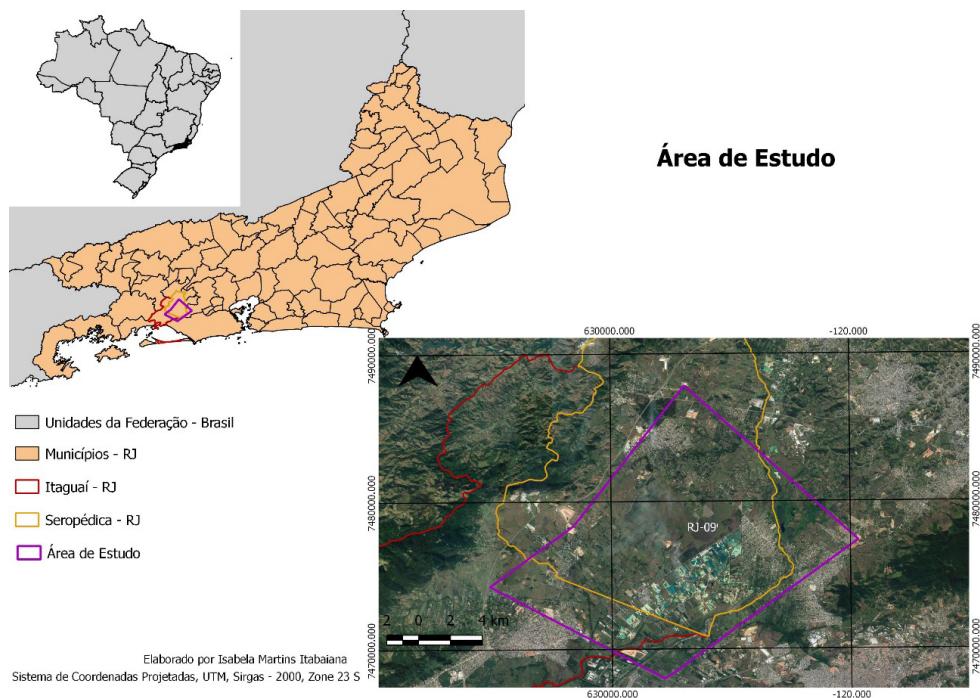


Figura 1. Limites da área de estudo abrangendo os Municípios de Seropédica e Itaguaí.

2.2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA/GEOTÉCNICA

A região está inserida na bacia de Sepetiba, na qual se destaca uma evolução tectônica segundo a direção preferencial NE-SW (DANTAS, 2000).

De acordo com Silva (2001), no município de Seropédica afloram rochas ígneas, metamórficas, sedimentares e cobertura de solo. O embasamento cristalino é composto, principalmente por hornblenda-biotita gnaisse; migmatitos e microclina-gnaisse que pode aflorar como corpos intrusivos tabulares no hornblenda-biotita gnaisse. Estas unidades estão distribuídas, de uma forma geral, paralelamente à estrutura regional principal ou disseminadas na região da baixada sul – fluminense.

Os solos, do ponto de vista geotécnico, ocorrem como solos residuais de gnaisse, situados nas partes mais elevadas e solos transportados coluvionares, nas áreas dominadas por rampas de colúvio.

2.3 HIDROGEOLOGIA

São denominados de “Aquífero Piranema” todos os aquíferos com permeabilidade intergranular formados por coluviões, depósitos fluviais, flúvio-marinhos e flúvio-lacustres (TUBBS, 1999).

Podem ser diferenciados pelo menos dois aquíferos distintos, os fraturados, relacionados às áreas de ocorrência das rochas cristalinas e o sistema intergranular, correspondente às áreas aonde ocorrem os sedimentos arenosos e areno-argilosos terciários / quaternários, representados pela Formação Piranema, que é composta por duas unidades:

i) Unidade inferior: trata-se de uma fácie arenosa de idade pleistocênica, composta basicamente por areias de média a muito grossa com cascalhos, constituído principalmente por quartzo e feldspato.

ii) Unidade superior: sobreposta à fácie arenosa, ocorre a fácie silticó argilosa holocênica, denominada de Unidade Aluvionar de cobertura. As espessuras deste pacote variam entre 10 e 25 metros e sondagens geofísicas indicam profundidades de 35 a 40 metros.

As coberturas de solo, proveniente das alterações das rochas cristalinas, podem gerar um sistema com características superficiais de aquífero poroso e gradualmente, à medida que a profundidade aumenta, revertendo para características de sistemas fraturados. Estes aquíferos rasos e livres não são individualizados, tendo sido considerados como parte do sistema aquífero fraturado, entretanto é provável que tenham continuidade lateral, mostrando que de uma maneira genérica os sistemas aquíferos estão todos intercomunicados (MONSORES *et al.*, 2003).

O nível da água subterrânea varia entre 3 e 7,5 metros, conforme a estação climática. A água subterrânea é pouco mineralizada, apresentando baixos valores de condutividade elétrica e de pH, ressaltados nas figuras 2 e 3, respectivamente.

As amostras apresentam pH entre 4.3 e 7, com média 5,6. A acidificação da água pode ser explicada pela presença de argila e silte; pelo revolvimento desses sedimentos (MONSORES, 2003), e ainda pela oxidação de sulfetos, liberando radicais de sulfatos (TUBBS *et al.* 2011).

Quanto à oxidação de sulfetos, Barbosa (2005) reconhece que a presença do sulfato é condicionada ao ambiente geológico, formado por camadas, essencialmente, arenosas relacionadas aos depósitos originados sob condições redutoras, associadas a um ambiente de linhas de costa e mangues.

Tubbs *et al.* (2011) associa o aumento do teor de SO_4 na água à atividade de extração de areia na região. Em decorrência da lavra e, consequentemente, a exposição dos sedimentos ricos em sulfetos, ocorre a oxidação destes para sulfato, elevando o conteúdo deste na água.

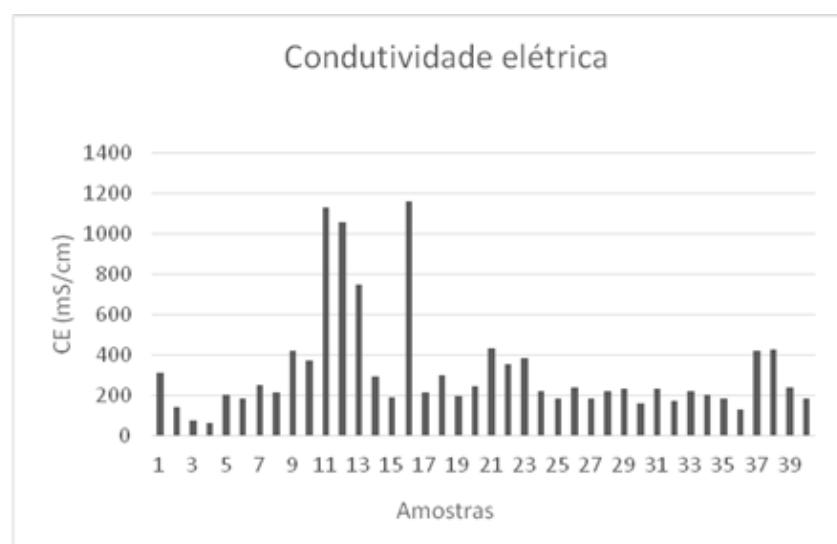


Figura 2. Variação da Condutividade Elétrica (CE). As variações podem ser explicadas pelas flutuações do nível na superfície freática, e do regime sazonal de chuvas da região. Os baixos valores obtidos indicam poucos sais dissolvidos na água.

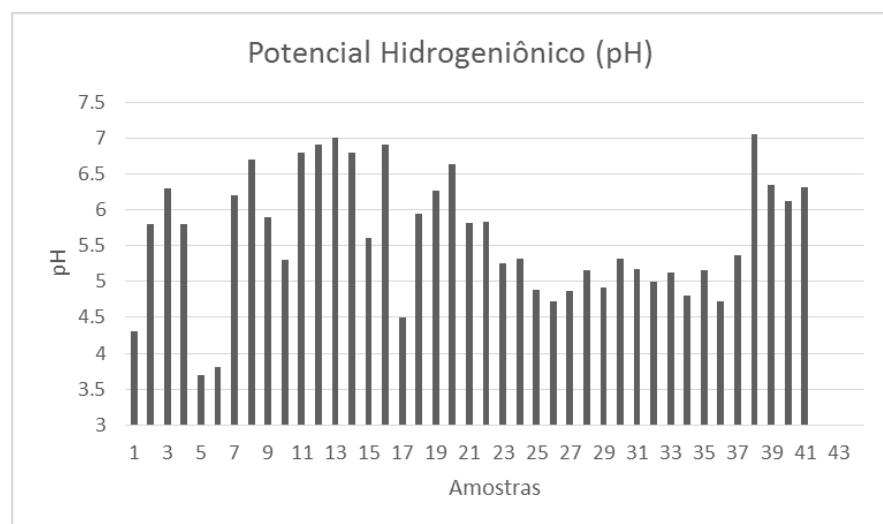


Figura 3. Valores de pH obtidos na área estudada.

3 | METODOLOGIA

As pesquisas bibliográficas e o levantamento de dados serviram como base para a realização deste trabalho. Pesquisas anteriores forneceram dados de 46 amostras, entretanto, algumas não possuem resultados para os íons estudados neste trabalho. Deve-se ressaltar que as amostragens foram feitas entre os anos de 2003 e 2016.

Analisou-se os íons: sódio (Na^{2+}), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), cloreto (Cl^-), Brometo (Br), sulfato (SO_4^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-) e nitrato (NO_3^-), empregados no estudo das relações iônicas.

4 | RESULTADOS

A tabela 1 foi utilizada como base de estudo para as razões iônicas $r\text{Mg}/r\text{Ca}$, $r\text{Na}/r\text{Cl}$. Neste tópico ainda serão abordadas as relações $r\text{Cl}/r\text{NO}_3^-$ e $r\text{Cl}/r\text{Br}$. As razões são dadas em meq/L.

Razão iônica	Variações teóricas	Variações na região	Significado
Mg/Ca	0,25-0,33	0,12-0,14	- Água de circulação em rocha com composição granítica
	$>>0,9$		- Contato com água do mar ou fluxo através de rocha básica
Na/Cl	$<0,876$	0,73-2,98	- Água do mar
	$<0,07$		- Substituição de Na por Ca e Mg
	$<0,07$		- Precipitação de sais de Na
	$>0,07$		- Fluxo através de rochas cristalinas ou vulcânicas
Cl/HCO_3^-	0,5	0,11-8,73	- Fluxo normal para rochas cristalinas
	$>1,3$		- Águas com salinização inicial
	$>6,0$		- Águas com salinização adiantada

Tabela 1. Variações teóricas para as razões iônicas e valores aferidos para as águas subterrâneas à Oeste do Rio Guandu. Modificado de Tubbs (1994).

4.1 RAZÃO $r\text{Mg}/r\text{Ca}$

A razão $r\text{Mg}/r\text{Ca}$ auxilia na identificação dos processos sofridos na água subterrânea e sua evolução e detecta fenômenos de troca de bases (LILLO, 2002). Nas águas continentais, esta razão varia, frequentemente, entre 0,3 e 1,5.

De acordo com os dados observados na tabela 2, a razão apresenta valores

característicos de águas continentais. Deve-se salientar, que o íon de cálcio sobrevém de forma livre na água (BARBOSA, 2005). Neste caso, os baixos teores verificados são explicados em função da mobilidade do cátion, o mesmo para o magnésio.

Além disso, Vicente (2008) interpreta que comportamento do cálcio é devido à influência de rochas alcalinas (seja pela Serra do Mendenha ou por diques ou sedimentos oriundos destas) que são ricas em Na e que tem a capacidade de promover a substituição do Ca, lixiviando-o para fora do sistema químico dos aquíferos.

Mg	Ca	rMg/rCa	Mg	Ca	rMg/rCa
23.10	26.10	0.89	4.30	2.40	1.79
4.10	8.80	0.47	5.40	9.30	0.58
0.83	0.84	0.99	8.60	17.00	0.51
0.76	0.87	0.87	1.70	4.40	0.39
7.40	12.40	0.60	3.38	7.96	0.42
8.10	12.40	0.65	1.39	2.02	0.69
1.76	1.04	1.69	3.59	3.11	1.15
3.50	5.40	0.65	3.53	2.64	1.34
3.84	5.60	0.69	2.32	2.36	0.98
3.50	6.40	0.55	2.56	2.44	1.05
27.96	28.60	0.98	2.36	2.32	1.02
23.04	28.60	0.81	4.79	3.33	1.44
20.88	19.60	1.17	3.38	1.19	2.84
9.00	15.60	0.58	3.48	5.34	0.65
1.32	2.60	0.51	3.42	4.86	0.70
24.48	28.60	0.86	1.90	2.50	0.76
3.00	1.20	2.50	1.69	1.78	0.95
5.40	7.50	0.72	11.55	7.47	1.55
2.40	4.50	0.53	20.00	43.30	0.46
2.40	4.10	0.59	13.60	40.90	0.33
6.60	12.50	0.53			

Tabela 2. Valores da razão rMg/rCa para as águas subterrâneas à Oeste do Rio Guandu.

4.2 RAZÃO rCl/rHCO₃

Barbosa (2005) comenta que os sais dissolvidos na água chuva continental são, principalmente, sulfato de cálcio ou bicarbonato de cálcio, devido a interação da pedosfera com os gases atmosféricos. No que diz respeito ao íon HCO₃, as baixas concentrações estariam relacionadas ao pH ácido e teriam contribuído na diminuição dos valores encontrados para esta razão.

De acordo com a interpretação desta relação, a partir dos valores apresentados na tabela 3, pode-se concluir que as águas na área estudada têm caráter continental e sofrem influência de outros sais através da recarga do aquífero pela água da chuva, e consequentemente, a interação das águas atmosféricas com o solo. Além disso,

os valores mais elevados, em função do cloreto, indicam salinização destas águas através de intrusão marinha pretérita neste aquífero.

Cl	HCO_3	rCl/r HCO_3	Cl	HCO_3	rCl/r HCO_3
24.00	7.70	3.12	7.90	20.00	0.40
23.10	10.70	2.16	39.86	40.00	1.00
8.61	77.00	0.11	52.30	8.46	6.18
291.10	15.25	19.09	32.20	12.23	2.63
269.80	21.96	12.29	53.06	6.26	8.48
156.20	208.62	0.75	59.76	10.16	5.88
49.70	183.00	0.27	30.72	8.36	3.67
14.20	151.28	0.94	39.60	14.33	2.76
305.30	18.91	16.14	31.90	11.66	2.74
21.30	203.13	0.10	40.76	8.03	5.08
31.60	5.49	5.76	34.20	14.00	2.44
27.40	28.30	0.97	35.73	10.10	3.54
32.60	29.50	1.11	28.20	14.66	1.92
64.00	20.00	3.20	74.50	7.06	10.55

Tabela 3. Valores da razão rCl/r HCO_3 para as águas subterrâneas à Oeste do Rio Guandu.

4.3 RAZÃO rNa/rCl

A interação Na-Cl indica dissolução de halita ou mistura com água do mar (SANTOS, 2008). A fonte principal de Cl⁻ é o NaCl, onde o Na⁺ está associado aos silicatos ou à troca iônica.

A tabela 4 apresenta valores que admitem a entrada do sódio através da dissolução dos minerais feldspáticos, que constituem as rochas de caráter granítico do substrato rochoso regional.

Tubbs (2011) reforça em seu trabalho que a atividade de extração de areia, desencadeia mudanças na química das águas da região, visto que, a atividade modifica o nível do lençol freático e do mesmo modo os valores de carga hidráulica na região, modificando a forma como os íons se movimentam no aquífero.

Na	Cl	rNa/rCl	Na	Cl	rNa/rCl
23.10	26.10	1.08	20.70	41.10	0.50
39.60	115.00	0.38	106.00	64.00	1.66
17.60	24.00	0.73	19.00	7.90	2.41
17.40	23.10	0.75	29.40	52.96	0.56
37.10	35.60	1.04	31.06	39.86	0.80
37.70	34.60	1.09	35.13	52.30	0.67
16.58	8.61	1.93	24.66	32.20	0.77
4.78	52.89	77.05	43.33	53.06	0.82

124.20	291.10	0.43	36.06	59.76	0.60
124.20	269.80	0.46	22.36	30.72	0.72
87.40	156.20	0.56	28.40	39.60	0.72
22.77	49.70	0.46	23.00	31.90	0.72
21.26	14.20	1.50	26.00	40.76	0.64
125.58	305.30	0.41	27.83	34.20	0.81
17.71	21.30	0.83	30.00	35.73	0.08
18.20	31.60	0.58	18.00	28.20	0.64
15.60	27.40	0.57	55.50	74.50	0.74
17.30	32.60	0.53	74.40	39.80	1.87
23.60	37.90	0.62	63.10	51.00	1.24
25.00	43.20	0.59			

Tabela 4. Valores da razão rNa/rCl para as águas subterrâneas à Oeste do Rio Guandu.

4.4 RAZÃO rCl/rNO₃

Apesar de Barbosa (2005) apontar correlações negativas entre o Nitrato e o cloreto, indicando que estes não possuem a mesma fonte, o cloreto também pode estar relacionado à dejetos humanos, neste caso, proveniente da urina.

De acordo com Argoss (2011), a relação entre o nitrato e cloreto pode ajudar a indicar a origem do nitrato e a porcentagem de esgoto orgânico, derivado do local de saneamento, que é oxidado e lixiviado para o lençol freático. Onde a relação envolve valores entre 1:1 e 8:1 (Figura 4), o nitrato é oriundo de efluentes domésticos, mais especificamente, por fontes fecais. Os valores são apresentados na tabela 5.

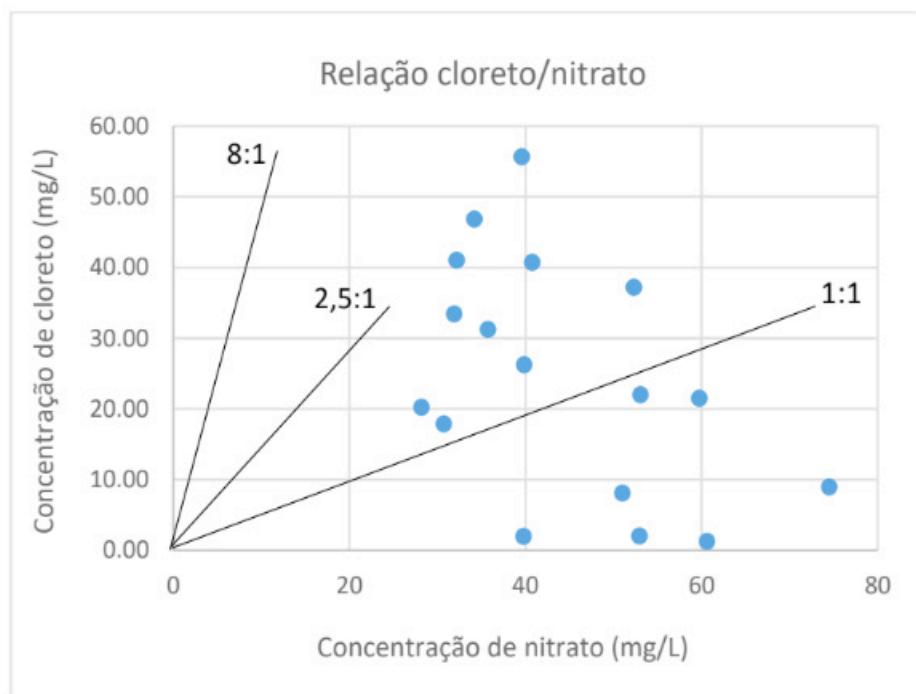


Figura 4. Relação cloreto/nitrato para as águas subterrâneas à oeste do rio Guandu. Nesta razão, a origem do nitrato tem relação com a presença de coliformes fecais (razão variando principalmente no intervalo entre 2:1, dentro do intervalo característico para fontes fecais).

Cl	NO ₃	rCl/rNO ₃	Cl	NO ₃	rCl/rNO ₃
52.96	2.06	25.71	40.76	40.73	1.00
39.86	26.26	1.52	34.20	46.86	0.73
52.30	37.23	1.40	35.73	31.26	1.14
32.20	41.06	0.78	28.20	20.26	1.39
53.06	22.03	2.41	74.50	9.00	8.28
59.76	21.53	2.78	39.80	2.00	19.90
30.72	17.90	1.72	51.00	8.10	6.29
39.60	55.66	0.71	60.61	1.30	46.62
31.90	33.43	0.95			

Tabela 5. Valores da razão rCl/rNO₃ para as águas subterrâneas à Oeste do Rio Guandu. Os valores em vermelho representam as razões contidas no intervalo referido para a origem fecal do nitrato.

4.5 RAZÃO rCl/rBr

A origem desses íons nas águas subterrâneas, principalmente doces, é comum e corresponde, majoritariamente, aos aerossóis marinhos incorporados e pela precipitação atmosférica. Nas águas marinhas, a razão de rCl/rBr é de aproximadamente 655 (r=meq/L).

Segundo Barbosa (2005), o valor encontrado na região do Aquífero Piranema estaria relacionado à aerossóis marinhos, uma vez que o brometo é encontrado em pequenas concentrações na água da chuva oceânica e desta forma, a razão Cl/Br seria menor, pois a dissolução da halita presente nos aerossóis produz soluções ricas em cloreto, mas relativamente mais empobrecidas em brometo. Comparadas com a água do mar, as razões nesta região teriam esta característica. Os valores são apresentados na tabela 6.

Apesar da contribuição do conteúdo atmosférico (aerossóis marinhos), é possível admitir a contribuição marinha, uma vez que no contexto geológico da área, não existe mineral que possa contribuir para a concentração de brometo e cloreto, restando somente minerais como a halita para fornecer as concentrações destes íons.

Cl	Br	rCl/rBr	Cl	Br	rCl/rBr
29.60	0.23	128.69	53.06	0.14	379.00
115.00	0.11	1045.45	59.76	0.12	497.66
24.00	0.08	296.30	30.72	0.10	307.20
23.10	0.08	303.94	39.60	0.08	495.00
35.60	0.18	197.77	31.90	0.06	531.66
34.60	0.18	192.22	40.76	0.09	452.88
52.96	0.10	545.97	34.20	0.09	380.00
39.86	0.11	369.07	35.73	0.11	324.81
52.30	0.12	435.83	28.20	0.07	402.85
32.20	0.11	292.72	74.50	0.16	465.62

Tabela 6. Valores da razão rCl/rBr para as águas subterrâneas à Oeste do Rio Guandu.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O caráter livre somado à pouca profundidade do aquífero, são características facilitadoras da entrada dos íons pelos fatores mencionados acima, e desta forma, promovem a mudança na química das águas.

As análises realizadas neste trabalho convieram para a compreensão da origem dos íons presentes na água subterrânea da área envolvida. Além disso, a sistematização dos presentes dados poderá contribuir em estudos futuros na região.

REFERÊNCIAS

- ARGOSS (2001) - **Guidelines for assessing the risk to groundwater from on-site sanitation.** British Geological Survey Commissioned Report. v 142, 66p.
- BARBOSA, C. F. (2005) - **Hidrogeoquímica e a contaminação por nitrato em água subterrânea no bairro Piranema, Seropédica - RJ.** Dissertação de Mestrado. IG/ UNICAMP. 93 p.
- CUSTODIO, E.; HERRERA, C. (2000) - **Utilización de la relación Cl/Br como trazador hidrogeoquímico en hidrología subterránea.** Bol. Geol. Min. Madrid, v111, p: 49-67.
- DANTAS, M. E. (2000) - **Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro.** CPRM, DRM/RJ. 60p.
- LILLO, J. (2002) – **Técnicas Hidroquímicas.** Universidad Rey Ruan Carlos. 140p.
- MONSORES, A. L. M.; NUMMER, A. R.; TUBBS FILHO, D. (2003) - **Estudos Hidrogeológicos dos Aquíferos Intergranulares a Oeste do Rio Guandu, Município de Seropédica/RJ.** São Paulo: ELETROBOLT. 177p.
- SANTOS, A. C. (2008) - **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** Editora CPRM, 3º Edição revisada e ampliada. 812p.
- SILVA, L. C.; DEHLER, N. M.; SANTOS, R. A. (2001) - **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro.** Brasília. Executado pela CPRM, 2ª Edição. 77p.
- TUBBS, D (1999) – **Ocorrência das águas subterrâneas – “Aquífero Piranema” – Município de Seropédica, área da Universidade Rural e arredores, Estado do Rio de Janeiro.** FAPERJ (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro). Relatório Final de Pesquisa. 123p.
- TUBBS, D.; MARQUES, E. D.; GOMES O. V.; SILVA-FILHO, E. V. (2011) - **Impacto da mineração de areia sobre a química das águas subterrâneas, Distrito Areeiro da Piranema, municípios de Itaguaí e Seropédica, Rio de Janeiro.** Revista Brasileira de Geociências v. 41, n.3, p: 472-485.
- VICENTE, J. F. (2008) – **Caracterização Hidrogeológica de uma área experimental no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica/ RJ.** Dissertação de Mestrado. DE/ PUC-RJ. 101p.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DAS ÁGUAS E DOS SEDIMENTOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO AURÁ (RMB) ENTRE OS ANOS DE 2002 A 2018

Gilmar Wanzeller Siqueira

Prof. Dr. no Programa de Pós-Graduação em Ciências e Meio Ambiente do Instituto de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal do Pará (PPGCMA/ICEN/UFPA). E-mail: gilmar@ufpa.br

Fabio Marques Aprile

Prof. Dr. Adjunto IV no Instituto de Educação da Universidade Federal Oeste do Estado do Pará (IE/UFOPA). E-mail: aprilefm@hotmail.com;

Arthur Araújo Ribeiro

Mestrando Programa de Pós-Graduação Profissional em Processos do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará (PPGEP/ITEC/UFPA).

Alda Lucia da Costa Camelo

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Meio Ambiente do Instituto de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal do Pará (PPGCMA/ICEN/UFPA).

Alzira Maria Ribeiro dos Reis

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Meio Ambiente do Instituto de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal do Pará (PPGCMA/ICEN/UFPA).

Maria Alice do Socorro Lima Siqueira

Assistente Social pela Universidade da Amazônia (UNAMA) e Bacharel em Direito pela Faculdade Metropolitana da Amazônia (FAMAZ), (PROEX/DPP/UFPA).

superficiais e sedimentos fluviais de fundo da bacia hidrográfica do Rio Aurá, na Região Metropolitana de Belém do Pará, resultam, aparentemente, de atividades relacionadas ao lixão a céu aberto não controlado, localizado a montante dessa bacia. Como procedimento metodológico foi realizado levantamento de dados de vários pesquisadores que realizaram trabalhos nessa região entre os anos de 2002 a 2018, visando identificar principalmente variações espaciais e temporais no Rio Aurá, em sua qualidade ambiental. Enfatizaram-se as concentrações de metais traços e níveis de HPAS nos sedimentos de fundo e nas águas superficiais foram verificados as distribuição dos parâmetros físico, físico-químicos e bacteriológicos. De maneira geral, foi observado através dos dados levantados que, mesmo com fechamento do lixão a céu aberto ocorrido em 2015, esse estudo revelou um grande decaimento na qualidade ambiental dessa bacia hidrográfica tanto no aspecto espacial como também temporal.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação Ambiental, Bacia Hidrográfica, Região Metropolitana de Belém.

ABSTRACT: The environmental pollution of surface waters and river bottom sediments of the Aurá River basin in the Metropolitan Region of Belém do Pará apparently results from

RESUMO: A poluição ambiental das águas

activities related to the uncontrolled open dump located upstream of this basin. As a methodological procedure, data were collected from several researchers who carried out studies in this region between the years of 2002 and 2018, aiming at identifying mainly spatial and temporal variations in the Aurá river, in its environmental quality. The concentrations of trace metals and HPAS levels in the bottom sediments and in surface water were emphasized, the distribution of physical, physico-chemical and bacteriological parameters was verified. In general, it was observed from the data collected that, even with the closure of the open dump occurred in 2015, this study revealed a great decrease in the environmental quality of this watershed both in the spatial and temporal aspects.

KEYWORDS: Environmental Assessment, Hydrographic Basin, Metropolitan Region of Belém.

1 | INTRODUÇÃO

Os elementos potencialmente tóxicos, quando introduzidos no ambiente fluvial, estão sujeitos a processos que podem favorecer sua dispersão ou acúmulo no sedimento de fundo. Os vários processos que controlam a qualidade da água de um determinado sistema fazem parte de um frágil equilíbrio, que motivam as alterações de ordem física, química, biológica ou climática em suas características. Desta forma, nas bacias hidrográficas, as práticas que se seguem tendem a promover intensos problemas ambientais, como erosão do solo, sedimentação e a lixiviação excessiva de nutrientes (Sopper, 1975), causando consequentemente, prolongada degradação da qualidade da água.

A Região Metropolitana de Belém (RMB), no Estado do Pará, é cortada por rios, cursos, canais e igarapés, além de apresentar lagos em diversificados tamanhos e formas. Nesse imenso mosaico, composto pelos ecossistemas aquáticos, há uma constante pressão antrópica pela inserção do ambiente urbano nas imediações dos limites ambientais, sendo que muitas vezes são ocasionados por invasões da população nesses espaços, contribuindo assim, para a poluição e contaminação dos corpos de águas.

Em estudos realizados por Santos, et al., (2011):

Mostraram uma contribuição no balanço de concentração de metais pesados nas amostras da margem direita do Rio Aurá, em decorrência de quantidades significativas de chorume depositados nesse rio, e que há uma relação entre o fluxo de marés e os níveis hidrológicos dos Rios Aurá e Guamá, respectivamente, sendo fator preponderante para dispersão de poluentes e contaminantes nas bacias.

Siqueira & Aprile (2013, p. 52) destacam a quantidade de chorume despejados no Rio Aurá, considerando “*o risco potencial de contaminação da pluma de chorume que é agravado com a utilização dessas águas para o consumo humano (...), e para o*

abastecimento público pelos sistemas de captação de água potável”.

De acordo com Siqueira & Aprile, (2013), a bacia hidrográfica do Rio Aurá está situada na região metropolitana de Belém, entre os municípios de Belém e Ananindeua, onde a taxa populacional tem aumentado consideravelmente sem medida de controle social ou ambiental. A região é intensamente explorada, sendo que os principais problemas ambientais são o desmatamento, erosão, inundação, poluição e contaminação das águas, especialmente por metais pesados, compostos orgânicos e depósito de lixão a “céu aberto”. O Rio Aurá está localizado na extremidade sudeste da cidade de Belém do Pará, formando com o Rio Guamá uma micro-bacia com drenagens de pequeno porte e pouca extensão, como é o caso dos igarapés Santo Antônio do Aurá, Pescada, Juvêncio, Jaruca e Santana do Aurá. A bacia do Rio Aurá possui uma extensão total de aproximadamente 10.400m distribuídos pelos principais corpos de água da seguinte forma: Rio Aurá com @ 6.800 m; igarapé Santo Antônio do Aurá com @ 2.000m e igarapé Santana do Aurá com @ 1.600 m.

Para Morales & Fenzl (2000):

O aterro sanitário do Aurá encontra-se localizado nas cotas topográficas relativamente baixas, os quais possuem características geológicas impróprias para a deposição dos resíduos sólidos, dada a porosidade do solo permitir que o chorume percole pela zona não insaturada até atingir a zona saturada.

Tal fato coloca o sistema hídrico superficial e subterrâneo em alto grau de vulnerabilidade. O aterro sanitário do Aurá não possui impermeabilização com camadas de argila, tratamento dos líquidos percolados e nem drenagem para segregar águas pluviais que junto com o material lixiviado são direcionadas pelos gradientes topográficos aos igarapés Santo Antônio e Santana do Aurá, que desembocam no Rio Aurá, e este, por sua vez, é tributário do Rio Guamá. É pertinente destacar que o monitoramento do aquífero freático do local não é realizado, pois os poços de controle foram destruídos e/ou desativados. Neste contexto, o conhecimento da dinâmica temporal da bacia hidrográfica do Rio Aurá é de fundamental importância para futuras operações de monitoramento ambiental que possam ser implementadas nesse ecossistema.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O “Aterro Sanitário de Santana do Aurá” está localizado a 19 km do centro da cidade de Belém (PA), e ocupa uma área total de 120 ha, sendo 25% destinado ao aterro de resíduos sólidos. Apesar do elevado número de lagos, rios e igarapés na região, os estudos desenvolvidos no final de 1989 determinaram esse trecho como a melhor opção para a implantação do aterro sanitário. A presença de um solo argiloso compactado e de uma antiga jazida de material laterítico (solo bem típico da região

amazônica) abandonada foram os principais argumentos para a escolha do local. Esse aterro sanitário do Aurá recebeu resíduos sólidos não perigosos de diversas fontes, incluindo resíduos agrícolas, que somam 1.200 ton./dia de resíduos (SATO, 2014).

Em 1993 foi criada a Área de Proteção Ambiental de Belém (APA-Belém) e o Parque Estadual do Utinga (PEUt), ambos com objetivo de preservar a qualidade da água dos mananciais que abastecem parte da RMB (Região Metropolitana de Belém). Dessa maneira, o Aterro Municipal do Aurá passou a fazer parte da APA, uma Unidade de Conservação Estadual, cujos objetivos respaldados por lei incluem assegurar a potabilidade da água dos mananciais, por meio da restauração e da manutenção da qualidade ambiental dos lagos Água Preta e Bolonha e do próprio Rio Aurá (Figura1).

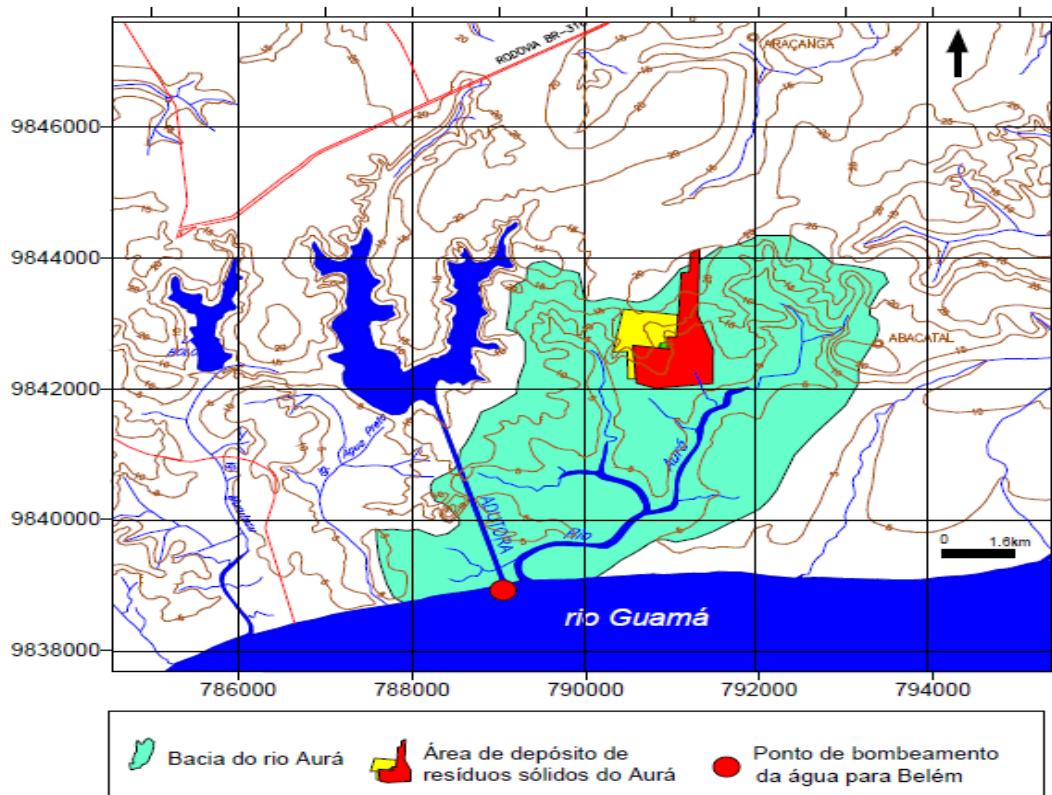


Figura 1. Mapa geral de localização da área de estudo (no detalhe visualização da área influência de resíduos sólidos do Aurá).

Fonte: Morales, (2002)

Em 05 de julho de 2015, o aterro sanitário do Aurá finalmente foi desativado, iniciando assim mais um capítulo envolvendo a política de resíduos sólidos na capital paraense. Longe de ser o fim dos problemas ambientais, o encerramento do lixão prometido pela prefeitura municipal de Belém inicia uma nova fase de debates em torno do tema. Algumas questões se impõem à gestão municipal. O que fazer com o Aurá, que por 30 anos recebeu todo o tipo de resíduo produzido na região Metropolitana? Como avaliar e remediar as consequências do uso descontrolado do aterro? Qual o comportamento dos poluentes ambientais migrados desse aterro para a bacia hidrográfica do Rio Aurá e suas consequências?

Descrições mais detalhadas da bacia do Rio Aurá incluindo informações sobre

hidrologia, geologia e clima, aspectos históricos e sociais da criação do aterro sanitário e uso e ocupação de seu entorno podem ser encontradas nos estudos de Morales (2002), Siqueira & Aprile (2013), Santo (2014), Marques (2014), Siqueira, et al., (2014), Santos, et al., (2016), Siqueira et al., (2016) e Siqueira & Aprile (2017).

Quanto aos procedimentos metodológicos, propõe-se realizar um estudo analítico, utilizando a pesquisa bibliográfica e documental. Uma boa pesquisa para ser desenvolvida e alcançar os seus objetivos necessita de métodos, de como preceder e obter respostas às questões por ela suscitadas. A pesquisa bibliográfica está preconizada de acordo com Oliveira (2002), que têm como objetivo principal, conhecer as contribuições acerca de um dado tema, servindo, portanto, para a construção de um trabalho voltado para a compreensão do fenômeno em estudo. Para este estudo, foi realizada ampla discussão de uma série histórica de dados obtidos por vários pesquisadores acerca da qualidade das águas superficiais e dos sedimentos fluviais de fundo do Rio Aurá, por um período de 14 anos nessa região.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A influência direta do depósito de resíduos sólidos sobre as águas superficiais localizados próximos ao lixão foi constatada pela primeira vez por Morales (2002), que coletou amostras de água em cinco pontos de coletas distribuídos nos Rios Santo Antônio, Santana do Aurá e Igarapé Juruca, todos pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Aurá, a fim de verificar a variação dos parâmetros traçadores de chorume (pH, condutividade, alcalinidade, amônia, nitrato, cloreto, sódio, cálcio, magnésio e potássio). Os maiores valores foram encontrados nos pontos mais próximos do aterro sanitário a céu aberto (montante dessa bacia), indicando que o chorume naquele momento já atingia esses Rios. A condutividade no ponto mais próximo, por exemplo, apresentou uma média de 58 e 69 mS/cm nas duas coletas do período de chuva, e na época de seca, mostrou uma média de 153 e 61 mS/cm nas duas campanhas. Já no ponto mais afastado, as duas coletas realizadas na época de chuva mostraram médias de 33 e 45 mS/cm, enquanto que no período de seca foi de 39 e 45 mS/cm. Esse autor conclui que, mesmo que este estudo não tenha indicado a influência do Aterro Sanitário do Aurá nos corpos hídricos analisados, a partir da concentração de metais, os processos de causa e efeito do Aurá podem estar modificando a qualidade dos recursos hídricos da área de influência de outras maneiras. Na visão desse autor é necessário, portanto, que estudos mais completos sejam realizados na área estudada e apontem alterações físico-químicas que cause, consequentemente, a diminuição da salubridade ambiental.

Olavo Filho & Antônio Junior (2009), realizaram estudo na área de abrangência do parque ambiental do Utinga, envolvendo análises de vários parâmetros no curso do Rio Aurá, com a realização de coletas em períodos seco e chuvoso. O teores de

sólidos totais dissolvidos, observados no ponto 1 (localizado bem a montante de bacia) de coleta do Rio Aurá no período seco variaram de 3020 mg/l até 3800 mg/l, e no período chuvoso variaram de 2320 mg/l a 3580 mg/l. Os valores de pH, no período chuvoso no ponto 2 (localizado mais a esquerda dessa bacia) de coleta do Rio Aurá, evidenciaram padrões fora dos valores regidos pela regulamentação do CONAMA, que estão na ordem entre 6.0 a 9.0; os valores evidenciados do pH oscilaram em geral, abaixo do valor mínimo permitido encontrado às 07h00, cujos valores chegaram a 5,47. Já no ponto 3 (localizado um pouco a jusante dessa bacia) de coleta do Rio Aurá, ocorreu a mesma similaridade com valores chegando a 5,68. Em relação aos valores de condutividade no ponto 1 de coleta do Rio Aurá, tanto no verão quanto no inverno, revelaram valores bastante discrepantes quanto aos pontos estudados, que apresentaram 3 casas decimais em (μ S/cm), de 2240 no valor mais baixo do período seco até 7180, enquanto no período chuvoso, os valores variaram de 4670 até 6720 (μ S/cm). Quanto à cor no período seco, mostrou estar acima da média no ponto de coleta 3 do Rio Aurá. Em relação aos sólidos suspensos os valores variaram entre a faixa de 10 a 25 mg/l, discrepando apenas no ponto 1 do Rio Aurá, tanto no período seco quanto no período chuvoso. Quando se observa os resultados nos valores de NH_3 , apenas no ponto 1 do Rio Aurá, coletados no período seco, observou-se uma amostra com índices maiores que o permitido, com o valor de 10,03 mg/l. Entretanto, houve um incremento do valor máximo que está fixado pela literatura de 1mg/l, sendo que no período chuvoso nos pontos 1 e 2, ocorreram valores maiores que o máximo pré-estabelecidos pelo Conselho, chegando a valores de 1,67 no ponto 1. Os índices de NH_3 obtiveram um valor nos pontos 1 e 2 do período seco, chegando a índices de 0,674. Quanto a DQO pode-se perceber altos valores nos pontos 1, 2 e 3. Os valores de Ca variaram de forma aproximada ao padrão, se adequando a realidade das águas Amazônicas, chegando a valores de 5,3 mg/l no período seco em uma amostra no ponto 2. Observa-se comportamento semelhante nos parâmetros de Mg, com valores oscilando na casa de 0,1 mg/l, chegando em médias maiores no período seco no ponto 1. Os valores de K seguiram o mesmo padrão dos outros elementos estudados, variando de forma normal as zonas fluviais amazônicas, obtendo valores mais altos no ponto 1, tanto no período seco quanto no período chuvoso; neste último, os maiores valores chegaram à casa de 5,0 mg/l, entretanto no ponto 2 no período chuvoso, resultaram em valores menores que 0,1 mg/l.

Matos, et al., (2011) realizaram uma pesquisa nessa bacia na qual buscou avaliar a influência do depósito de resíduos sólidos da Região Metropolitana de Belém-PA na qualidade das águas superficiais do entorno e a atuação da maré no processo de dissolução do lixiviado. As coletas para as análises físico-químicas ocorreram simultaneamente em quatro pontos distintos dos Rios Santo Antônio e Aurá, no mês de junho de 2010. Em cada ponto de controle foram coletadas nove amostras, com intervalo de 90 minutos, durante um ciclo completo de maré (6h de baixamar até 6h de preamar). Os maiores valores médios foram observados no ponto mais próximo

do aterro e na maré de baixamar. Além disso, neste ponto, todos os parâmetros analisados apresentaram correlação significativa e negativa com o ciclo de maré. Variações significativas também foram observadas quando comparado os resultados dos parâmetros avaliados nas marés de baixamar para preamar, sendo esta de até 60% para o sódio. Além disso, a análise de correlação indicou que no ponto mais próximo ao Aterro Aurá todos os parâmetros estudados apresentaram correlação significativa e negativa com o ciclo de maré. Os resultados obtidos por esses autores neste trabalho indicam que os Rios Santo Antônio e Aurá, adjacentes ao Aterro Aurá, estão sofrendo influência do lixiviado produzido no local. Porém, segundo os autores percebe-se que com o distanciamento do lixão e nos picos mais altos de maré a influência desse percolado sobre os rios diminui. Estes resultados, entretanto, apenas pressupõem uma situação que poderá ser mais bem avaliada com base em um monitoramento periódico, uma vez que cada área de despejo representa um processo dinâmico e particular, influenciado por características locais próprias.

Siqueira & Aprile (2013) e Siqueira, el al., (2014) iniciaram uma série de estudos sobre a geoquímica de metais traços e diagênese da matéria orgânica ao longo de toda a bacia hidrográfica do Rio Aurá. Foram estudados inicialmente os elementos Al, Fe, Mn, Cr, Ni e Cu, e posteriormente foram incluídos na pesquisa os metais Pb e Cd, assim como também os compostos orgânicos (C_{org} , N_{org} , MO e razões C/N). Foi introduzida uma malha de amostragem mais ampla para essa região em 30 pontos de coletas, que abrangeu os anos de 2008 a 2010. Esses autores concluíram que a principal contribuição dos íons Al e Fe foi o uso descontrolado do aterro sanitário do Aurá, localizado a montante dessa bacia. Sendo que o Mn e Ni vieram principalmente dos solos adjacentes do sistema drenagem, já o Cr foi possivelmente modificado (III/VI) por processo alobioquímico, e Cu por processo bioinduzido. Já os compostos orgânicos (MO, Corg e Norg) sofreram influência dos processos químicos e biológicos (decomposição aeróbia e anaeróbia) durante a formação dos clastos, sendo, portanto, caracterizados como frações sedimentares alobioquímicas (Figura 2). De maneira geral, as razões C/N determinadas por esses autores refletiram certa estabilidade da matéria orgânica (MO) com padrão $C/N < 20$, excluindo alguns pontos que apresentaram razões C/N bem elevadas. Com relação aos gradientes de distribuição dos íons metálicos avaliados, os autores observaram que, a exceção do Mn, ocorreu um decréscimo nos teores desses metais em direção à foz do Rio Aurá, na confluência do Rio Guamá.

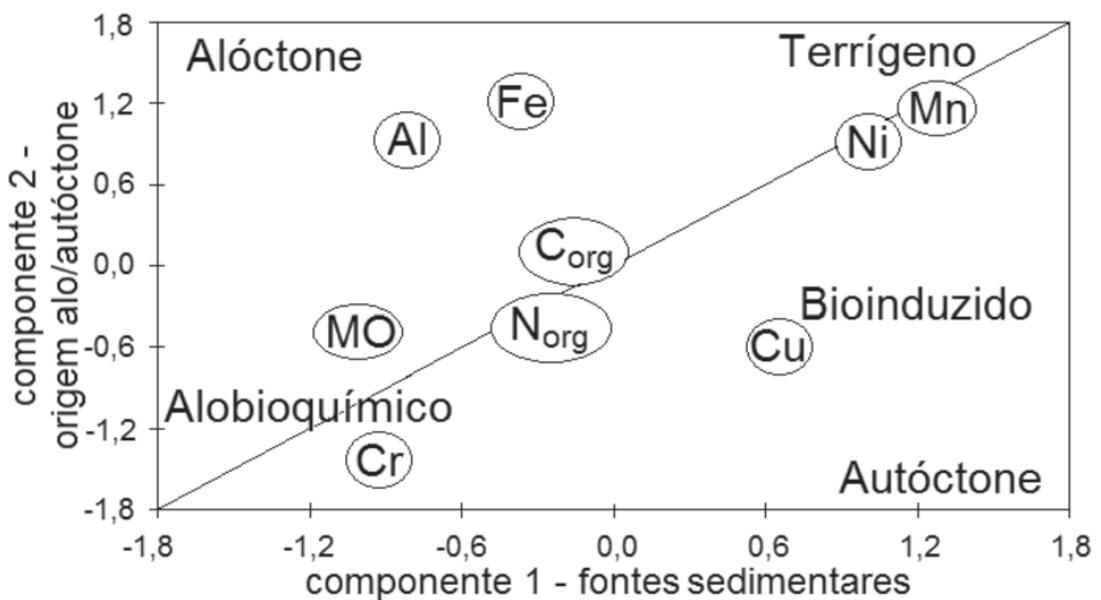


Figura 2: Análise de Componentes Principais com proposta de classificação geral dos materiais sedimentares a partir da caracterização do transporte no Rio Aurá.

Fonte: Siqueira & Aprile (2013).

As amostras coletadas revelaram um padrão granulométrico dominado pela classe textural areno-lamoso, contendo argilominerais como caulinita, illita e esmectita, que favoreceram assim, a adsorção metálica no sedimento fluvial de fundo. Segundo os mesmos autores, há de se convir que os metais traços incorporados nos sedimentos possam estar sendo adsorvidos aos óxidos hidratados e hidróxidos de metais mais abundantes na região, como o Al e Fe. Em decorrência dessa adsorção, acredita-se estar havendo uma baixa biodisponibilidade de metais traços para a cadeia trófica local. O Pb e o Cd indicaram evidências de que uma importante proporção desses elementos são provenientes de outras fontes para essa região, que a *priori* precisa ser melhor investigada. Nesse trabalho os pesquisadores aplicaram critério de qualidade ambiental para esses metais traços (Pb e Cd), o índice de Geoacumulação (IGEO) médio calculado ocorreu no grau 1 classificado como não poluído a moderadamente poluído para esses elementos. De acordo com os critérios de qualidade dos sedimentos utilizados neste estudo, há a presença de contaminação antropogênica e comprometimento dos sedimentos fluviais de fundo por Pb e Cd (Figura 3).

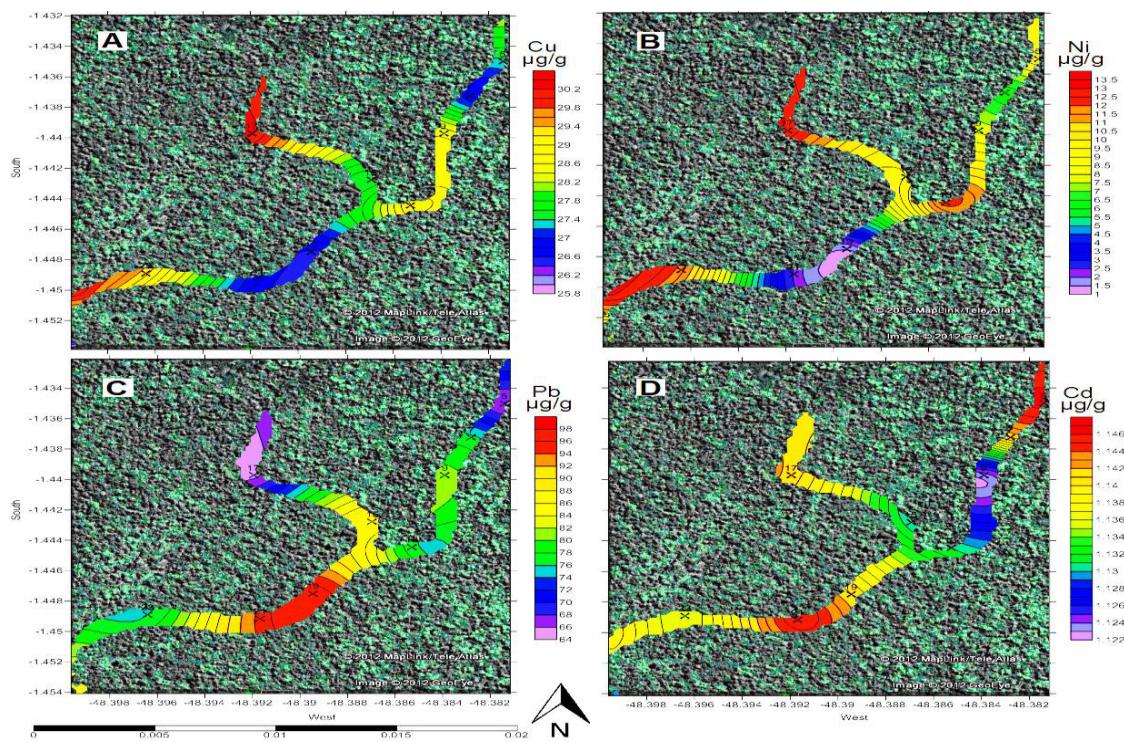


Figura 3: Mapa de isovalores de metais traço Cu, Ni, Pb e Cd para a distribuição espacial e temporal da bacia do Rio Aurá, em destaque o Pb e Cd.

Fonte: Siqueira, et al., (2014).

Silva, et al., (2014) enfocaram uma pesquisa investigativa da qualidade da água dos mananciais do Parque Estadual do Utinga (PEUt), dos Rios Guamá e Aurá, utilizando o Índice de Qualidade da Água (IQA), com a finalidade de classificá-las de acordo com a normatização vigente. Dentre os resultados encontrados para o Rio Aurá os valores da coluna de água com relação a sua transparência, os resultados oscilaram entre 29 a 28,4°C. Com relação aos valores da condutividade elétrica os mesmos oscilaram entre 153,3 a 169,4 ($\mu\text{s}/\text{Cm}$) ao longo da coluna de água. Os teores de pH variaram entre 6,75 a 6,85. Já os valores de concentração de STD (Mg/L) oscilaram de 81,15 a 81,12. Os teores de turbidez variaram entre 14,42 a 15,74 UTN. Enquanto a media de Oxigênio Dissolvido (OD) obtida foi de 0,5 mg/L, sendo bem abaixo da legislação vigente, haja vista que a mesma determina, para qualquer amostra em águas doces de Classe 2, o limite não inferior a 5 mg/L O_2 . Os valores obtidos de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) foram de 0,8 a 0,7 mg/L. O teor máximo obtido de P_{total} (fósforo total) foi de 0,777072 mg/L P na camada de fundo, sendo que na camada superficial foi de 0,785611 mg/L P. O teor encontrado de Nitrogênio Total foi de 9,076 mg/L. Por fim, o valor de Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml) foi de 31,2. O IQA calculado para o ponto de coleta do Rio Aurá para esses pesquisadores foi de aceitável. Para a verificação da distribuição do IQA, esses autores apresentaram usando gráficos produzidos pelo Software Surfer 10, através do método de interpolação por krigagem, permitindo uma melhor visualização deste índice ao longo das áreas estudadas (Figura 4).

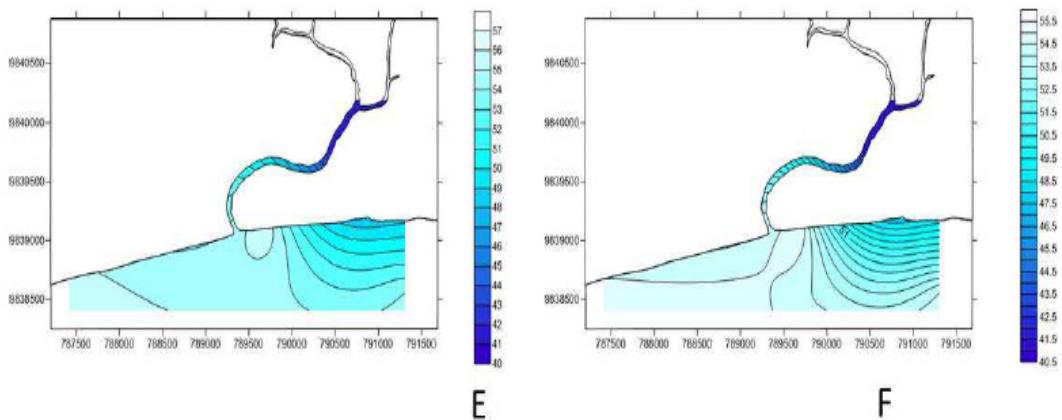


Figura 4: Apresenta o IQA dos rios Guamá e Aurá na profundidade de 20% da coluna d'água (E), e o IQA dos rios Guamá e Aurá na profundidade de 80% da coluna d'água (F)

Fonte: Silva, et al., (2014).

Marques, (2014) publicou a sua dissertação de mestrado na qual realizou uma avaliação da contaminação das águas dos mananciais do Utinga e dos rios Guamá e Aurá por metais pelo depósito de resíduos sólidos do Aurá. Para avaliar o grau de influência do Aurá sobre os corpos supracitados, realizou-se a avaliação das águas para determinação da concentração de metais traços (Cu, Cr, Mn, Ni e Pb). O estudo apontou baixas concentrações metálicas nas águas na área de estudo. Os elementos analisados apresentaram-se bem abaixo dos valores máximos permitidos (VMP), recomendados pelas legislações vigentes; à exceção do Pb, que apresentou, em alguns pontos, valores acima do VMP, o qual pode ser explicado pela concentração geogênica do metal na região. Desta forma não foi possível avaliar o grau de influência do aterro do Aurá nos corpos hídricos estudados, devido às baixas concentrações, ou ausência dos elementos metálicos dissolvidos em água, que pode ser explicada pela boa capacidade de autodepuração dos corpos analisados, segundo esse autor.

Santos, et al., (2016) determinaram as principais variações de origem e espaciais em 16 HPAs (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos) considerados como poluentes prioritários pela USEPA (Environmental Protection Agency Method), em sedimentos de fundo do Rio Aurá. HPAs foram identificados e quantificados em sedimentos de 10 locais ao longo do rio e em sua foz. As amostras foram analisadas por HPLC/UV-Vis-DAD para avaliar o grau de contaminação. De maneira geral, observou-se um gradiente de concentração desses derivados de petróleo. De maneira geral, os resultados obtidos por esses autores indicam que amostras de sedimentos coletas foram classificadas como altamente contaminadas (Σ HPAs > 500 ng g⁻¹). A priori quando se compara com outras áreas, as concentrações de PAH no Rio Aurá são relativamente semelhantes aos lugares altamente industrializados e poluídos, segundo esses autores. As razões de alto peso molecular / baixo peso molecular de HPAs (LMW/ HMW), indicam uma origem pirolítica, que demonstrou-se terem sido gerados principalmente a partir da combustão de resíduos. Portanto, os resultados

apresentados por esses atores sugerem que os HPAs da área de estudo do Rio Aurá são derivados, principalmente, da queima de resíduos sólidos (intencionais ou não) no aterro. Para as amostras de sedimento coletadas, os ΔHPAs variaram de 3824,21 a 15693,911 ng g-1 e são dominados pelo impacto ambiental de compostos de maior peso molecular e possíveis efeitos tóxicos nos organismos que habitam o sedimento de fundo ao longo da grade de amostragem, que segundo esses autores devem ser investigados em estudos posteriores. Em comparação com outras áreas urbanizadas em todo o mundo, o conteúdo medido de HPAs do Rio Aurá indicaria que ele estava altamente contaminado segundo os mesmos autores.

Siqueira et al., (2016), Siqueira et al., (2016a) e Siqueira & Aprile (2017), publicaram os resultados finais de suas pesquisas científicas nessa área. Os teores de Al, Fe, Mn, Cr, Cu, Ni, Pb e Cd além de 22 parâmetros físicos, químicos e biológicos foram determinados nas águas superficiais e sedimentos fluviais de fundo em 30 pontos de coletas, as amostras ocorreram nos períodos de chuvas e estiagem, entre os anos 2008 a 2013, e utilizados para aplicação de indicadores ambientais. Foram aplicados um total de 7 índices de qualidade da água (tabela 1) e 8 de qualidade do sedimento de fundo (tabela 2), incluindo índices de toxicidade e de preservação da vida aquática.

Índice	Equação geral	Descrição
IQA	$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad e \quad \sum_{i=1}^n W_i = 1$	q_i número entre 0 e 100 obtido em curva media a partir de medição, e w_i peso variando entre 0 e 1, atribuído a importância da variável
IGQA	$IGQA = (I_1 \times I_2 \times I_3)^{1/3} \times 100$	I_i são índices obtidos pela exponencial da concentração média (C_i) dos valores de cada grupo
ISTO	$ISTO = ST \times SO$	ST = substâncias tóxicas e SO = substâncias organolépticas
IAP	$IAP = IQA \times ISTO$	Inclui no grupo de substâncias tóxicas do ISTO, o Teste de Ames e Potencial de Formação de THM
IET^a	$IET(PT) = 10x \left[6 - \frac{\ln(80,32 / PT)}{\ln 2} \right]$	PT é [fósforo total] na superfície medida em $\mu\text{g/L}$
IET^b	$IET(PT) = 10x \left[6 - \frac{0,42 - 0,36 \times (\ln PT)}{\ln 2} \right] - 20$	PT é [fósforo total] na superfície medida em $\mu\text{g/L}$
IPMCA	$IPMCA = PE \times ST$	PE valor da maior ponderação do grupo variável essencial; ST valor médio das três maiores ponderações do grupo substâncias tóxicas

Tabela 1: Síntese dos indicadores aplicados na água.

Fonte: Siqueira & Aprile (2017).

Índice	Equação geral	Descrição
FE	$FE = \frac{[Metal]_{sed} / [Metal]_{VR}}{[Al, Fe, Sc]_{sed} / [Al, Fe, Sc]_{VR}}$	[metal] é dada em $\mu\text{g/g}$ ou equivalente, e o valor de referência (VR) é baseado no Upper Continental Crust – UCC (Tab. 3)
FC	$FC = [Metal]_{\max} / [Metal]_{VR}$	VR é baseado nos dados do UCC (Tab. 3)
GC	$GC = \sum_{i=1}^n FC_i$	Somatório dos fatores de contaminação
ICP	$ICP = \sqrt[n]{(FC_1 \times FC_2 \times FC_3 \times \dots \times FC_n)}$	Produtório dos FC_n
I_{GEO}	$I_{geo} = \log_2 \frac{[Metal]_{sed}}{1,5 \times [Metal]_{VR}}$	[metal] é dada em $\mu\text{g/g}$ ou equivalente, e o VR é baseado nos dados do UCC (Tab. 3)
RE	$RE = Rt \times ICP$	RT é fator de resposta tóxica observado em tabela
TEL	Tabela de integração	
PEL	Tabela de integração	Limites estabelecidos por MacDonald <i>et al.</i> (1996), BRASIL (2004) e CCME (2014)

Tabela 2: Síntese dos indicadores aplicados nos sedimentos de fundo.

Fonte: Siqueira & Aprile (2017).

Os resultados confirmaram contaminação da água e sedimentos em diferentes graus, com a qualidade da água superficial variando de regular a péssima, e sedimentos de fundo com significativo enriquecimento e acumulação metálica. Em termos de concentração absoluta dos teores de metais traços na fração silto-argilosa dos sedimentos de fundo ($< 0,063$ mm), revelou a seguinte ordem de magnitude: Al $>$ Fe $>$ Mn $>$ Pb $>$ Cr $>$ Cu $>$ Ni $>$ Cd. Em termos de toxicologia, as concentrações de Pb e Cd mereceram uma atenção especial por esses pesquisadores, devido à elevada toxicidade dos elementos químicos em questão, bem como pela ocorrência, em concentrações significativas em quase todos os pontos de coleta.

Neste trabalho destacou-se a aplicabilidade do Índice de Qualidade das Águas (IQA) sugerindo que há um forte comprometimento na qualidade das águas superficiais da bacia do Rio Aurá, considerando que todos os pontos amostrados dentro do período

de 2008 a 2013 apresentaram-se fora de padrão de qualidade e conservação. Do total analisado, 87% dos pontos amostrados foram classificados como “Ruim” e 13% permaneceram na categoria “Péssima”. Os piores níveis de qualidade da água foram observados na região da cabeceira do canal principal (pontos de 1 a 4) (Figura 5).

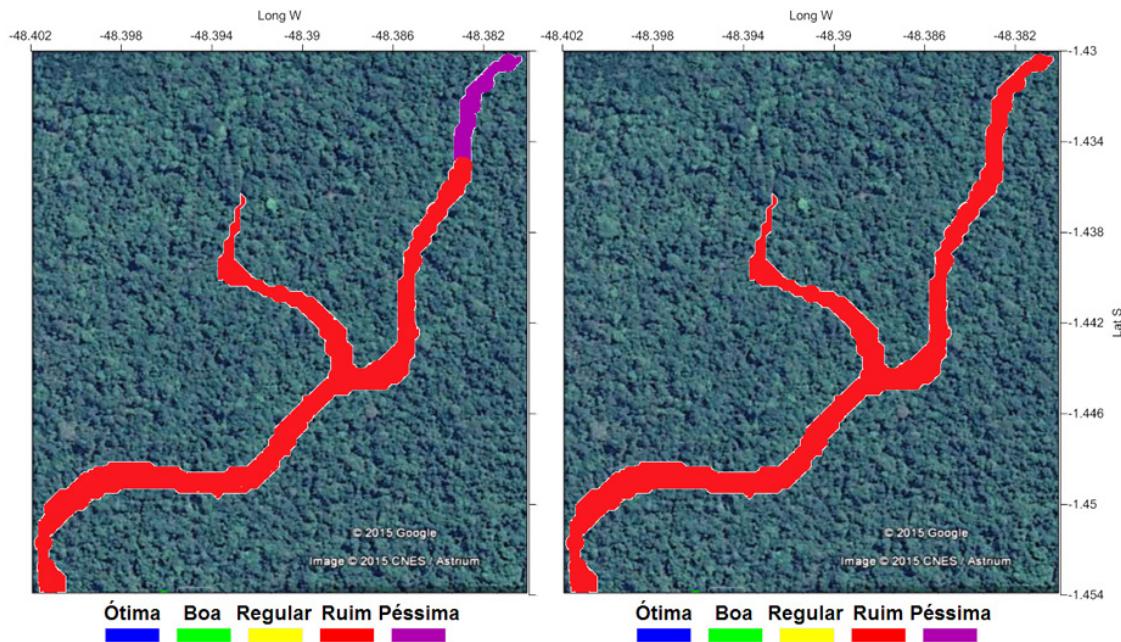


Figura 5: Mapa de isovalores do A) IQA e B) IGQA da bacia do rio Aurá de 2008 a 2013.

Fonte: Siqueira & Aprile (2017).

Segundo esses autores dos nove parâmetros utilizados no cálculo, os que apresentaram maior influência na degradação da qualidade da água foram a saturação do oxigênio, com teores médios de $19,4 \pm 7,3\%$, DBO com média $22,2 \pm 8,5$ mg/L e os coliformes fecais com 990 ± 646 NMP/100ml. Para o cálculo do Fator de Enriquecimento (FE) foi adotado o Al como agente normalizador de referência, e para o VR valores da crosta continental superior. Tendo por base a classificação de Zhang e Liu 2002 citado por Siqueira & Aprile (2017) para definição da origem do elemento metálico, tem-se que os metais Cu, Ni, Pb e Cd apresentaram 100%, o Cr 94% e Mn 50% de contribuição antrópica ($FE > 1,5$). Embora não tenha havido um padrão evidente de enriquecimento ao longo da bacia, é possível notar certa tendência a aumento do FE a partir do ponto 23, quando a declividade é mínima e há um grande meandro no canal principal, resultando em perda de velocidade de corrente e favorecimento do processo de sedimentação, especialmente das frações siltosa e silte-argilosa, cuja afinidade aos elementos metálicos é grande. Com relação a qualidade dos sedimentos, o FE indicou enriquecimento deficiente a moderado para os elementos metálicos Mn e Cr; moderado para Cu e Ni; significativo para Pb, e de significativo a alto para Cd (vide tabela 3). Outro indicador aplicado a qualidade dos sedimentos é o Índice Potencial de Contaminação ou simplesmente Fator de Contaminação (FC), que é a razão da concentração metálica amostrada pelo valor de referência do mesmo metal, ao contrário

do FE que leva em consideração ainda o VR de um agente normalizador de referência (Sc, Al ou Fe). Os resultados indicaram contaminação deficiente à moderada para Mn, Cr, Cu e Ni, significativa para Pb e contaminação significativa a alta para Cd (tabela 3).

	FE		FC		I _{GEO}	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Fe	11,5 13,9±1,3	16,4	5,1	11,2 7,9±1,1	1,8	2,9 2,4±0,2
	0,7 1,5±0,5	2,6	0,4	1,9 0,8±0,3	-1,9	0,3 -0,9±0,5
Mn	1,1 2,3±0,3	2,7	0,6	1,8 1,3±0,3	-1,2	0,3 -0,2±0,3
	2,0 2,4±0,4	4,3	0,7	2,0 1,4±0,3	-1,0	0,4 -0,2±0,3
Cr	2,2 2,9±0,5	4,8	0,8	2,5 1,7±0,4	-1,0	0,7 0,1±0,4
	5,7 8,6±2,2	15,6	3,8	5,8 4,8±0,6	1,3	2,0 1,7±0,2
Cu	13,9 19,5±3,8	33,2	9,6	11,5 10,9±0,4	2,7	2,9 2,9±0,1
Cd						

FE: classificação de Yongming *et al.* (2006) Deficiente | Moderado | Significativo | Alto | Extra alto

FC: classificação ponderada <1 | 1 - 2,5 | 2,5 - 10 | 10 - 20 | > 20

I_{GEO}: classificação de Müller (1969) não | não a moderado | moderado | moderado a forte | forte | extremo

Tabela 3: Indicadores de Fator de enriquecimento (FE), Fator de contaminação (FC) e Índice de geoacumulação (I_{GEO}) para os metais nos sedimentos. [Média±DP].

Fonte: Siqueira & Aprile, (2017).

Por fim, em estudo realizado recentemente por Ribeiro (2018 *no prelo*), um dos fatores mais importantes destacados no estudo atual foram os teores encontrados do nitrogênio amoniacal e do oxigênio molecular dissolvido nas águas superficiais do Rio Aurá. Os níveis desses parâmetros a montante dessa bacia ficaram acima e abaixo, respectivamente, dos valores permissíveis para rio de classe II segundo a Resolução 357 de 17/03/2005 do CONAMA, sugerindo em princípio a hipótese de que ainda o aterro sanitário do Aurá tem uma influência direta sobre os corpos hídricos locais. Para esse autor, as condições físicas químicas das águas superficiais sugere-se intrínseca relação geoquímica com as condições reinantes na bacia de drenagem, desta forma, na visão deste pesquisador, um estudo mais abrangente nos compartimentos ambientais (solo, sedimento, fauna e flora) é conveniente para essa região. Quando se observam as análises dos resultados obtidos na pesquisa de Ribeiro (2018 *no prelo*), pode-se considerar que, as variáveis de qualidade das águas superficiais analisadas, indicaram uma degradação ambiental do Rio Aurá, pois na análise foi possível perceber que as mesmas estão em desacordo com a resolução CONAMA nº 357/2005, fato esse já constatado por outros autores que realizaram pesquisas nessa bacia. As variáveis que mais influenciaram para tal resultado na pesquisa atual de Ribeiro (2018 *no prelo*) foram: oxigênio dissolvido; demanda bioquímica de oxigênio (DBO); nitrogênio amoniacal, os quais indicam uma grande poluição por matéria orgânica, fato este já notado em trabalhos de Siqueira, et al., 2013 e outros autores colaboradores. Os

demais parâmetros (pH, nitratos, turbidez) apresentaram teores que estiveram dentro dos limites estabelecidos pela legislação, nos pontos de amostragem. O Índice de Qualidade das Águas (IQA) aplicado no estudo de Ribeiro (2018 *no prelo*) indicou que 50% da área estudada encontram-se impróprio para o tratamento convencional e abastecimento público, dados estes bem similares a estudos desenvolvidos por outros autores que realizaram estudos nessa região.

4 | CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que ao longo de mais de uma década, as águas superficiais e sedimentos fluviais de fundo do Rio Aurá vêm sofrendo contaminação ambiental frequente, oriunda do lançamento direto de dejetos do aterro sanitário de Santana do Aurá, no seu curso ou nos seus tributários. A partir deste levantamento bibliográfico de uma série de dados de vários pesquisadores que realizaram estudos nessa região, é possível afirmar que o Rio Aurá sofre influência direta e indireta do lixão do Aurá existente na cabeceira desse sistema, mas devido a prováveis mecanismos naturais diversos, como autodepuração, diluição, adsorção, sedimentação, complexação, quelação e outros processos, ao chegar aos mananciais dos Lagos Bolonha e Água Preta para adução, os padrões ambientais estão timidamente comprometidos. Tendo por base a Resolução CONAMA nº 357 para águas doce de classe 1, pode-se concluir que há indícios de que ao longo do curso do Rio Aurá apresente um quadro de moderada poluição e contaminação ambiental. É notório que as águas captadas pela adutora passam por um sistema de tratamento e descontaminação, mas apesar disso, considerando que as águas do Rio Aurá e de seu receptor (Rio Guamá) são captadas muito próximo da foz do rio Aurá (100 – 150 m a jusante), e redistribuídas nos mananciais usados no abastecimento público da RMB, a indicação de moderada poluição deve ser relida como “**Quadro de Atenção**”, com a necessidade do estabelecimento de um programa efetivo de monitoramento permanente das bacias envolvidas. Alguns pesquisadores quando aplicaram o Índice de Qualidade das Águas (IQA), detectaram que a maior parte das águas do Rio Aurá (@ 86%) encontra-se imprópria para tratamento convencional para abastecimento público. Entretanto, os valores obtidos de IQA são divergentes entre vários autores e não são corroborados em sua plenitude. No presente levantamento bibliográfico foi possível verificar a distribuição dos principais metais traços (Al, Fe, Mn, Cu, Cr, Ni, Cd e Pb) nos sedimentos fluviais de fundo ao longo do tempo, identificando a ocorrência de origem natural e antrópica. Alguns autores aplicaram como critérios de qualidade de sedimentos o Índice de Geoacumulação (I_{GEO}) e o Fator de Enriquecimento (FE), conferindo entre eles, maior comparabilidade aos estudos de poluição por metais traços nesse sistema aquático. Os índices de I_{GEO} e FE variaram de não poluído para Al, Fe, Mn, Cu, Ni e Cr, e não poluído e moderadamente poluído para Cd e Pb. Tanto

o FE como I_{GEO} mostraram bem coerentes entre si. A concentração total de HPAs estudadas por pesquisadores indica uma contaminação dos sedimentos do Rio Aurá por esses poluentes, a priori, quando se compara com outras áreas urbanizadas em todo o mundo, o conteúdo medido de HPAs do Rio Aurá indica que ele estava altamente contaminado segundo os autores da pesquisa.

De um modo geral, o levantamento das pesquisas realizadas por vários autores nessa região entre os anos de 2002 a 2018 nos proporcionou verificar dados significativos do estado da arte e da situação ambiental no que se refere à contaminação da bacia hidrográfica do Rio Aurá, bem como no tange à qualidade ambiental das suas águas superficiais e dos sedimentos fluviais de fundo. Conclui-se que apesar do lixão do Aurá ter sido desativado em 05 de julho de 2015, que já foi um grande avanço do ponto de vista da legislação ambiental, ainda continua ocorrendo o processo de degradação em quase toda a bacia hidrográfica, necessitando de maior atenção do poder público local, sobretudo no que concerne à contaminação pelo chorume no sistema de drenagem e ecossistema local, e suas implicações ao ambiente aquático em questão.

5 | AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós Graduação em Ciências e Meio Ambiente do Instituto de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal do Pará;

REFERÊNCIAS

MARQUES, L.C.A. **Avaliação da contaminação das águas dos mananciais do Utinga e dos rios Guamá e Aurá por metais pelo depósito de resíduos sólidos do Aurá**. Dissertação de Mestrado, Belém do Pará: PPGCA, UEPA. 2014. 88pp.

MATOS, F.O.; PINHEIRO, L. P.S.; MORALES, G. P.; VASCONCELOS, R.C.de.; MOURA, Q. L. de. **Influencia da maré na dissolução de poluentes gerados no depósito de resíduos sólidos da Região Metropolitana de Belém-PA**. Revista Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.13; 2011 pág. 1166 a 1176.

MORALES, G. P. **Avaliação ambiental dos recursos hídricos, solos e sedimentos na área de abrangência do Depósito de Resíduos Sólidos do Aurá**. Tese de Doutorado em Hidrogeoquímica. Centro de Geociências, UFPA. 2002. 350pp.

MORALES, G. P.; FENZL, N. **Environmental impact for of the deposit of solid waste of the “Aurá” Belém-PA**. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31. 2000.

OLAVO FILHO.; ANTÔNIO JUNIOR. **Avaliação hidrogeoquímica na área de abrangência do Parque Ambiental de Belém – PA**. Anais do IV Congresso de Pesquisa e Inovação de Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica (IV CONNEPI), Belém do Pará. 2009.

RIBEIRO, A.A. **Caracterização dos parâmetros de qualidade de água do Rio Aurá, Belém-Pará: Aplicação de índice de qualidade malasiano (DOE-IQA)**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação Profissional em Processos do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará (PPGEP/ITEC/UFPA), 2018, *no prelo*.

SANTO V.C.P. **Aurá de gentes, lixo e água: ação pública e rationalidades em confronto em Belém (PA)**. Revista de Direito da Cidade, 6 (1):65-89, 2014.

SANTOS, C.C. dos; SOARES, L. da S.; CORRÊA, J. A. M. **Occurrence and Sources of Priority Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediment Samples along the Aurá River (Northern Brazil)**. Revista Geochimica Brasiliensis 30(1): 26 - 32, 2016.

SANTOS, S. N.; LAFON, J. M.; CORRÊA, J. A. M.; BABINSKI, M.; DIAS, F. F.; TADDEI, M. H. T. **Distribuição e assinatura isotópica de Pb em sedimentos de fundo da foz do Rio Guamá e da Baía do Guajará (Belém - Pará)**. Revista, *Quim. Nova*, Vol. XY, No. 00, 1-8, 2011.

SILVA, L. M. da.; MORALES, G. P.; LIMA, A. M. M. de. **Avaliação da qualidade das águas superficiais dos mananciais do Utinga e dos Rios Guamá a Aurá, Belém do Pará**. Revista Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.18; pág. 3161 a 3179. 2014.

SIQUEIRA G.W., APRILE F. **Avaliação de risco ambiental por contaminação metálica e material orgânico em sedimentos da bacia do Rio Aurá, Região Metropolitana de Belém - PA**. Revista Acta Amazônica, 43(1):51-62. 2013.

SIQUEIRA G.W., APRILE F. **Indicadores de qualidade ambiental para a bacia do Rio Aurá sob influência de aterro sanitário descontrolado (Região Metropolitana de Belém, Brasil)**. II Seminário de Pesquisa em Meio Ambiente e Conservação (II SPMAC), de 16 à 18/11/2016. Livro E-Bock Digital - Educação Ambiental & Sustentabilidade na Amazônia - Cláudio Nahum Alves, Davi do Socorro Barros Brasil, Gilmar Wanzeller Siqueira, Edson Leandro de A. Silva, José Douglas da G. Melo e Renato Hilton da S. Reis (Organizadores). Belém do Pará: Editora da UFPA. ISBN: 978-85-63728-47-0/Vol. I, 1-307. 2017.

SIQUEIRA G.W., APRILE F., ALVES C.N., OLIVEIRA M.L., MENDES A.M., SANTOS V.C.D., RIBEIRO A.A., BENTES B.A. **Metal fractionation on fluvial bed sediments and the risk assessment for water supply (Amazonian–Brazil)**. Global Journal of Interdisciplinay Social Sciences, 3(2):93-102. 2014.

SIQUEIRA, G.W., APRILE F., DARWICH A., SANTOS V.C. DOS, MENEZES B.T.A. **Environmental Diagnostic of the Aurá River Basin (Pará, Brazil): Water Pollution by Uncontrolled Landfill Waste**. Archives of Current Research International 5(2):1-13, 2016a.

SIQUEIRA, G.W., MENEZES, B.T.A; ROSA, W.L; BENTES, B.A. **Indicadores da qualidade dos sedimentos do Rio Aurá e suas implicações ambientais (Região Metropolitana de Belém)**. Anais do IV Congresso Nacional de Educação Ambiental & VI Encontro Nordestino de Biogeografia. UFPB, João Pessoa, PB, 20 a 23 de abril de 2016. Livro E-Bock Digital - Educação Ambiental & Biogeografia / Giovanni Seabra (Organizador). Ituiutaba: Barlavento, 2016. ISBN: 978-85-68066-24-9, Vol. I, 1945-1957, 2360pp. 2016.

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE INTRÍNSECA A CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO EM SALVADOR DO SUL – RS

Jauana Marilise do Nascimento Riegel

Universidade Federal do Pampa
Caçapava do Sul – Rio Grande do Sul

Gabriel D'Ávila Fernandes

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria – Rio Grande do Sul

Pedro Daniel da Cunha Kemerich

Universidade Federal do Pampa
Caçapava do Sul – Rio Grande do Sul

José Luiz Silvério da Silva

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria - Rio Grande do Sul

sua composição de rochas basálticas e solo argiloso conceder impermeabilidade quando exposto à possíveis contaminantes realizadas na superfícies. A área urbana está localizada no maior ponto de média vulnerabilidade natural do aquífero, mostrando uma necessidade de maiores estudos sobre as atividades potencialmente poluidoras na região urbana do município.

PALAVRAS-CHAVE: Método GOD, Bacias hidrográficas, SIAGAS.

ABSTRACT: Groundwater has a big importance for the maintenance of ecosystems and for the subsistence of humankind; its exploitation without prior study makes it susceptible to external agents. The objective of this study was to evaluate the natural vulnerability of the aquifer belonging to the Serra Geral II System in the city of Salvador do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil, through the application of the GOD system. Information from 99 wells registered in the Groundwater Information System (SIAGAS) was used. From the preparation of the map of vulnerability, it was possible to define that the rural region has a low index of natural vulnerability of the aquifer due to its composition of basaltic rocks and clay soil to grant impermeability when exposed to possible contaminants carried out on the surfaces. The urban area is located at the highest point of the average natural vulnerability

RESUMO: A água subterrânea é de suma importância para manutenção dos ecossistemas e para subsistência da humanidade, sua exploração sem estudo prévio lhe torna suscetíveis a agentes externos. O estudo realizado tem como objetivo avaliar a vulnerabilidade natural do aquífero pertencente ao Sistema Serra Geral II no município de Salvador do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil, através da aplicação do sistema GOD. Foram utilizadas informações de 99 poços cadastrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). A partir da confecção do mapa de vulnerabilidade foi possível definir que a região rural possui um baixo índice de vulnerabilidade natural do aquífero por

of the aquifer, showing a need for further studies on potentially polluting activities in the urban area of the municipality.

KEYWORDS: Method GOD, River basins, SIAGAS.

1 | INTRODUÇÃO

A água subterrânea é responsável pela manutenção dos ecossistemas sendo encarregada pela retenção de umidade do solo, garantindo um fluxo de base dos cursos de água. Sua exploração sem estudos prévios pode vir a ocasionar contaminação por atividades antrópicas potencialmente poluidoras realizadas nas superfícies, tais como, postos de gasolina, saneamento básico precário, granjas avícolas entre outras.

O consumo demasiado das águas superficiais tanto para abastecimento humano quanto para os demais usos, tem gerado problemas como a contaminação desses mananciais ocasionando escassez deste recurso. Diante disso a água subterrânea pode ser uma alternativa para que sejam supridas as necessidades de uso, sendo que seu consumo de modo desenfreado pode vir a causar sérios problemas ambientais (BORBA *et. al.*, 2016).

Segundo Kemerich *et. al.* (2011) risco de poluição das águas subterrâneas consiste na associação e interação da vulnerabilidade natural do aquífero com a carga poluidora aplicada no solo ou em subsuperfície. Podendo assim haver uma situação de alta vulnerabilidade, porém, sem risco de contaminação caso não existir carga poluidora significativa, ou vice-versa. A carga poluidora pode ser controlada ou modificada; mas o mesmo não ocorre com a vulnerabilidade natural, que é uma propriedade intrínseca do aquífero.

Foster *et. al.* (2013) consideram que a vulnerabilidade do aquífero se destina a representar a variação do nível de proteção natural ou a capacidade de atenuação do contaminante na zona de solo insaturado ou zona de semi-confinamento da água, localizadas acima do aquífero. Essa contaminação advém de processos físicos e químicos (filtração, biodegradação, hidrólise, adsorção, neutralização, e volatilização dispersão).

O presente estudo tem por objetivo avaliar a vulnerabilidade natural do Aquífero à contaminação no município de Salvador do Sul, pertencente ao Sistema Serra Geral II.

2 | METODOLOGIA

2.1 Caracterização da Área em Estudo

O município de Salvador do Sul localiza-se na encosta inferior do nordeste do

Estado do Rio Grande do Sul entre as coordenadas geográficas de latitude sul 29°26' e a longitude oeste 51°30', com altitude média de 493 metros (Figura 1). Possuindo no ano de 2017 aproximadamente 7.434 habitantes em uma área territorial de 98.555 Km², segundo dados obtidos pelo IBGE (2010). A contribuição pelo setor primário equivale a 52,28 % da economia municipal, sendo o maior produtor de ovos do RS, destacando-se também a silvicultura, bovinocultura, suinocultura e piscicultura. Estabelecido na bacia hidrográfica do Rio Caí, o município representa aproximadamente uma área de 65 km².

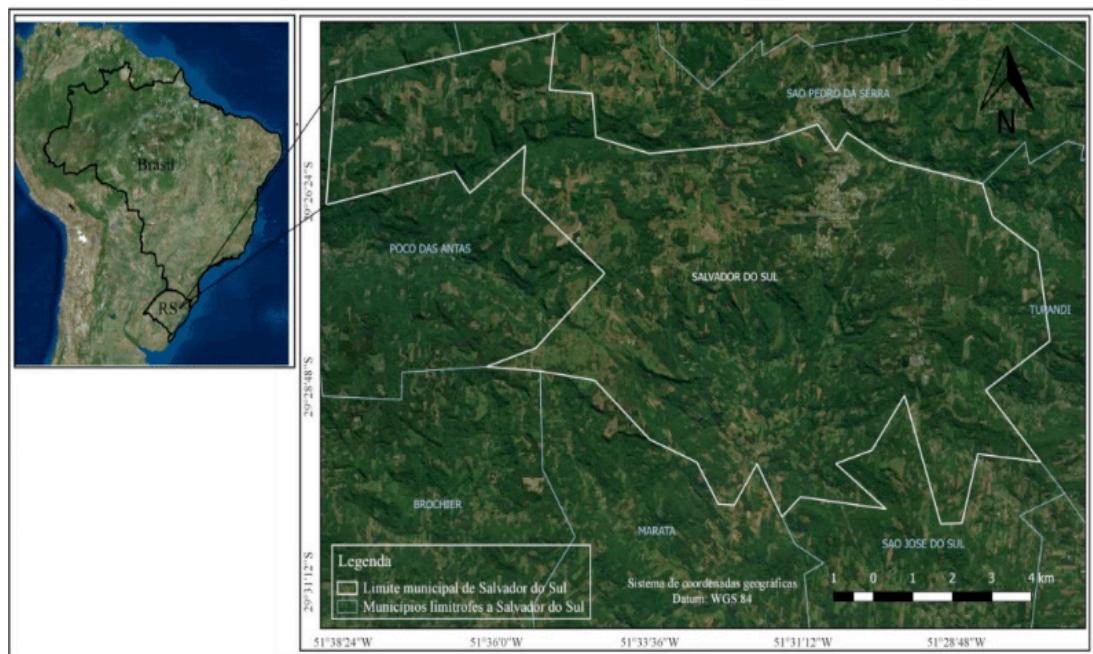


Figura 1 Mapa de Localização do Município de Salvador do Sul-RS.

Em relação à geologia a área de estudo pertencente à Província do Paraná, Formação Serra Geral, contexto onde predominam derrames de basaltos, basalto andesitos, riodacitos e riolito, de filiação toleítica, onde se intercalam arenitos intertrápicos Botucatu na base e litarenitos e sedimentos vulcanogênicos da porção mediana ao topo da seqüência. Correspondendo a Fácies Caxias tem sua característica pelos derrames de composição intermediária a ácida, riodacitos a riolitos, mesocráticos, microgranulares a vitrofíricos, textura esferulítica comum (tipo carijó), forte disjunção tabular no topo dos derrames e maciço na porção central, dobras de fluxo e auto brechas freqüentes, vesículas preenchidas predominantemente por calcedônia e ágata, fonte das mineralizações da região (CPRM, 2006), decorrente do período Cretáceo da era Mesozóico (~65,5 à 135 M.a).

A hidrogeologia local é correspondente ao Sistema Aquífero Serra Geral II, com média ou baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade por fraturas. Esse sistema está associado aos derrames de rochas vulcânicas da Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral com predominância geológica de basaltos fraturados, riodacitos e riolitos. Possuindo capacidade específica inferior a 0,5 m³/h/m, porém em

área com maiores fraturas, tem se o potencial capaz de chegar a 2 m³/h/m. Possuindo como característica valores de salinidade inferiores a 250 mg/L, conforme destaca Machado & Freitas (2005).

2.2 Obtenção dos Dados e Desenvolvimento dos Mapas

Para a elaboração do estudo foram utilizadas informações de 99 poços cadastrados no sistema SIAGAS que encontram-se disponíveis pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) do Sistema Geológico do Brasil. Utilizando informações de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM), nível estático, cota altimétrica e demais informações geológicas e hidrogeológicas disponíveis de interesse. Dentre esses 99 poços, foram usados dados dos municípios vizinhos de Salvador do Sul, sendo eles; Brochier, Maratá, Poço das Antas, São José do Sul, São Pedro da Serra e Tupandi, visando-se uma melhor espacialização dos dados nas regiões limítrofes.

O índice de vulnerabilidade é obtido a partir do produto das variáveis GOD (FOSTER, 2006), sendo assim; i) Grau de confinamento da água subterrânea; ii) Ocorrência de estratos de cobertura; iii) Distância da água subterrânea à superfície do terreno; obtém-se a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação, que pode ser classificada como: insignificante (valores entre 0 e 0,1); baixa (0,1 e 0,3); média (0,3 e 0,5); alta (0,5 e 0,7) e; extrema (0,7 e 1). Os resultados serviram como subsídio para elaboração do mapa de vulnerabilidade em mapas temáticos. (BORBA, 2016) Os resultados foram representados na forma de mapas com uso do softver QGis 2.14. Na interpolação das informações foi utilizado o método IDW (Inverse Distance Weighting) amplamente utilizado em estudos de vulnerabilidade pelos autores Borba *et. al* (2016) e Fernandes *et. al* (2016). Foi empregada a opção Grid Vector Map do software Surfer 8 (GONDEN SOFTWARE, 2002), ilustrando a superfície potenciométrica em forma de cartograma. Foi utilizado o sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) utilizando Datum Horizontal SIRGAS 2000, zona 22 sul.

3 | RESULTADO E DISCUSSÃO

A partir da aplicação do sistema GOD proposto por Foster (2006), o município de Salvador do Sul-RS apresentou predomínio das classes de baixa vulnerabilidade na área rural e média vulnerabilidade na área urbana, conforme a Figura 2. Sendo assim, consequentemente apresenta maior susceptibilidade à contaminação da água subterrânea a partir de atividades potencialmente contaminantes realizadas na superfície, como, por exemplo, descarte incorreto de resíduos sólidos, ausência de tratamento de efluentes sanitários, a contaminação em cemitérios ocasionados pela lixiviação devido ao necrochorume, a contaminação por descarte incorreto de rejeitos

pelas granjas de avicultura e suinocultura.

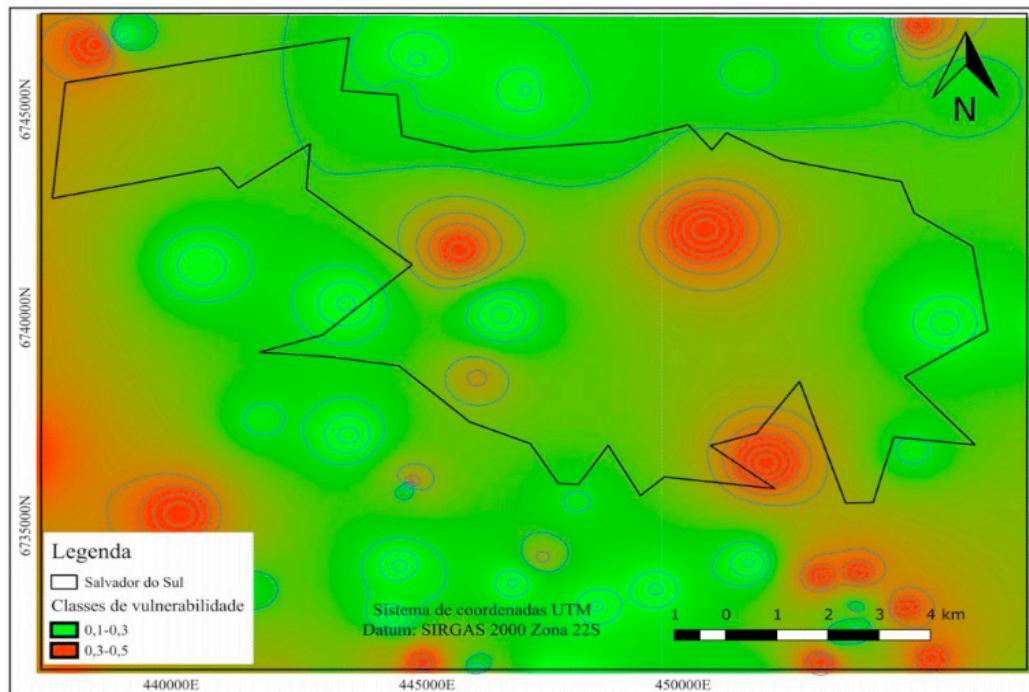


Figura 2 Mapa de Vulnerabilidade do Aquífero no município de Salvador do Sul-RS.

Em estudos elaborados por Fernandes *et al.* (2016) no município de Marau-RS, pertencente à formação Serra Geral, bem como Salvador do Sul-RS, houve um predomínio da classe de vulnerabilidade média, descendente de regiões que contêm rochas basálticas e produtos de intemperização. Deste modo, concede proteção natural ao aquífero devido ao grau de confinamento por camadas rochosas contendo com níveis da água profundos.

Em relação à Superfície Potenciométrica-SP foi elaborado um cartograma com tendência de fluxos da água subterrânea, conforme mostra a figura 3. Representando a carga total em um aquífero onde os menores valores de SP indicam as zonas de descarga já os maiores indicam as zonas de recarga do aquífero (MONTEIRO, 2003). Assim, na área de estudo, é possível identificar que as zonas de recarga (maiores valores) estão localizadas próximas a zona urbana, podendo ocasionar problemas relacionados à dispersão dos poluentes ao longo do perfil do solo e posterior contaminação do aquífero.

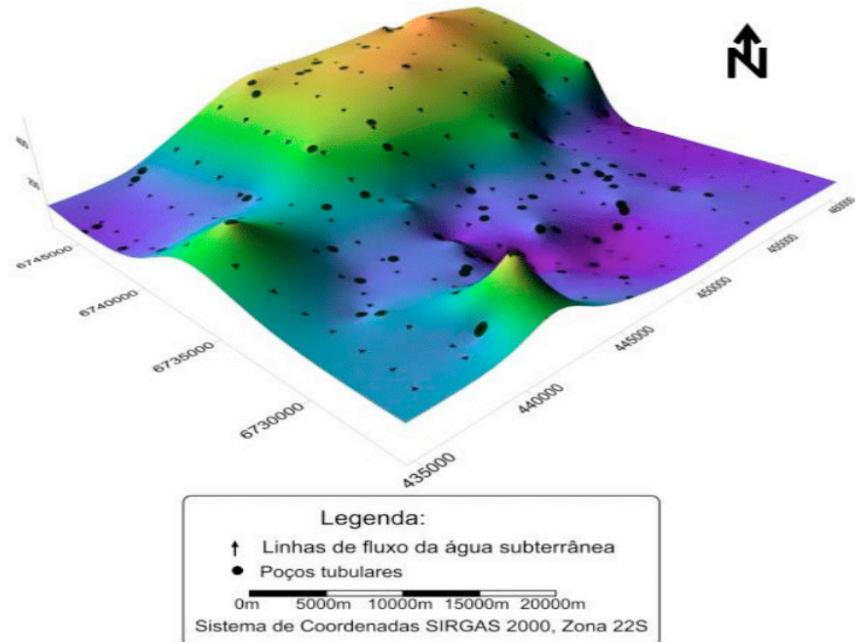


Figura 3 Cartograma da superfície potenciométrica e tendência de fluxos

Segundo Fernandes et al. (2017) as linhas de tendência mostram a direção do fluxo e o sentido da pluma em caso de contaminação. Denota-se que a topografia regional influencia diretamente a direção do fluxo subterrâneo havendo o direcionamento de contaminação das áreas de maior vulnerabilidade para as de menor.

4 | CONCLUSÃO

Avaliação da vulnerabilidade natural do aquífero variou de baixa a média vulnerabilidade em relação à contaminação. A aplicação do método GOD mostrou resultados satisfatórios para avaliação da vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação com os dados de 99 poços cadastrados no SIAGAS. Onde a partir do mapa de vulnerabilidade foi possível definir que a região rural possui um baixo índice de vulnerabilidade natural do aquífero por sua composição de rochas basálticas e solo argiloso conceder impermeabilidade quando exposto a possíveis contaminantes. A área urbana encontra-se onde predomina a classe de média vulnerabilidade natural do aquífero, mostrando uma necessidade de maiores estudos sobre as atividades potencialmente poluidoras na região urbana do município. Deve se destacar que o município apresenta atividades como avicultura e suinocultura, sendo que estão localizadas próximas ao perímetro urbano, representar um risco ambiental e sanitário para contaminação do solo e aquífero.

REFERÊNCIAS

BORBA, W. F.; FERNANDES, G. D. A.; TERRA, L. G.; LOBLER, C. A.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. *Assessment of the intrinsic vulnerability to contamination of the aquifer in river basin Passo*

Fundo of Rio Grande do Sul. Anuário do Instituto de Geociências (UFRJ. Impresso), 2016. p. 145-154.

CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. 2006. *Mapa geológico do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000*. Brasília.

KEMERICH, P. D. C.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; Descovi Filho, L. L. V.; Volpatto, F.; & Saucedo, É. M. 2011. **Determinação da vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea no bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro em Santa Maria–RS**. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, v. 8, n. 3.

FEPAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER. **Base Cartográfica Digital**. 2005. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp>. Acesso: 2 Jan. 2018

FERNANDES, G. D. A.; BORBA, W. F.; LASTA, L.; LOBLER, C. A.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. 2016. **Uso do sistema GOD para determinação da vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação em Marau - RS**. In: 5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, Bento Gonçalves - RS. Anais Vº Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente.

FERNANDES, G. D. A.; BORBA, W. F.; GANZER.E. P.; LOBLER, C. A.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. 2017. **Determinação da Vulnerabilidade Natural à contaminação do Aquífero e Superfície Potenciométrica em Taquaruçu do Sul- RS**. Geologia ambiental: tecnologias para o desenvolvimento sustentável /Organizador Eduardo de Lara Cardozo. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora.

FOSTER, S. HIRATA, R.; ANDREO, B. 2013. **The aquifer pollution vulnerability concept: aid or impediment in promoting groundwater protection?** Hydrogeology Journal. v 21, n 7, p. 1389-1392.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. 2006. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Washington, DC: World Bank, 114p.

GOLDEN SOFTWARE. 2002. **Surfer 8: User's guide**. Colorado: Gonden Software, 640p.

GOOGLE. Google Earth. Version Pro. 2018. **Imagens do município de Salvador do Sul-RS**. Disponível em:<https://earth.google.com/web/@-29.44258815,51.5122499,497.26828258a,4776.05927994d,35y,0h,45t,0r/data=CIIaUBJKCiUweDk1MWMwNWJjZjk2MWQyNWI6MHg5YzljOWRmMmVmNzcyZWFKGQN_U7NicT3Ala_8Q0R7wUnAKg9TYWx2YWRvcibkbyBTdWwYAiABKA>. Acesso em: 1 Jan. 2018.

Heath, R.C. 1983. **Basic Ground-water hidrology**. Virginia:USGS.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo demográfico 2010. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 1 Jan. 2018.

MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. 2005. **Projeto mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul: escala 1:750.000**, relatório final. Porto Alegre: CPRM.

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS INDICADORES DA QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS PARA FINS DE CONSUMO POTÁVEL NA CIDADE DE BELÉM-PA

Milene Pereira Mendes

Mestranda em Ensino de Ciências Ambientais
pela Universidade Federal do Pará. milene324@
hotmail.com

Ronaldo Lopes Rodrigues Mendes

Doutor em Desenvolvimento Sustentável do
Trópico Úmido pela Universidade Federal do
Pará. rlmendes@yahoo.com.br

RESUMO: Embora a Amazônia apresente grande disponibilidade de recursos hídricos, muitos moradores de Belém e do entorno sofrem com a falta de acesso a água potável. Neste contexto, é necessário que se busquem fontes alternativas de água potável para minimizar a problemática, visualizando-se assim, as águas pluviais como uma opção. Apesar da utilização da água da chuva para consumo potável ser promissora, enfrenta-se ainda resistência para sua adoção. Um dos pontos de resistência está vinculado à preocupação com a qualidade da água. Em face do exposto, o objetivo deste estudo é avaliar a qualidade das águas pluviais em área urbana, na cidade de Belém-PA, com base em parâmetros físico-químicos e microbiológicos, e verificar se os resultados estão de acordo com as normas estabelecidas pela Portaria nº 2.914/11 do Ministério da Saúde (MS), a fim de fornecer dados que subsidiem o tratamento adequado e aperfeiçoem sistemas

de aproveitamento das águas pluviais para fins de consumo potável. A pesquisa foi realizada em um protótipo de sistema de abastecimento instalado no Núcleo de Meio Ambiente-NUMA/UFPA. Os parâmetros avaliados foram: Temperatura, Turbidez, Cor aparente, Fluoreto, Cloreto, Sulfato, Nitrito, Nitrato, Dureza Total e *Escherichia coli*. Com base nos resultados obtidos, pôde-se inferir que o parâmetro biológico *Escherichia coli* encontra-se em desacordo com os padrões exigidos pela Portaria nº 2914/11 do MS. Neste sentido, as amostras em análise são recomendadas somente para o consumo não potável. Apesar das amostras oriundas do sistema em análise não serem indicadas para o consumo humano, em virtude da presença de agentes microbiológicos, quando desenvolvido um mecanismo de remoção desses agentes, a água tem potencial de se tornar potável, uma vez que os demais parâmetros em análise se encontram em consonância com a legislação vigente.

PALAVRAS-CHAVE: Águas pluviais. Qualidade da água. Potabilidade.

Área de Interesse do Simpósio: Recursos Hídricos.

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil configura-se virtuosamente como uma das maiores reservas de água, sendo detentor de 13,7% de toda água doce disponível no mundo, de acordo com a Agência Nacional das Águas-ANA (2014).

Por sua vez, a região amazônica é a que possui maior disponibilidade para uso dos recursos hídricos no país, representando o percentual de 68,5%, conforme a Secretaria de Estado de Meio Ambiente- SEMA (2014).

Embora a Amazônia apresente grande disponibilidade de recursos hídricos, contradiatoriamente, muitos moradores de Belém e do entorno sofrem com a falta de acesso a água potável. Neste contexto, Rosa (2011) ressalta que se devem procurar fontes alternativas de água potável, apontando as águas pluviais como uma opção.

Segundo Pereira (2014) a utilização da água da chuva é uma técnica antiga que foi perdendo expressão durante algum tempo em decorrência do desenvolvimento de técnicas para aproveitamento de águas subterrâneas e implementações de sistemas de abastecimento e irrigação encanada. Apesar disso, a autora destaca que a utilização da água da chuva tem sido utilizada por vários países em desenvolvimento e desenvolvidos, como meio de minimizar os impactos ambientais e a escassez de água.

Para Andrade Neto (2004) apesar de antiga, a captação e utilização de água de chuva é uma tecnologia moderna do ponto de vista de novos conceitos, técnicas construtivas e de segurança sanitária.

De acordo com os estudos da série histórica (1961-2016) do Instituto Nacional de Meteorologia estação Belém (INMET-BE), a média anual de precipitação na cidade é de 2986 mm. Diante do alto índice pluviométrico, vê-se o sistema de aproveitamento de água da chuva-SAAC para consumo potável como um método alternativo para amenizar a problemática local, além de configurar-se como uma técnica de desenvolvimento ambientalmente sustentável.

De acordo com Veloso e Mendes (2014) a técnica de aproveitamento das águas pluviais consiste em superfícies de captação, descarte do primeiro fluxo como barreira sanitária, armazenamento em reservatório e posterior distribuição.

Embora a utilização da água da chuva para consumo potável seja promissora, enfrenta-se ainda resistência para sua adoção. Um dos pontos de resistência está vinculado, dentre outros fatores, à preocupação com a qualidade da água. Apesar disso, estudos (HAGEMANN, 2009; HEIJNEN, 2012) apontam que as águas de origem pluviais em alguns casos podem ser melhores que as próprias águas superficiais e subterrâneas.

No Brasil não há legislação específica que estabeleça padrões de qualidade das águas pluviais para consumo potável, portanto, atualmente, os estudos de monitoramento da qualidade da água de chuva, para este fim, têm comparado os resultados a Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde (MS) que dispõe sobre o controle

e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Em face do exposto, o objetivo do presente estudo é avaliar a qualidade das águas pluviais em área urbana, na cidade de Belém-PA, com base em parâmetros físico-químicos e microbiológicos, e verificar se os resultados estão de acordo com as normas estabelecidas pela Portaria nº 2.914/11 do MS, a fim de fornecer dados que subsidiem o tratamento adequado e aperfeiçoem sistemas de aproveitamento das águas pluviais para fins de consumo potável.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O lócus da pesquisa se deu no Núcleo de Meio Ambiente (NUMA) da Universidade Federal do Pará (UFPA), a qual se localiza na cidade de Belém-PA. A definição da área de estudo ocorreu em virtude do NUMA possuir instalado nas suas dependências um sistema de captação e aproveitamento da água da chuva.

2.2 ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO DO SAAC

A estrutura do sistema de captação e aproveitamento da água da chuva instalado no NUMA (Figura 1), se dá através de uma superfície de captação (telhado), posteriormente, a água é transportada por calhas aos tubos condutores até ser retida e armazenada no reservatório com capacidade de 2000L.

No intuito de melhorar a qualidade da água captada, o sistema conta ainda com um mecanismo de descarte do primeiro milímetro de água, também chamado de fluxo inicial, uma vez que a primeira chuva é a que, normalmente, apresenta uma maior carga de poluentes.

Posterior ao armazenamento no reservatório, a água é distribuída e seu aproveitamento ocorre nos banheiros (vaso sanitário e mictório) do prédio de aula do NUMA. Uma meta futura é desenvolver técnicas neste sistema que possibilitem o aproveitamento das águas pluviais para fins de consumo potável.



Figura 1- Sistema de captação da água da chuva instalado no NUMA.

Fonte: Autores, 2016.

2.3 AMOSTRA

Para avaliar a qualidade da água pluvial foi utilizada como forma de amostragem a água do reservatório de armazenamento. O intuito da coleta no reservatório de armazenamento foi verificar a qualidade da água do sistema antes da distribuição.

2.4 COLETAS DE DADOS

Foram realizadas três eventos de coletas, entre Novembro de 2016 e Janeiro de 2017. O primeiro evento (1) sucedeu dia 23/11/16 entre 9h: 15min-9h: 20 min. O segundo evento (2) sucedeu dia 20/12/16 entre 8h: 15min. -8h: 24min. O último evento (3) sucedeu 19/01/2017 entre 8h: 20 min. -8h: 26 min.

O procedimento adotado para coletas das amostras referentes aos parâmetros físico-químicos foi esterilização dos recipientes plásticos de 1L com sabão líquido neutro, seguidos de água deionizada e após secagem aplicação de álcool etílico 70%.

Para coleta das amostras referente aos parâmetros microbiológicos, utilizou- se o kit Coliteste®, onde os recipientes de plásticos são de 100 mL e já se encontravam esterilizados.

Nas coletas referentes aos parâmetros físico-químicos e microbiológicos o procedimento ocorreu utilizando luvas esterilizadas para evitar contaminação das amostras. Após realização das coletas, as amostras foram imediatamente encaminhadas para análises laboratoriais.

2.5 ANÁLISE DE DADOS

Os parâmetros em análise foram: Temperatura, Turbidez, Cor aparente, Fluoreto, Cloreto, Sulfato, Nitrito, Nitrato, Dureza Total, Coliformes Totais e *Escherichia coli*.

As análises sucederam-se em parceria com o Instituto Evandro Chagas (IEC) através do Laboratório de Toxicologia da Seção de Meio Ambiente, o qual utilizou métodos oficiais e em conformidade aos padrões de potabilidade presente na Portaria nº 2.914/11 do MS.

Os resultados obtidos receberam tratamento estatístico através do Excell 2010, os quais deram origem a tabela que compõem os resultados.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item são apresentados os valores médios obtidos referentes às análises laboratoriais dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas pluviais.

Parâmetros	Unidade	Evento 1	Evento 2	Evento 3	VMP MS 2914/11
Temperatura	°C	24,3	24,9	25,5	Amb.
Turbidez	uT	2	1	2	5
Cor aparente	uH	16	10	12	15
Fluoreto	mg/L	0,142	<LP	<LP	1,5
Cloreto	mg/L	2,733	6,512	20,25	250
Sulfato	mg/L	1,457	2,856	6,000	250
Nitrito	mg/L	<LD	<LD	0,006	1
Nitrato	mg/L	8,566	1,886	0,750	10
Dureza total	mg/L	1,592	8,439	2,400	500
<i>Escherichia coli</i>	VMP 100mL	Presente	Presente	Presente	Ausente

<LD: Abaixo do limite de detecção;

VMP: Valor Máximo Permitido.

Tabela 1- Resultados das análises de amostras de águas pluviais coletadas do reservatório de armazenamento.

Fonte: IEC, 2016-2017.

3.1 TEMPERATURA

Os valores obtidos de temperatura variaram de 24,3 a 25,5 °C. Sendo assim, as amostras encontram-se dentro do padrão estabelecido pela Portaria nº 2914/11 do MS, que define a temperatura padrão ambiente.

A temperatura é responsável por medir a intensidade de calor e influencia uma série de variáveis físico-químicas e biológica, como alcalinidade, salinidade, oxigênio dissolvido, dentre outros.

3.2 TURBIDEZ

Os valores obtidos de turbidez variaram de 1 a 2 uT. Neste sentido, as amostras encontram-se dentro do padrão estabelecido pela Portaria nº 2914/11 do MS que adota um VMP de 5 uT para turbidez.

A turbidez é responsável por medir o grau de alteração diante a penetração da luz através da água. Normalmente, essas alterações são decorrentes de sólidos em suspensão e provocam difusão e absorção de luz na água.

3.3 COR APARENTE

Os valores obtidos para cor aparente variaram de 10 a 16 uH. Assim, com exceção da amostra do evento 1 que apresentou o valor de 16 uH, as demais amostras encontram-se dentro do padrão estabelecido pela Portaria nº 2914/11 do MS que adota um VMP de 15 uH para cor aparente.

Adota-se como hipótese para a cor elevada no evento 1 o baixo índice pluviométrico em relação ao demais eventos, o que pode ter gerado um acúmulo de sólidos na superfície da captação.

A cor aparente é resultado de uma quantidade elevada de sólidos dissolvidos nas águas, que quando removidos revelam a cor verdadeira.

3.4 FLUORETO (F⁻)

O maior valor obtido para fluoreto foi de 0,142 mg/L, sendo os demais resultados <LD. Portanto, as amostras encontram-se dentro do padrão estabelecido pela Portaria nº 2914/11 do MS que adota um VMP de 1,5 mg/L para fluoreto.

Os fluoretos (F⁻) são as formas mais abundantes a partir da reação do flúor com outras sustâncias. É comum encontrar fluoreto em águas naturais, sendo que concentrações elevadas, normalmente, estão associadas com fontes subterrâneas.

3.5 CLORETO (Cl⁻)

Os valores obtidos para cloretos variaram de 2,733 a 20,25 mg/L. Deste modo, as amostras encontram-se dentro do padrão estabelecido pela Portaria nº 2914/11 do

MS que adota um VMP 250 mg/L para cloreto.

Os íons cloretos (Cl^-) indicam a dissolução de sais de origem, normalmente, mineral, esgotos domésticos, efluentes industriais e agrícolas ou ainda intrusão de água do mar.

3.6 SULFATO

Os valores obtidos para sulfatos variaram de 1,457 a 6,000 mg/L. Assim, as amostras encontram-se dentro do padrão estabelecido pela Portaria nº 2914/11 do MS que adota um VMP de 250 mg/L para sulfato.

Os íons sulfatos (SO_4^{2-}), normalmente, se apresentam na água na forma de sólidos dissolvidos e sua presença pode indicar a decomposição da matéria orgânica.

3.7 NITRITO E NITRATATO

Os valores obtidos para nitrito e nitrato variaram entre, respectivamente, o maior valor de 0,006 mg/L, sendo os demais resultados abaixo do <LD e 0,750 a 8,566 mg/L. Apesar do valor de nitrato ter se mostrado elevado no evento 1 em relação aos demais, todas as amostras encontram-se dentro do padrão estabelecido pela Portaria nº 2914/11 do MS que adota um VMP de 1 mg/L para nitrito e 10 mg/L para nitrato.

Adota-se como hipótese para elevação de nitrato no evento 1, ainda que esteja dentro do valor permitido pela legislação, o baixo índice pluviométrico em relação ao demais eventos, o que pode ter gerado um acúmulo de matéria orgânica e sua posterior decomposição.

O nitrogênio é um macro nutriente para processos biológicos, na água é encontrado nas formas de nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-) e n-amonical como amônia livre (NH_3) ou amônio ionizado (NH_4^+). Sua presença em altas concentrações auxilia na proliferação de algas e indica poluição.

3.8 DUREZA TOTAL

Os valores obtidos para dureza total variaram de 1,592 a 8,439. Neste sentido, as amostras encontram-se dentro do padrão estabelecido pela Portaria nº 2914/11 do MS que adota um VMP de 500 mg/L. Além disso, as amostras em análises, quanto o grau de dureza, são oriundas de águas classificadas como moles ou branda.

A dureza total indica a soma da dureza temporária com a permanente. As durezas das águas podem variar em moles quando está inferior a 50 mg/L em CaCO_3 , moderada entre 50 a 150 mg/L em CaCO_3 , dura entre 150 a 300 mg/L em CaCO_3 e muito dura quando está superior a 300 mg/L em CaCO_3 .

3.9 *ESCHERICHIA COLI*

Com base nas análises das amostras, pôde-se verificar que todas acusaram presença de *Escherichia coli* em 100 mL de água. Assim, as amostras encontram-se fora do padrão estabelecido pela Portaria nº 2914/11 do MS que determina a ausência de *Escherichia coli* em 100 mL de água.

Mesmo em avaliações de água da chuva realizadas com amostras diretamente da atmosfera, como foi o caso da pesquisa de Hagemann e Gastaldini (2016), houve presença de *Escherichia coli*. Assim, a presença de *Escherichia coli* nas amostras pode ser tanto em decorrência de seu contato com a atmosfera como da própria limpeza do SAAC.

Escherichia coli são bactérias do grupo coliforme termotolerantes, isto é, possuem alta capacidade de proliferação em temperaturas entre 35°C e 37°C e, normalmente, são oriundas de fezes humanas e animais, sendo algumas espécies patogênicas desencadeadoras de doenças como disenteria bacilar, febre tifoide e cólera.

Rosa (2011) observou em sua pesquisa sobre a qualidade da água da chuva que a filtração lenta é um processo eficiente na remoção do grupo *Escherichia coli*, sendo frequente a completa remoção. No entanto, por medidas de segurança sanitária o mesmo recomenda um sistema adicional de desinfecção.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, pôde-se inferir que os parâmetros Temperatura, Cor aparente (exceção evento 1) Turbidez, Fluoreto, Cloreto, Sulfato, Nitrito, Nitrato e Dureza Total encontram-se de acordo com os padrões exigidos pela Portaria nº 2914/11 do MS.

O parâmetro biológico *Escherichia coli* encontra-se em desacordo com os padrões exigidos pela Portaria nº 2914/11 do MS. Neste sentido, as amostras em análise são recomendadas somente para o consumo não potável.

Apesar das amostras oriundas do sistema em análise não serem indicadas para o consumo humano em virtude da presença de agentes microbiológicos, quando desenvolvido um mecanismo de remoção desses agentes, a água tem potencial de se tornar potável, uma vez que os demais parâmetros em análise encontram-se em consonância com a legislação vigente.

Neste sentido, recomendam-se métodos extras de desinfecção no modelo de SAAC desenvolvido, como adição de cloro que se configura como um agente microbiano e adição de filtração lenta, esta última apresentando-se em demais trabalhos como método eficaz na remoção de bactérias.

REFERÊNCIAS

ANA- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUA. **A Água no Planeta para crianças: A Distribuição de Água no Mundo.** 2014.

ANDRADE NETO, C. O. A. **Proteção sanitária das cisternas rurais.** In: XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.2004, Natal-RN. 1 CD-ROM.

HAGEMANN, S. E.; GASTALDINI, M. C. C. Variação da qualidade da água de chuva com a precipitação: aplicação à cidade de Santa Maria – RS. In: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** v. 21, n.3, p. 225-236, jul/set. 2016

HEIJNEN, H. **A Captação de Água da Chuva: Aspectos de Qualidade da Água, Saúde e Higiene.** In: 8º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água da Chuva. 2012, Campina Grande-PB.

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. Dados de 2017. Disponível em:< http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/gera_serie_txt_mensal>. Acessado em: 23 dez. 2016.

PEREIRA, A. P. **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA.** 28 f. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Química), Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2014.

ROSA, R. G. **APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA CONSUMO POTÁVEL - ESTUDO DE CASO: MUNICÍPIO DE BELÉM-PA.** 115 f. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Pará, Belém, 2012

SEMA- SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE. **Gestão das águas:** por um futuro sustentável. Belém:SEMA, 2014.

VELOSO, Nircele da Silva Leal; MENDES, Ronaldo Lopes Rodrigues. Aproveitamento da Água da Chuva na Amazônia: Experiências nas Ilhas de Belém/PA. in: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** v. 19, n.1, p. 229-242, jan/mar. 2014. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/7087a6f8be4e95fce5f6369872da77d4_4c22a6bbe0101a10b45df3f5e7543596.pdf> Acesso em: 27 dez. 2016.

DETERMINAÇÃO DA CURVA CHAVE PARA UM TRECHO DO RIO DA PRATA-RS

Franciele Priori

Universidade de Caxias do Sul
Caxias do Sul - RS

Sara Regina Sperotto

Universidade de Caxias do Sul
Caxias do Sul - RS

Taison Anderson Bortolin

Universidade de Caxias do Sul
Caxias do Sul – RS

ABSTRACT: The determination of the key curve of a river basin is an important instrument for the management of water resources. It represents the ratio x ratio of a cross section, where from a given height of water depth it is possible to calculate the corresponding flow rate. It is an indirect measure of flow, which offers reduced time and costs with equipment and professionals. The present work presents the key curve obtained from a stretch of Rio de la Plata, located in the municipality of Nova Prata - RS. For the elaboration of the key curve was used the data of historical series referring to the fluvimetric station 86420000 - Ponte do Prata. The results obtained are confident ($R^2 = 0.98$), and the key curve is satisfactory.

KEYWORDS: Hydrologic Studies. Flows. Rating Curve.

1 I INTRODUÇÃO

O ciclo hidrológico é um processo dinâmico, governado por processos aleatórios, como a precipitação. Para caracterizar o comportamento hidrológico de um curso d'água ou de uma bacia não basta dispor de uma medição de vazão, mas sim de uma série de medições (COLLISCHONN; TASSI, 2011). A caracterização e monitoramento dos corpos

RESUMO: A determinação da curva chave de uma bacia hidrográfica é um importante instrumento para o gerenciamento dos recursos hídricos. Ela representa a relação cota x vazão de uma seção transversal, onde a partir de uma determinada altura de lámina d'água é possível calcular a vazão correspondente. É uma medida indireta de vazão, o que oferece tempo e custos reduzidos com equipamentos e profissionais. O presente trabalho apresenta a obtenção da curva chave de um trecho do Rio da Prata, localizado no município de Nova Prata - RS. Para a elaboração da curva chave foi utilizado os dados de séries históricas referente ao posto fluviométrico 86420000 – Ponte do Prata. Os resultados obtidos são confiantes ($R^2 = 0,98$), sendo a curva chave satisfatória.

PALAVRAS-CHAVE: Estudos Hidrológicos. Vazões. Curva Chave.

hídricos é fundamental para conhecer o comportamento das variáveis hidrológicas. Segundo Adami et al. (2013), os recursos hídricos, situados em pequenas bacias, precisam ser geridos criteriosamente no intuito de resolver os diversos conflitos gerados pelo crescimento demográfico e ocupação solo.

Os dados de vazão são indispensáveis para o planejamento dos recursos hídricos, previsão de cheias, gerenciamento de bacias hidrográficas, saneamento básico, abastecimento público e industrial, navegação, irrigação, transporte, meio ambiente e muitos outros estudos de grande importância científica e socioeconômica (IBIAPINA, 2007).

Conforme Clarke (2002), a importância dos dados de vazão é para previsão de vazões futuras e para estimar a frequência de ocorrência de eventos futuros que possam dificultar o gerenciamento dos recursos hídricos. As baixas vazões podem prejudicar a produção de energia e sistemas de irrigação, enquanto as enchentes podem danificar infraestruturas. As técnicas hidrológicas utilizadas para a estimativa das frequências de eventos futuros se baseiam na suposição crítica de que a frequência de um evento no passado será a mesma no futuro. Por isso, é tão importante o monitoramento de vazões extremas assim como a aplicação de técnicas estatísticas apropriadas, a fim de detectar possíveis tendências nas séries de dados.

Com o uso de equipamentos como ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) e molinetes é possível determinar a vazão de um rio de forma direta, porém é trabalhoso e de custo elevado. Logo, o registro dos níveis da água é uma opção para determinada seção transversal do rio onde pode-se determinar uma relação entre vazão e cota chamada de curva chave. Utilizando as variações de níveis, o monitoramento da vazão do rio torna-se muito mais simples, rápido e com um custo menor.

A medição da vazão de um curso d'água é um processo complexo que envolve equipamentos e técnicos especializados. Não sendo economicamente viável a realização de medições de vazões de forma contínua, de modo a permitir ao hidrólogo o conhecimento pleno do regime fluvial dos rios, estas medições são feitas de forma esporádica, procurando-se definir uma relação entre o nível d'água e a vazão, de tal forma que a partir da medida da cota limimétrica se obtenha a vazão correspondente. A relação entre estas variáveis, cota e vazão, é denominada curva chave (ELETROBRÁS, 2000).

Nesse sentido, este trabalho buscou determinar a curva chave para o Rio da Prata, junto ao posto pluviométrico 86420000, latitude -28.6775° e longitude -51.6081° - Ponte do Prata, localizado na bacia hidrográfica Taquari-Antas. O ajuste da curva chave foi realizado através da representação gráfica, de onde empiricamente se obtém pares de pontos. Esse processo de ajuste não é único, pois a relação entre as duas variáveis não é perfeitamente unívoca, ou seja, sofre modificações ao longo do tempo.

2 | METODOLOGIA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A sub bacia hidrográfica onde está inserido o Rio da Prata, faz parte da região hidrográfica do Atlântico Sul. O ponto de estudo é sobre o posto fluviométrico do Prata, em Nova Prata, sendo que sua localização foi obtida através do site Hidroweb.

2.2 FLUVIOMETRIA

Os dados de vazão utilizados para compor a curva chave, referentes ao local de estudo, foram extraídos software Hidro 1.3. Para este estudo, foram utilizados dados de uma série histórica de 47 anos, referente ao período de 1959 até 2006, totalizando 174 medições de cotas e vazões.

Em posse dos dados de cotas e vazões, foi possível estabelecer a equação da curva chave, conforme Equação 1.

$$Q = a \cdot (h - h_0)^b \quad (1)$$

Onde:

Q = vazão calculada (m^3/s);

h = leitura de régua correspondente à vazão Q (cm);

h_0 = leitura de régua correspondente à vazão (cm);

a e b = parâmetros ajustados pelo critério de erros mínimos quadrados.

Este tipo de equação é preferida porque se assemelha ao tipo de relação entre nível de água e vazão encontrado em equações de escoamento em regime permanente e uniforme, como as fórmulas de Manning e Chezy (COLLISCHONN; TASSI, 2011).

Através do método dos mínimos quadrados, foram calculados os parâmetros b e a , de acordo com as Equações 2 e 3, respectivamente.

$$b = \frac{(N \sum_{i=1}^N (X_i Y_i)) - [(\sum_{i=1}^N X_i) \cdot (\sum_{i=1}^N Y_i)]}{(N \sum_{i=1}^N X_i^2) - (\sum_{i=1}^N X_i)^2} \quad (2)$$

Onde:

$$X_i = \ln(h_i - h_0)$$

$$Y_i = \ln(Q_i)$$

$$\ln(a) = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (3)$$

Onde:

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i)}{N}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i)}{N}$$

O valor de h_0 foi ajustado através da ferramenta Solver do Excel, visando encontrar um Coeficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe (Equação 4) próximo de 1.

$$CN = 1 - \left(\frac{\sum (Q_{observada} - Q_{calculada})^2}{\sum (Q_{observada} - Q_{média\ observada})^2} \right) \quad (4)$$

Segundo Collischonn (2011), não existe uma forma ideal de encontrar o valor de h_0 . Uma primeira aproximação pode ser obtida encontrando o ponto mais baixo da seção transversal, porque se a seção transversal estiver completamente seca, a vazão no rio obviamente será zero. Depois disso, o valor de h_0 pode ser alterado por pequenos incrementos e os valores de a e b são reajustados sucessivamente, até que se obtenha um mínimo no somatório de desvios ao quadrado, ou até que, numa análise visual do gráfico da curva chave e dos dados, a equação encontrada seja considerada satisfatória.

A curva chave de um rio pode sofrer alterações com o passar dos anos. A construção de ponte e aterros, também podem modificar a curva chave. Se faz necessário medições de vazão regulares, mesmo após a curva ser definida.

3 | RESULTADOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Através dos estudos realizados na sub bacia, verificou-se que a mesma possui uma área de drenagem de 316,83 Km² e está inserida na bacia do Rio Taquari-Antas. Possui um coeficiente de compacidade de Gravelius de 1,94 e uma relação circular de 0,27, demonstrando que a bacia apresenta menor tendência às enchentes. O formato da bacia é importante, pois influencia no tempo de transformação da chuva em escoamento.

A Figura 1 mostra a bacia hidrográfica compreendida pelo estudo, juntamente com a rede de drenagem e a localização do posto fluviométrico.

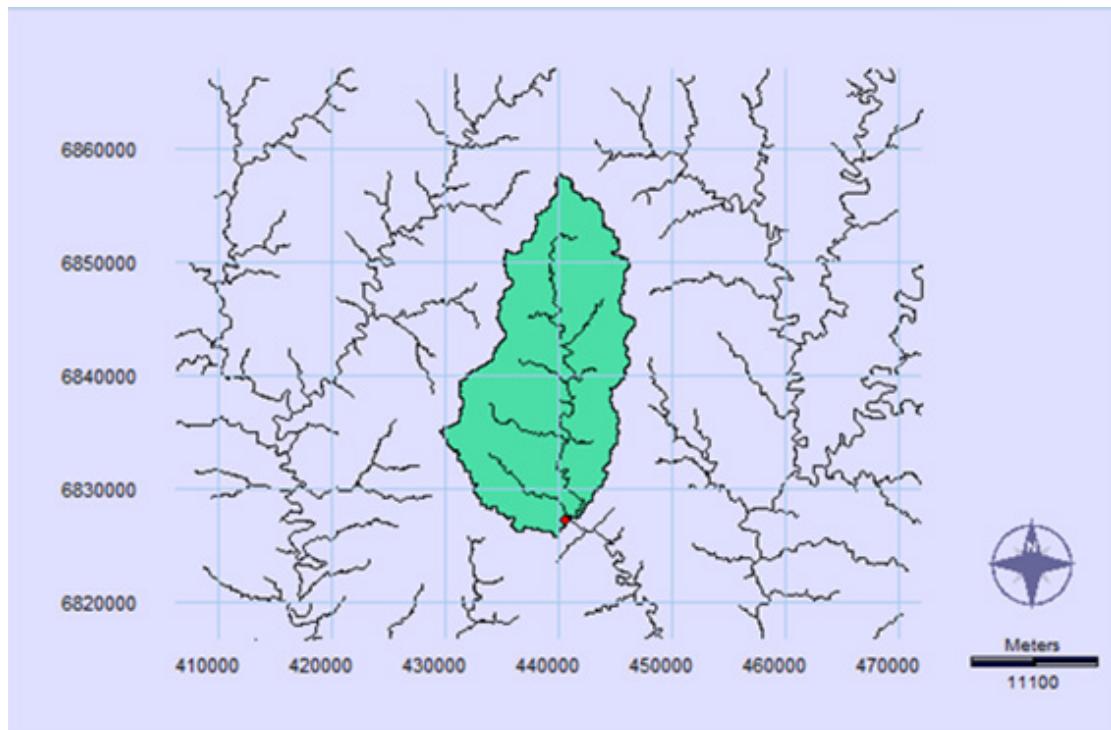


Figura 1 – Área de estudo

Fonte: Autores, 2017.

3.2 FLUVIOMETRIA

A fluviometria se destina as medições de vazões dos rios. Uma estação fluviométrica se localiza em uma seção do rio, composta por réguas limimétricas e níveis de água. As características da seção transversal definida pela estação variam com o nível d'água na mesma.

Os resultados da curva chave são utilizados nos estudos de vazões extremas, máximas e mínimas. A série de vazões a ser utilizada pode ser diária, mensal ou anual conforme o objetivo do uso da curva.

Para o local em que está sendo realizado o estudo, foram encontrados os valores de para o parâmetro a, 1,69 para o parâmetro b, 62,09 cm para o h_0 e 0,986 para o Coeficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe. Com estes valores, foi possível determinar a equação da curva chave para a área de estudo, a qual é apresentada abaixo.

$$Q = 2,87 \times 10^{-2} (h - 62,095)^{1,69}$$

A Figura 2 mostra a curva chave gerada a partir de regressão polinomial, relacionando os valores de vazões medidas e calculadas e suas respectivas cotas.

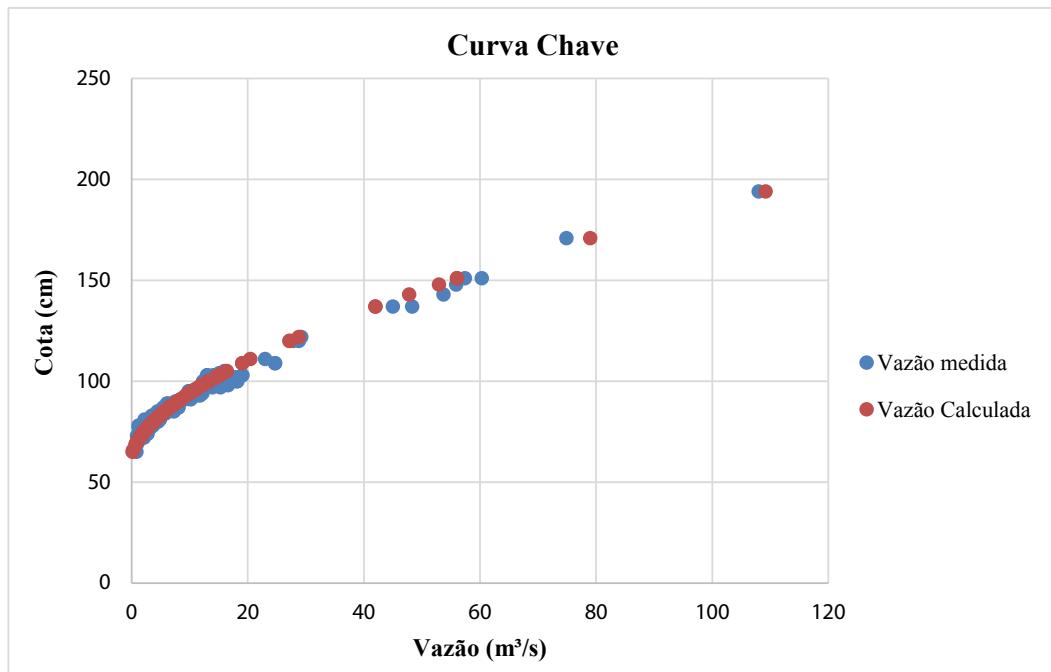


Figura 2 – Curva chave

Fonte: Autores, 2017.

A curva chave, representada pela Figura 2, apresentou um coeficiente de determinação, R^2 , de 0,98, o que indica que 98% das variações dos valores de vazão são esclarecidos pelo modelo adotado, ou seja, um valor elevado, logo pode-se verificar que não há variação significativa entre os valores medidos em campo e as vazões calculadas com o ajuste.

Conforme Filho (2003), a interpretação e análise das curvas chave devem considerar todas as informações disponíveis, pesquisando-se históricos e relatórios de inspeção, alterações da posição das réguas e das seções transversais, e possíveis mudanças das condições de escoamento nas proximidades das estações.

Mesmo com a definição da curva chave, deve-se considerar que o curso d'água pode sofrer alterações com o tempo, dependendo do material do leito, uma vez que a curva representa a relação entre a vazão e a cota considerando as características hidráulicas e geométricas da seção transversal do rio.

4 | CONCLUSÃO

Com base nos estudos hidrológicos realizados na sub-bacia do Taquari-Antas, referentes ao exutório considerado, é possível afirmar que:

- A série histórica possui um período considerável de dados para projeção da curva chave, o que resulta numa maior representatividade contemplando anos com precipitações acima ou abaixo da média histórica e precipitações normais.

- A equação ajustou-se melhor às cotas que variam de 50 cm a 150 cm;
- Não há variação significativa entre os valores medidos em campo e as vazões calculadas para cotas acima de 150 cm, logo a curva possui um bom ajuste;
- Há mais medições de vazão na faixa de cotas de vazões mais baixas, pois as vazões altas ocorrem apenas durante as cheias e, podem não coincidir com os dias programados para medição, além de poderem ser bastante rápidas;
- Mesmo após a definição da curva chave as medições de vazões devem ser regulares, pois a seção do rio pode se alterar com o tempo e, consequentemente modificar a curva;
- A curva chave é uma alternativa menos trabalhosa e mais viável ao se comparar com outros recursos de medições de vazões;
- A curva chave para o trecho do Rio da Prata em estudo, é descrita pela equação .

REFERÊNCIAS

ADAMI, Marcio Vicente Duarte et al. CURVA CHAVE – ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO SEPULTURA, CAXIAS DO SUL – RS. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Bento Gonçalves. nov. 2013. Disponível em: <http://www.samaecaxias.com.br/Upload/Paginas/Pagina/b61604c5-b77e-4c5a-bc3b_997014032f5b.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. 2000. 458 p. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/eletrobra_s_diretriz_projeto_PCH.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2017.

BRUSA L.C.; CLARKE R.T. **Erros envolvidos na estimativa da vazão máxima utilizando curva-chave**. Caso de estudo: bacia do rio Ibicuí-rs. Revista Brasileira de Recursos Hídricos Vol. 4, nº 3, 1999.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R.. **Introduzindo hidrologia**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas. UFRGS, 2011.

FILHO, D.P.; SANTOS, I. dos; FILL, H.D. **Sistema de Ajuste e Extrapolação de Curva de Descarga – Stevens**” in Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba – Paraná, 23 a 27 de novembro de 2003.

IBIAPINA, A.V. ; FERNANDES, D. CARVALHO, D.C.; OLIVEIRA, E.; SILVA , M.C.A.M.; GUIMARÃES, V.S. **Evolução da hidrometria no Brasil**. Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2007. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo/publica/doc/oestado/texto/121-138.html>>. Acesso em: 10 de jan. de 2018.

EROSÃO HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO PEIXE, SÃO PAULO, BRASIL

Gerson Salviano de Almeida Filho

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas,
Tecnólogo Civil, MSc
(11) 3767-4643, gersaf@ipt.br

Zeno Hellmeister Júnior

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas,
Geólogo, MSc
(11) 3767-4643, zenohell@ipt.br

Peixe. Uma de suas principais consequências é o carreamento de sedimentos para os cursos d'água que, com sua deposição, provocam o assoreamento dos rios, córregos, ribeirões, reservatórios de abastecimento e hidrelétrica, além de comprometer a quantidade e qualidade dessas águas. Este trabalho aborda um quadro amplo da suscetibilidade à erosão hídrica na bacia do Rio do Peixe.

PALAVRAS-CHAVE: Erosão do Solo; Rio do Peixe; Suscetibilidade à erosão.

ABSTRACT: The Water Resources Management Unit of Rio do Peixe - UGRHI 21 (State Policy for Water Resources - Law 7663/91) of the State of São Paulo, Brazil, corresponds, almost entirely, the Rio do Peixe catchment area. It has an area of 10,769 km², which comprises 38 municipalities, and an estimated population of approximately 450 thousand inhabitants. The basin presents serious problems of the water resources management, most of them resulting from inefficient policies of poor land use and occupation management in rural and urban areas, lack of resources to improve drainage and sanitation conditions, difficulty in implementing soil conservation practices, among others. In general, the degradation situation, was identified in several previous studies, it is observed that water erosion and silting are among the serious problems that affect the Peixe Basin. One of its

RESUMO: A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio do Peixe – UGRHI 21 (Política Estadual de Recursos Hídricos – Lei 7663/91) do Estado de São Paulo, Brasil, corresponde, quase que integralmente, à bacia hidrográfica do Rio do Peixe. Possui uma área de 10.769 km², da qual fazem parte 38 municípios, uma população estimada de aproximadamente 450 mil habitantes. A bacia apresenta graves problemas referentes à gestão dos seus recursos hídricos, sendo grande parte deles decorrentes de políticas ineficientes da má gestão do uso e ocupação do solo na área rural e urbana, da falta de recursos para melhoria das condições de drenagem e saneamento, da dificuldade de se implantar práticas de conservação do solo, entre outros. Em linhas gerais, conhecendo a situação da degradação, a partir de diversos estudos realizados anteriormente, observa-se que a erosão hídrica e assoreamento estão entre os graves problemas que afetam a Bacia do

main consequences is the transport of sediments to the watercourses that, through their deposition, provoke the silting up of rivers, streams, streams, reservoirs of supply and hydroelectric, as well as compromising the quantity and quality of these waters. This work deals with a comprehensive general framework of the susceptibility to water erosion in the Rio do Peixe basin.

KEYWORDS: Soil erosion; Peixes's River; Erosion Susceptibility

11 INTRODUÇÃO

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio do Peixe – UGRHI 21 (Política Estadual de Recursos Hídricos – Lei 7663/91) do Estado de São Paulo, Brasil, corresponde, quase que integralmente, à bacia hidrográfica do Rio do Peixe. Possui uma área de 10.769 km², da qual fazem parte 38 municípios, uma população estimada de aproximadamente 450 mil habitantes (Figura 1).

A bacia apresenta graves problemas referentes à gestão dos seus recursos hídricos, sendo grande parte deles decorrentes de políticas ineficientes da má gestão do uso e ocupação do solo na área rural e urbana. Uma consequência das intervenções antrópicas sem planejamento adequado é a intensificação e aceleração do desenvolvimento de processos erosivos laminares e lineares (sulcos, ravinas e boçorocas), principalmente nas áreas de expansão urbana e nos terrenos menos favoráveis à ocupação, com declividades mais elevadas, configurando um quadro crítico quanto à degradação do solo.

Em linhas gerais, conhecendo a situação da degradação, a partir de diversos estudos realizados anteriormente, observa-se que a erosão hídrica e assoreamento estão entre os graves problemas que afetam a Bacia do rio do Peixe. Uma de suas principais consequências é o carreamento de sedimentos para os cursos d'água que, com sua deposição, provocam o assoreamento dos rios, córregos, ribeirões, reservatórios de abastecimento e hidrelétrica, além de comprometer a quantidade e qualidade dessas águas. A ocorrência destes fenômenos mostra-se sempre marcada por graves perdas econômicas e sociais.

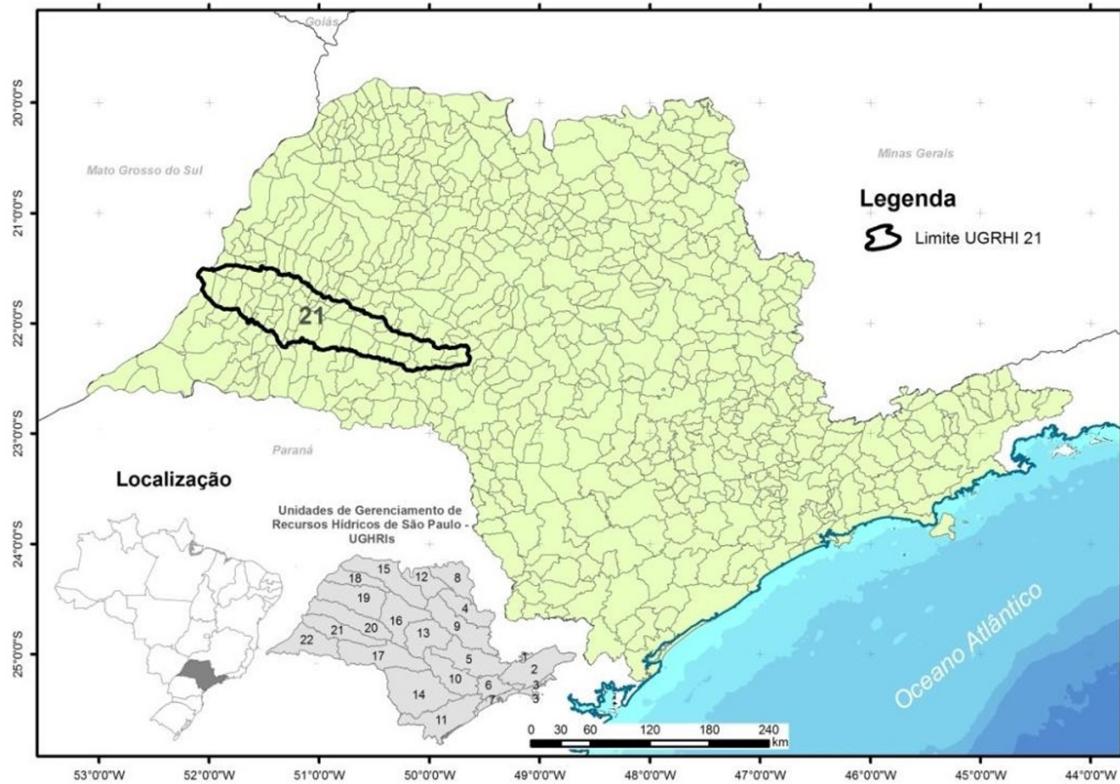


Figura 1 - Localização da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio do Peixe – UGRHI 21

Este trabalho aborda um quadro amplo da suscetibilidade à erosão hídrica na bacia do Rio do Peixe têm a finalidade de subsidiar e priorizar os estudos de planejamento a serem realizados pelo Comitê de Bacia do Rio do Peixe, para adoção de medidas preventivas e corretivas quanto aos processos erosivos, para a melhoria da quantidade e qualidade das águas, minimizando os impactos ambientais futuros nos recursos hídricos.

2 | CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

A área da bacia do Rio do Peixe está inserida no Planalto Ocidental, dentro da Bacia Sedimentar do Paraná. O relevo, pedologia, substrato geológico, que predomina na UGRHI-21 favorece a ocorrência de processos gravitacionais relacionados ao escoamento de águas pluviais na encosta e fundos de vale.

Na área em questão afloram as sequências mesozoicas constituídas pelos grupos São Bento, Caiuá e Bauru. Essa sequência estratigráfica adotada é resultante de trabalhos de síntese regionais proposta por Fernandes (1998), onde a Bacia Bauru está representada na área de estudo pelos grupos cronocorrelatos Caiuá e Bauru. O Grupo Caiuá está representado pelas formações Rio Paraná e Santo Anastácio e o Grupo Bauru pelas formações Vale do Rio do Peixe, Presidente Prudente e Marília (Membro Echaporã). A Formação Araçatuba foi observada apenas em um local, na margem direita do rio do Peixe próxima a Varpa, Distrito de Tupã. Ocorrem ainda rochas básicas associadas ao Grupo São Bento (Formação Serra Geral) e sedimentos

aluvionares quaternários associados às principais drenagens.

As rochas sedimentares, por apresentarem menor grau de coesão entre os minerais, apresentaram índices variando de Médio a Muito Alto em relação ao potencial de erosão. Tal intervalo ocorre devido à presença ou não de cimentação carbonática e de argilas. Rochas sedimentares maduras, sem tais preenchimentos, foram classificadas como sendo de Médio potencial à erosão. Enquanto rochas com menor maturidade textural, com conteúdo elevado de materiais facilmente transportáveis (silte, argila e carbonato) tanto em sua matriz como em estratos, receberam o índice de potencial erosivo Muito Alto.

A compartimentação geomorfológica da área foi feita com base nos trabalhos de IPT (1981) e ROSS e MOROZ (1997), no reconhecimento dos sistemas de relevo que nela ocorrem. As formas de relevo apresentam relações diretas com o desencadeamento dos processos erosivos, tanto regional quanto localmente, diferenciando o comportamento de cada um dos compartimentos de relevo ante os processos erosivos. Para tanto, foi elaborado um mapa por meio de compilação dos dados existentes em IPT (1981) e ROSS e MOROZ (1997), definindo as unidades geomorfológicas como morfoestruturais e morfoesculturais, considerando aspectos topográficos, declividades, amplitudes de encostas, linhas de drenagem, e definindo padrões, principalmente em decorrência das características geológicas locais.

De acordo com IPT (1981) a área de estudo faz parte do quadro das zonas de Áreas Indivisas e Planalto de Marília, integrantes do Planalto Ocidental. Na Zona das Áreas Indivisas predominam os relevos de colinas amplas (212) que se estendem desde a Zona do Planalto de Marília no Alto Peixe e se prolongam por grande trecho do Médio Peixe, passando a uma transição para colinas médias (213) nas regiões de Osvaldo Cruz, Sagres e a sudeste e nordeste de Presidente Prudente, nas regiões de Regente Feijó, Indiana e Martinópolis. Em seguida um relevo de morros alongados e espiões (234) se estende por uma grande área que vai de Presidente Prudente à região de Adamantina/Flórida Paulista.

O Planalto Ocidental ocupa praticamente 50% do estado de São Paulo e é representado por relevos de colinas amplas e baixas, com topos aplaniados ou amplos, altitudes entre 300 e 600 metros e declividades inferiores a 20%. Predominam formas de dissecação média a alta, com vales entalhados e com densidade de drenagem média a alta, apresentando um nível de fragilidade potencial médio/alto a erosão.

Nos setores mais suaves desse compartimento, a erosão tende a ser, portanto, menos intensa ante o condicionante relevo. Enquanto que as áreas com relevo mais movimentado (colinas médias, morros alongados e espiões), são as maiores potencializadoras da ocorrência de erosão laminar, sulcos, ravinhas e boçorocas.

Nas regiões de relevo mais enérgico, com colinas médias, morros alongados, espiões, e na cabeceira do rio do Peixe existem extensas áreas com escarpas. Estas formas de relevo potencializam o desenvolvimento de processos erosivos, uma vez que as rampas são relativamente longas e inclinadas, sendo frequentes as áreas de

cabeceiras de drenagem e linhas preferencias da concentração do fluxo d'água.

A pedologia é um importante condicionante dos processos de erosão laminar e em sulcos, ou mesmo das ravinas e boçoroca. Quando as boçorocas são geradas por processos subsuperficiais, a pedologia pode exercer influência indireta, como por exemplo, facilitando a recarga do aquífero (BARCELLAR, 2000).

Os vários tipos de solo existentes apresentam características naturais próprias e são, portanto, afetados de forma diversa pelos processos erosivos, fato que os configura com um condicionante da erosão. Uma vez que os solos são produto da alteração das rochas e guardam íntima relação com o relevo e precipitação, o meio físico propriamente dito é o condicionante natural da erosão.

As associações pedológicas que predominam na área de estudo, são: Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos e Eutróficos abrupcitos ou não, Horizonte A moderado com textura arenosa média em relevo suave ondulado, ocupando cerca de 76% da área da bacia (PVA1 + PVA3). Os Argissolos apresentam gradiente textural entre os horizontes A e B, tornando-os altamente suscetíveis a erosões e sua rocha-mãe compreende os arenitos das formações Rio Paraná, Santo Anastácio, Vale do Rio do Peixe, Presidente Prudente e Marília. Ocorre em relevos constituídos por colinas médias, morros alongados e espiões e secundariamente em áreas de transição de colinas amplas a colinas médias. Os Argissolos ocupam maior área da bacia, estendendo-se desde suas cabeceiras até proximidades de Presidente Venceslau e Ouro Verde. Apresenta alta/muito alta suscetibilidade às erosões laminares e lineares quando associados a colinas médias e morros alongados e espiões. Em colinas amplas, apresentam moderada a alta suscetibilidade às erosões.

No geral, conclui-se que solos com textura arenosa apresentam maior erodibilidade devido ao fato de desagregarem mais facilmente que os solos com textura argilosa e muito argilosa. Quanto à classificação pedológica, solos do tipo Argissolos são, geralmente, mais suscetíveis à erosão que o do tipo Latossolos, pois o primeiro ocorre principalmente em topografia mais movimentada que o segundo e, além disso, apresentam um horizonte B textural, com maior concentração de argila, que representa uma “barreira” para a infiltração das águas, favorecendo o escoamento superficial e acelerando os processos erosivos. A distinção destes horizontes é muito importante, uma vez que os solos são classificados de acordo com a natureza de seus horizontes e das relações entre eles. Os Argissolos têm como características intrínsecas um alto potencial de erodibilidade e, sendo assim, é necessário que a ocupação, nas regiões de sua ocorrência, seja realizada de forma a prevenir a geração de processos erosivos, tendo-se o cuidado de evitar a exposição dos terrenos e a concentração do escoamento superficial.

Por outro lado, os Latossolos são, relativamente, menos erodíveis, mas podem sofrer erosões de grande porte, desde que induzidas por elevadas concentrações de águas superficiais, sem dissipação de energia, atingindo o lençol freático e formando boçorocas.

Na área há também a ocorrência da associação Latossolos Vermelhos Argissólicos ou não de textura média (LV-1 e LV-2). Essa unidade é proveniente de arenitos das formações Vale do Rio do Peixe, Santo Anastácio e Rio Paraná. Desenvolve-se principalmente em relevos de colinas amplas nas regiões: a sul de Quintana, de Herculândia; na margem esquerda da sub-bacia do Médio Peixe, e; em toda área que acompanha as planícies aluviais no Baixo Peixe e se estende até o ribeirão do Veado. Apresenta baixo-moderada suscetibilidade a erosão laminar e moderada suscetibilidade ao desenvolvimento de ravinas e boçorocas.

As planícies aluviais dos rios do Peixe e Paraná caracterizam-se por apresentar solos com pouco desenvolvimento morfopedológico, de idade recente, proveniente de sedimentos quaternários, sendo constantemente influenciado pela flutuação do nível do lençol freático e eventuais inundações. Desenvolvem-se, nestas áreas, Gleissolos Melânicos e Gleissolos Háplicos ambos com caráter álico, distróficos ou mesmo eutróficos podendo apresentar alta ou baixa atividade de argila; Neossolos Flúvicos eutróficos e distróficos; Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos ou Neossolos Quartzarênicos Órticos, também com diferentes condições de trofismo e atividade de argila; Planassolos Hidromórficos e Planassolos Háplicos além de Organossolos Fólicos, Organossolos Mésicos e Organossolos Háplicos, todos em área de várzea. (GX-1).

Os demais solos encontrados na área de estudo são de ocorrência muito restrita, como a associação de Argissolos Vermelho-Amarelo (PVA2) que ocorre a jusante da bacia do rio do Peixe, próximo à foz, em áreas planas, apresentando potencialidade moderada a baixa na questão de processo erosivo. A associação RQ1 (Neossolos Quartzarênicos) limita-se a um pequeno setor das planícies aluviais junto ao rio Paraná. São solos pouco desenvolvidos, profundos e excessivamente drenados. São pouco suscetíveis à erosão, uma vez que ocorrerem em relevos aplinados. Os Neossolos Litólicos (RL1) ocorrem nas áreas escarpadas e encostas sulcadas por vales paralelos que limitam o Planalto de Marília e onde os arenitos e conglomerados são cimentados por carbonato de cálcio, o que os torna resistentes e compactos. Apresentam alta suscetibilidade à erosão laminar e são altamente suscetíveis ao desenvolvimento de queda de blocos.

3 I SUSCETIBILIDADE DA EROSÃO HÍDRICA NA BACIA DO PEIXE

Os fenômenos associados à formação das erosões são comandados por dois conjuntos de fatores ou condicionantes principais, sendo eles os naturais os quais se destacam como mais importantes a chuva, a cobertura vegetal, o relevo, os tipos de solos e o substrato geológico; e os antrópicos, como o desmatamento, a mineração e as formas de uso e ocupação do solo, que deflagram o processo erosivo imediatamente ou após certo intervalo de tempo (INFANTI JR e FORNASARI FILHO, 1998).

Conceitualmente, é importante distinguir os processos de erosão por escoamento laminar, dos processos de erosão linear acelerada que envolve a movimentação de grandes massas de solo e sedimentos, conhecidos no Brasil como sulcos, ravinas e boçorocas. Para não haver confusões quanto ao que cada conceito se refere, é necessário buscar uma fundamentação teórica dos autores que trabalham na área de erosão de solos com diferentes formações e, assim, deixar mais claro o que se entende por processos erosivos.

Na erosão laminar ou em lençol, o escoamento das águas pluviais pode formar pequenos filetes generalizados em extensas áreas, que resulta na remoção progressiva e relativamente uniforme dos horizontes superficiais de solo.

Sulcos são pequenas incisões em forma de filetes muito rasos representados por áreas onde ocorrem erosão laminar muito intensa.

A ravina é um sulco profundo no solo provocado pela ação erosiva da água de escoamento superficial concentrado, e que não pode ser combatido pelos métodos mais simples de conservação de solo.

Finalmente, o progresso do ravinamento atinge o lençol freático. Nesta etapa, intervêm processos ligados à circulação das águas de subsuperfície, fazendo com que o ravinamento atinja grandes dimensões e a forma passe a ser denominada boçoroca. As boçorocas são as mais graves porque envolvem mecanismos mais complexos, ligados aos fluxos superficiais e também subsuperficiais.

Em 2010/2011 foi desenvolvido no Estado de São Paulo o “Cadastramento de pontos de erosão e inundação no Estado de São Paulo”, resultado de uma demanda do Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, que possibilitou o aprofundamento do conhecimento a respeito dos processos erosivos no território paulista. Na bacia do rio do Peixe, foram cadastradas 165 erosões lineares urbanas (76 ravinas e 89 boçorocas) e 6825 rurais (1461 ravinas e 5364 boçorocas) Figura 2.

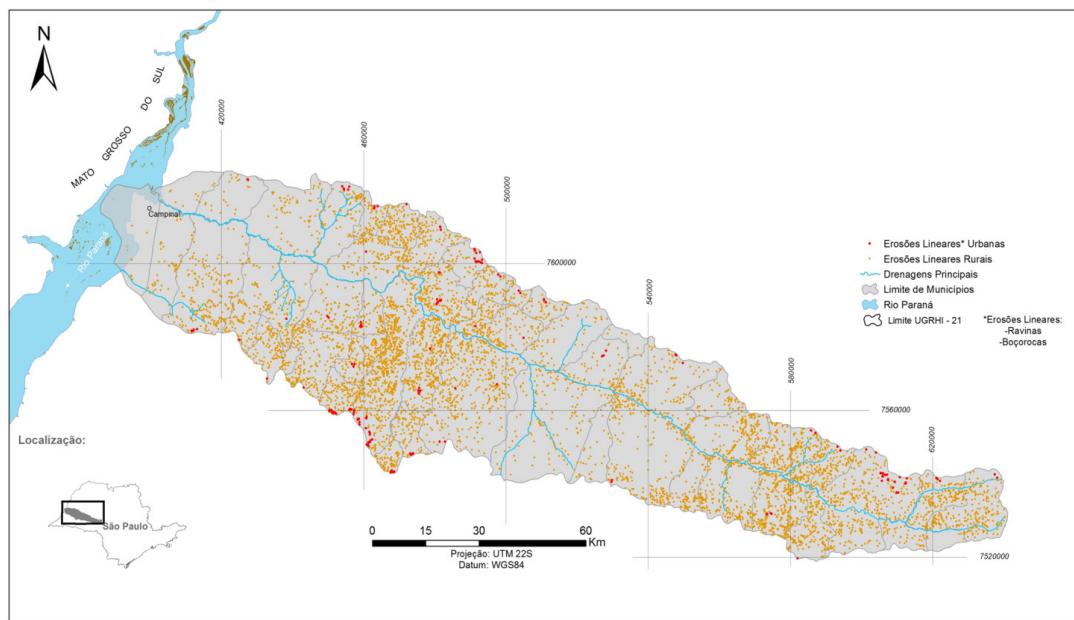


Figura 2 - Localização dos pontos de processos erosivos lineares do tipo ravina e boçoroca, na

As erosões observadas na Bacia do rio Peixe têm como causa principal a ação antrópica inadequada em regiões com características fisiográficas favoráveis à ocorrência de processos erosivos. O agente deflagrador principal é a água de escoamento superficial que, na forma de fluxo concentrado, remove o solo superficial e de alteração. Na área de expansão urbana, a retirada desse solo superficial induz ao desenvolvimento de canais, que podem evoluir de forma remontante, quando sob interferência das águas de subsuperfície, especialmente as do lençol freático, formando boçorocas. As boçorocas são de difícil controle e necessitam de grandes investimentos para sua recuperação, pois para tanto, passam a ser necessárias intervenções (obras civis) de grande porte que visam o controle das águas superficiais e subsuperficiais, levando em consideração os aspectos da paisagem.

O impacto dos processos erosivos nos recursos hídricos manifesta-se por meio da produção de grande quantidade de sedimentos que contribuem para um incremento na carga fluvial, podendo intensificar os processos de assoreamento nos cursos d'água bem como em reservatórios de abastecimento e, consequentemente, favorecer a ocorrência de inundações nas áreas rurais e urbanas, devido à redução nas dimensões da calha do rio. Nos cursos d'água e reservatórios, ocorre o aumento da turbidez nos corpos d'água, devido ao aumento da quantidade de sedimentos em suspensão na água. O aumento na quantidade de sedimentos transportados leva ao aumento das despesas no tratamento de água para o consumo, além de prejudicar a vida de organismos aquáticos, pela diminuição da incidência da luz solar.

Para a elaboração do mapa de suscetibilidade à erosão por sulco, ravina e boçoroca foi utilizado um método baseado na análise integrada do meio físico (geologia, geomorfologia e pedologia) e também correlacionando com o mapa de declividade para caracterizar as áreas com maior ou menor suscetibilidade.

A declividade revela relação direta com a velocidade de transformação da energia potencial em energia cinética. Assim quanto maior a declividade mais rapidamente a energia potencial das águas pluviais transforma-se em energia cinética e maior é a velocidade das massas de água e sua capacidade de desenvolver erosão e o transporte de sedimentos. Na Figura 3 é apresentado o fluxograma de procedimentos para elaboração do mapa de suscetibilidade à erosão.

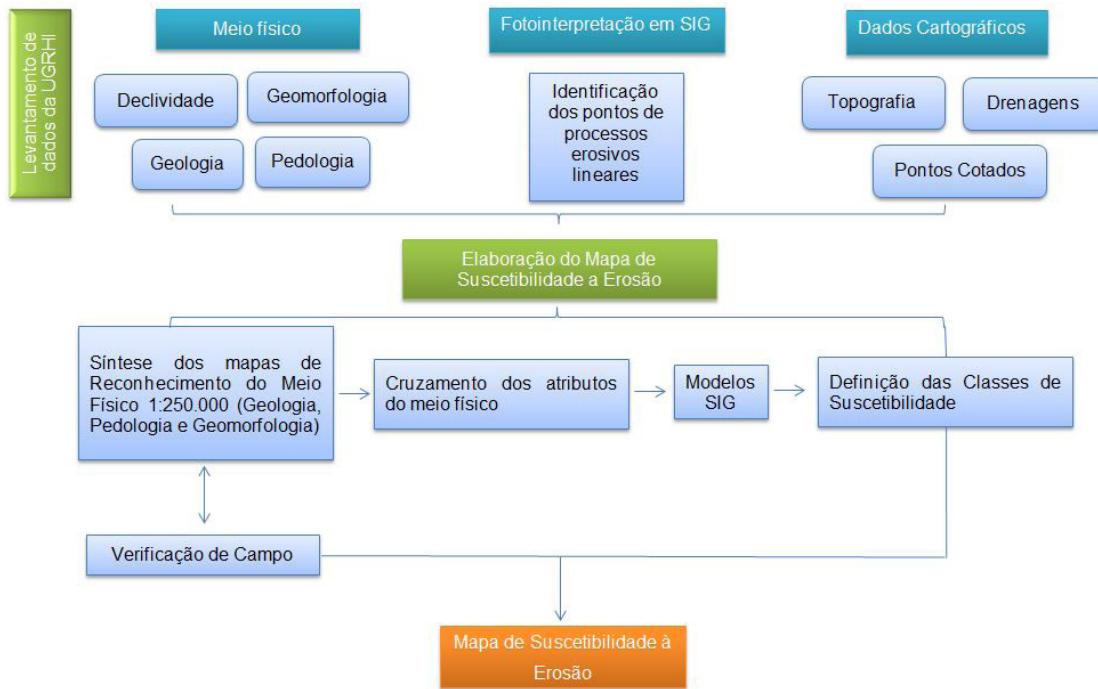


Figura 3 - Fluxograma de procedimentos do método.

Trata-se, portanto, de uma abordagem multicritério, que leva em consideração as características naturais do meio físico, o procedimento foi executado por meio de álgebra de mapas, em ambiente ArcGIS, com imagens RASTER de resolução espacial de 20 metros (Figura 4). Foram definidas quatro classes de suscetibilidade: Baixa (B), Média (M), Alta (A) e Muito Alta (MA). A seguir são apresentadas as principais características de cada classe:

3.1 Classe de Suscetibilidade Baixa (B)

Agrupam áreas planas, declividades de menor que 3 % associadas principalmente às planícies aluviais das principais drenagens, predominando solos da associação GX1, PVA2 e RQ1, praticamente livres de erosão. São áreas que prevalecem os processos de sedimentação/acumulação nas quais são comuns as ocorrências de assoreamentos e inundações (Foto 131).

3.2 Classe de Suscetibilidade Média (M)

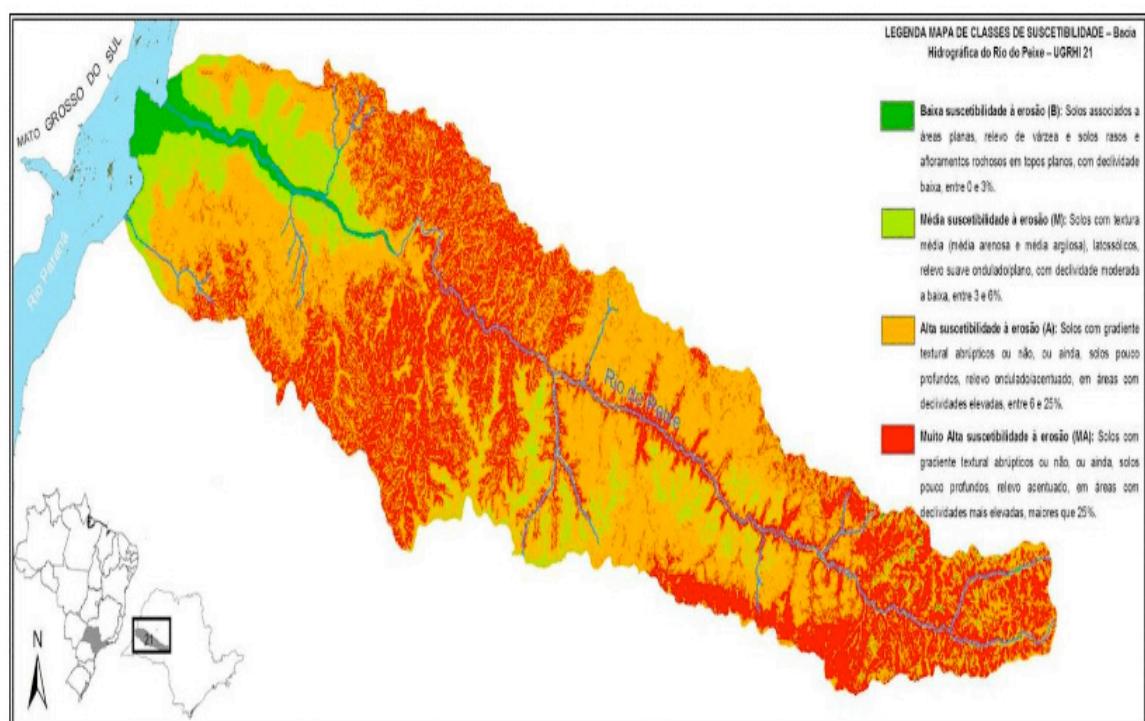
Agrupam áreas com relevo suave ondulado, declividades inferiores a 6 %, predominando solos da associação LV1 e LV2. Esta classe diferencia-se da anterior por apresentarem solos diferentes em classes de declividade mais elevada. Em função dessas características, a erosão laminar é moderada nas encostas que também apresentam sulcos e ravinas.

3.3 Classe de Suscetibilidade Alta (A)

Agrupam áreas com relevo ondulado/suave ondulado, predominando declividades superiores a 12 %, predominando solos da associação PVA1 e PVA3. Esta classe diferencia-se da anterior por apresentarem solos diferentes em classes de declividade mais elevada. Em função dessas características, a erosão laminar e linear é acentuada.

3.4 Classe de Suscetibilidade Muito Alta (MA)

Agrupam áreas com relevos de Morros Alongados, encostas não escarpadas e escarpas, na qual se desenvolvem predominantemente solos pouco profundos (Argissolos abrúpticos, Cambissolos e Neossolo Litólicos), predominando declividades superiores a 50 %. Em geral apresenta um relevo muito dissecado, favorecendo a concentração do escoamento superficial e provocando o surgimento de feições erosivas lineares (ravina e sulco) e a erosão laminar muito intensa. Nas áreas de afloramentos rochosos em relevos de morros e escarpas, em declividades superiores a 50 % ocorrem escorregamentos planares de solos, rocha e queda de blocos.



4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os processos erosivos na bacia do rio do Peixe tem como causa principal a ação antrópica inadequada, favorecidos por certos fatores naturais, principalmente relacionados à cobertura pedológica, relevo e, de modo indireto, ao tipo de substrato geológico. Como já referido, o agente deflagrador principal é a água de escoamento superficial que, na forma de fluxo concentrado, remove o solo superficial e de alteração e, na área de expansão urbana, a retirada desse solo superficial induz o

desenvolvimento de canais, que podem evoluir remontante, quando sob interferência das águas subsuperficiais, especialmente as do lençol freático.

Do ponto de vista econômico, os processos erosivos em questão acarretam perdas consideráveis de áreas produtivas, tais como pastagens e culturas diversas. Além disso, geram danos ambientais sérios, pois vêm assoreando de forma considerável trechos da drenagem a jusante.

Assim, as áreas da bacia que apresentam as maiores suscetibilidade à erosão do solo deverão ser objeto de mapeamentos de maior detalhe, a fim de subsidiar os estudos de planejamento e viabilizar projetos de práticas conservacionistas, minimizando os impactos ambientais futuros. Cabe destacar a importância desse estudo para o Comitê da Bacia do rio Peixe para o planejamento e investimentos em relação aos processos erosivos e assoreamento.

5 | AGRADECIMENTOS

Os Autores gostariam de agradecer a Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas – FIPT e ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS

- BACELLAR, L. DE A. P. 2000. **Condicionantes geológicos, geomorfológicos e geotécnicos dos mecanismos de voçorocamento na bacia do rio Maracujá, Ouro Preto, MG.** Tese (Doutorado em ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- FERNANDES, L. A. 1998. **Estratigrafia e Evolução Geológica da Parte Oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil).** 1998. 216f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- INFANTI JUNIOR, N.; FORNASI FILHO N.; 1998. **Processos de Dinâmica Superficial.** In: Geologia de Engenharia. Santos, A, M dos, Oliveira, S. N A. de B. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT; 2012. **Cadastramento pontos de erosão e inundações no Estado de São Paulo.** São Paulo. (IPT. Relatório 131 057 - 205).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO- IPT; 1981. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo, escala 1:1.000.000.** São Paulo: IPT, 1981. Publicação IPT 1183, Monografia, 5. 2v.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT; 2017. **Mapa de potencialidade das terras à produção de sedimentos.** Área Piloto: Unidade de gerenciamento de recursos hídricos do rio do Peixe (UGRHI 21). São Paulo. (IPT. Relatório 149 680 - 205).
- ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. 1997. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.** 1997. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia – Departamento de Geografia-FFLCH/USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica - Geologia Aplicada – IPT/FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 1997. Escala 1:500.000.

LEGISLAÇÃO MUNICIPAL SOBRE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI ANTAS

Tuane de Oliveira Dutra

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Porto Alegre – RS

Pedro Antonio Roehe Reginato

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Porto Alegre – RS

Vinícius Menezes Borges

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia,
Centro de Ciências Exatas e Tecnológica
Cruz das Almas – BA

Marcos Imério Leão

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Porto Alegre – RS

Gustavo Barbosa Athayde

Universidade Federal do Paraná, Departamento
de Geologia
Curitiba – PR

legislações específicas, sendo sete voltadas para o cadastro de poços (Bom Retiro do Sul, Caxias do Sul, Lajeado, Guaporé, Garibaldi, Estrela e Capão Bonito do Sul). Já os demais municípios possuem leis voltadas para obtenção da outorga (Mato Leitão), auxílio a perfuração (Gentil) e fiscalização da potabilidade (Paraí). Os resultados demonstraram a situação da atuação dos municípios na gestão dos recursos hídricos subterrâneos na bacia hidrográfica e avaliaram as legislações existentes na mesma.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de águas subterrâneas. Recursos hídricos. Legislação municipal

ABSTRACT: This study evaluated the existence of municipal groundwater law at Taquari-Antas Basin – RS as well as the municipal action in registering, inspecting and accompanying well drilling and exploitation. The evaluation was carried out through city website consultation and telephone contact. Only ten cities presented specific law, being seven about well registering (Bom Retiro do Sul, Caxias do Sul, Lajeado, Guaporé, Estrela e Capão Bonito do Sul). The other cities presented laws for water granting (Mato Leão), well drilling (Gentil) and potability inspecting (Paraí). Results presented the city acting situation on groundwater and evaluated the existence of specific laws.

KEYWORDS: Groundwater management;

RESUMO: Este estudo investigou a existência de legislação municipal na Bacia hidrográfica Taquari-Antas sobre recursos hídricos subterrâneos e avaliação da atuação dos municípios no registro, fiscalização e acompanhamento da perfuração e exploração de poços. A avaliação foi feita mediante consulta aos sites das prefeituras ou através de contato telefônico. Apenas dez municípios possuem

1 | INTRODUÇÃO

Em algumas regiões do país as águas subterrâneas representam a única fonte de recurso hídrico disponível. Conforme IBGE (2010), esta é a realidade de cerca de 59% dos municípios do estado do Rio Grande do Sul. Conforme o Plano de Bacia A (2011), este panorama se reflete na bacia Taquari Antas, onde, na zona urbana, cerca de 70% dos municípios são abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas e cerca de 13% abastecidos de forma mista (manancial superficial e subterrâneo). Já nas zonas rurais, de todos os municípios, as quais não são abrangidas pela rede pública de abastecimento, o abastecimento é realizado por poços comunitários, que são de propriedade das prefeituras municipais ou de associações comunitárias. Desta forma é inquestionável a importância social e econômica deste recurso para a bacia e para o Estado do Rio Grande do Sul, até mesmo nos municípios abastecidos exclusivamente por águas superficiais, sendo que, conforme a FEPAM (2005), os municípios da bacia concentram 20% do PIB estatual.

Conforme previsto no Art. 20, III. da CF/88, a água é um bem da união quando situada em terrenos de seu domínio ou quando banham mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham. A mesma constituição em seu Art. 26, I. define como bem do estado, as águas que residam dentro dos limites territoriais do mesmo, com exceção das decorrentes de obras da União. Desta forma, dependendo de sua localização as águas podem ser de domínio da união ou dos Estados. Os municípios não dispõem de águas sob seu domínio, contudo, conforme Pompeu (2008), devido às atividades voltadas ao uso do solo, os municípios acabam desempenhando importante papel na proteção ambiental e no desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos. Conforme o Art. 23, VI e XI da CF/88 é comum à União, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios praticarem ações no sentido de proteger o meio ambiente, combater a poluição, em qualquer de suas formas e registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de recursos hídricos e minerais em seus territórios. Nesse sentido, o Departamento de Recursos Hídricos (DRH), para a autorização prévia, regularização e outorga de poços, solicita comprovante (certificado, certidão, atestado, etc) de cadastro do poço junto ao município. Quando o município não possui legislação sobre o tema o DRH solicita uma declaração do mesmo, comprovando a inexistência. Isso demonstra que o órgão responsável pelo gerenciamento dos recursos hídricos no estado, dá importância à existência de legislações municipais.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo analisar a existência e o tipo de legislação municipal sobre recursos hídricos subterrâneos na Bacia Taquari Antas, com o intuito de verificar a atuação dos municípios em prol da defesa destes recursos.

2 | LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Taquarí-Antas está localizada no estado do Rio Grande do Sul, entre os paralelos 28° e 30° Sul e entre os meridianos 50° e 52° 30' Oeste aproximadamente. Sua localização e das bacias hidrográficas limítrofes é apresentada na (Figura 1). A bacia ocupa uma área de 26.640 km² (cerca de 9% da área total do estado), abrangendo de forma integral e parcial 120 municípios e uma população de aproximadamente 1.281.866 habitantes, conforme estimado no plano da bacia Taquari Antas, tendo como base dados do IBGE 2010.

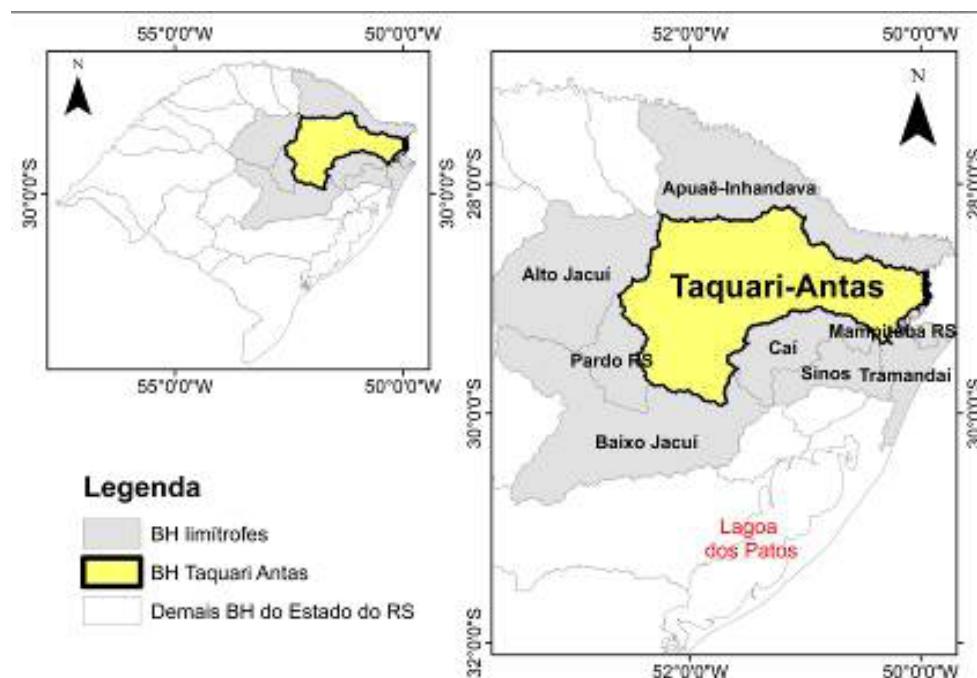


Figura 1: Localização da Bacia Taquari Antas

A bacia do rio Taquari-Antas é composta, na sua quase totalidade, por litologias da bacia do Paraná e pelos sedimentos Quaternários e Recentes, os quais correspondem, respectivamente, às Províncias Paraná e Costeira (PLANO DE BACIA B, 2011). Conforme Leão et al (1998), a bacia está inserida na unidade geomorfológica do Planalto, onde predominam rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. A bacia é composta pelos sistemas aquíferos Serra Geral (I e II) e Guarani (Botucatu, Sanga do Cabral Pirambóia, Botucatu Pirambóia).

3 | METODOLOGIA

Foram realizadas buscas nos sites das prefeituras dos municípios localizados de forma total e parcial dentro da Bacia Taquari Antas. Nas prefeituras em que os sites não apresentavam ferramentas de buscas que propiciassem uma pesquisa rápida e objetiva das legislações específicas para a gestão das águas subterrâneas,

foi realizado o contato telefônico com a prefeitura para obter a informação.

Foram obtidas informações de 109 municípios dos 120 existentes, na figura 2 é possível visualizar como foi obtida a informação em cada município. As informações foram pesquisadas de ambas as formas, somente nos 11 municípios em que não foi possível se obter a informação.

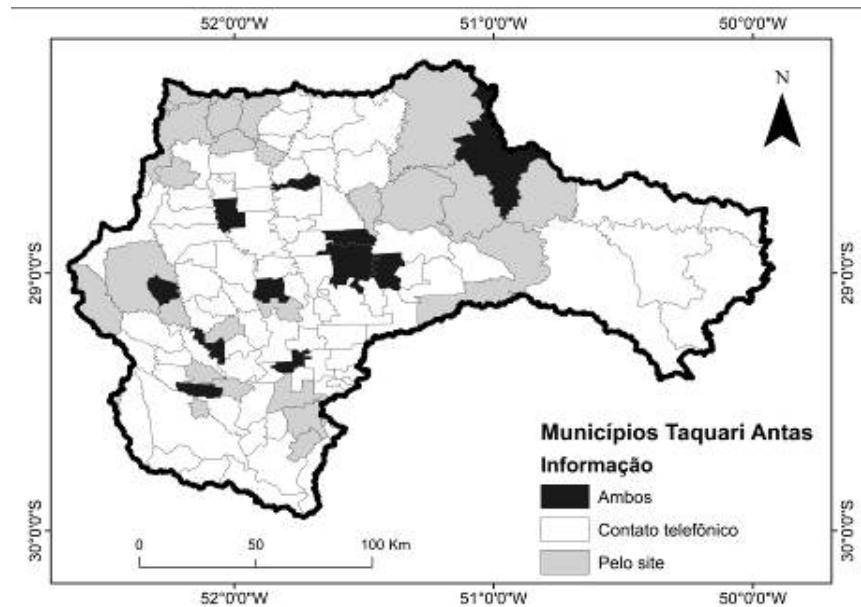


Figura 2 - Tipo de forma utilizada para obter a informação em cada município

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na bacia Taquari Antas foram identificados dez municípios que possuem legislação específica para águas subterrâneas, dos 109 em que foram obtidas informações. Sendo esses os municípios de Bom Retiro do Sul, Parai, Guaporé, Estrela, Garibaldi, Lajeado e Mato Leão, inseridos integralmente na bacia e os municípios de Gentil, Capão Bonito do Sul e Caxias do Sul inseridos de forma parcial com 99,10%; 6,20%; e 52,70% de seus territórios, respectivamente, dentro da bacia (Figura 3).

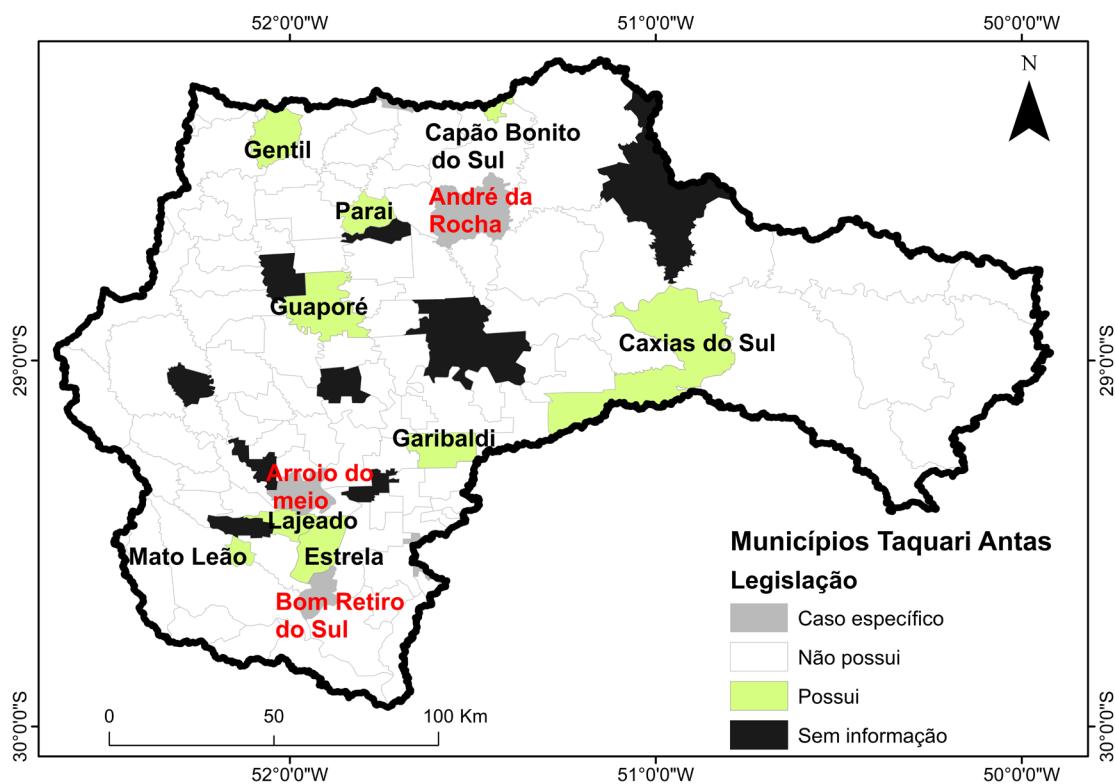


Figura 3 - Distribuição espacial dos municípios com legislação específica para águas subterrâneas

No município de André da Rocha e Arroio do Meio, situados conforme apresentados na figura 3 acima, ocorreram situações específicas.

- Em André da Rocha foi informado que há o cadastro de poços artesianos, mas somente dos que pertencem ao município, não abrangendo os poços particulares, sendo que este cadastro não é regido por nenhuma legislação;
- Em Arroio do meio, só há o cadastro dos poços sem legislação específica;

Dos dez municípios que possuem legislação para águas subterrâneas, três são abastecidos exclusivamente por águas superficiais (Lajeado, Caxias do Sul e Guaporé), dois são abastecidos de forma mista (Bom Retiro do Sul e Garibaldi) e os demais municípios são abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas (Mato Leitão, Paraí, Capão Bonito do Sul, Estrela e Gentil). No Quadro 1, podem ser visualizadas as legislações específicas para águas subterrâneas encontradas nos dez municípios e a quantidade dos poços existentes em cada município.

Município	Nº de poços	Legislação	Descrição
Bom Retiro do Sul	40	Lei N° 1892/1998	Institui o Cadastro Municipal de poços tubulares profundos e dá outras providências
Caxias do Sul	174	Lei N° 5885/2002	Cria o Cadastro Municipal de Poços Tubulares Profundos.
Caxias do Sul		Decreto N° 11.334/2003	Regulamenta a Lei Municipal nº 5.885, de 2002, que cria o Cadastro Municipal de Poços Tubulares Profundos, dispõe sobre a proteção e a conservação das águas subterrâneas no Município.
Caxias do Sul		Lei Complementar N° 117/2000	Acresce Artigos ao Capítulo IV, Título VII, da Lei N° 3.165, 1987 a qual Reformula o Código de Posturas do Município.
Lajeado	181	Lei N° 6684/2001	Cria o Cadastro Municipal de Poços Tubulares Profundos e dá Outras Providências.
Lajeado		Lei N° 7079/2003	Dá Nova Redação a Lei 6.684/01 e dá Outras Providências.
Lajeado		Lei N° 7710/2006	Altera a Redação da Lei que Cria o Cadastro Municipal de Poços Tubulares Profundos e Dá Outras Providências.
Guaporé	41	Lei N° 2695/2006	Disciplina a Utilização de Águas Subterrâneas no Município e dá Outras Providências.
Guaporé		Decreto N° 3782/2006	Regulamenta a Aplicação da Lei N° 2695/2006 e dá Outras Providências.
Garibaldi	88	LEI N° 2600/2002	Cria o Sistema Municipal de Informações Sobre Águas Subterrâneas e dá Outras Providências.
Estrela	124	Lei N.º 3943/2004	Cria o Cadastro Municipal de Poços Tubulares e dá outras providências.
Capão Bonito do Sul	38	Lei N° 041/2001	Cria o Cadastro Municipal de Poços Tubulares Profundos (Artesianos).
Gentil	20	LEI ORDINARIA N° 180/1995	Istitui Programa de Incentivo a Pefuração de Mini Poços Artesianos no Municípios e dá Outras Providências.
Mato Leitão	22	Lei N°. 2.059/2013	Autoriza o Município a disponibilizar serviços para buscar Outorga do uso de água dos poços artesianos utilizados para abastecimento da população de Mato Leitão e dá outras providências.

Paraí	40	Lei nº 1933/2001	Autoriza o Município a realizar a fiscalização das fontes alternativas de águas (Poços Artesianos) existentes no território do Município de Paraí e dá outras providências.
-------	----	---------------------	---

Quadro 1 – Legislações municipais existentes na Bacia Taquari Antas

Dos 10 municípios analisados, três possuem legislações com finalidades diferentes, sendo esses os municípios de Mato Leitão, Paraí e Gentil, conforme descrito a seguir:

- No município de Mato Leitão a finalidade da lei é disponibilizar amparo técnico para a obtenção da outorga de poços utilizados para abastecimento público junto ao DRH – Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria Estadual de Meio Ambiente;
- No município de Paraí a finalidade da lei é fiscalizar, semestralmente, a potabilidade das águas providas pelos poços artesianos inseridos no mesmo;
- No município de Gentil é incentivado, com o pagamento de 50% dos custos, a perfuração de mini-poços.

No município de Paraí ocorre a fiscalização e acompanhamento apenas dos aspectos qualitativos, não sendo realizado o registro, já que não há o cadastro de poços. No município de Mato Leitão é realizado o acompanhamento dos processos de outorgas, contudo, apenas dos poços públicos, não abrangendo o registro, fiscalização e acompanhamento dos poços particulares. No município de Gentil, há um incentivo à perfuração, sem ser mencionada na Lei municipal a necessidade de outorga e/ou isenção da mesma expedida pelo DRH, passando o município, por si só, a autorizar a perfuração, função que compete ao DRH no Estado do Rio Grande do Sul.

Os municípios de Estrela e Capão Bonito do Sul, também abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas, possuem leis voltadas para o cadastro de poços inseridos no território de seus municípios. Contudo, somente no município de Estrela é solicitada a localização de fontes potenciais de contaminação, Certidão da Secretaria Municipal do Planejamento, indicando se a área está ou não localizada em cota de inundação, restrição de perfuração em área de preservação permanente e em caso de desativação do poço lacramento e baixa do mesmo no cadastro de poços no município.

Nos municípios abastecidos exclusivamente por águas superficiais, todas as legislações têm como finalidade o cadastro de poços, porém, também abordam outras questões relativas aos mesmos, conforme apresentado a seguir:

- No município de Lajeado há a preocupação com os poços tamponados, exigindo que os mesmos estejam de acordo com o termo de referência do

DRH;

- No município de Guaporé há o cuidado com os poços já existentes, devendo o solicitante de uma nova perfuração de poço, através de parecer técnico, comprovar que o poço em questão não afetará o nível estático e recuperação dos demais, além disso, é previsto para os mesmos um raio de proteção de 10 m;
- O município de Caxias do Sul é o que possui o conjunto de Leis e Decretos mais completos em relação ao tema de águas subterrâneas dos 10 municípios, sendo o único a exigir a instalação de hidrômetros nos poços e relatório mensal dos volumes explotados dos mesmos. Além disso, no município está prevista a vistoria prévia, por parte dos órgãos ambientais e da vigilância sanitária, à área proposta para perfuração do poço. Há também no município medidas para a prevenção de contaminação do aquífero através dos poços, as quais estão relacionadas a aspectos construtivos dos mesmos e restrições de perfuração próximas a fontes potenciais de poluição. Em relação aos aspectos qualitativos, o município de Caxias do Sul exige dos usuários considerados de médio e grande porte, que utilizam a água para fins de processo produtivo asséptico ou para consumo final, certificado de potabilidade, o qual deverá ser realizado anualmente.

No município de Garibaldi, abastecido de forma mista, a lei municipal cria o sistema de cadastro de poços. Nessa lei também está prevista a necessidade de avaliação técnica para análise de riscos qualitativos e quantitativos provenientes do poço requerido para o aquífero, quando o mesmo estiver localizado a menos de 100m de outros pré-existentes ou de fontes potenciais de contaminação. Em Bom Retiro do Sul, também abastecido de forma mista, em sua lei municipal só está previsto o registro dos poços.

A gestão dos recursos hídricos subterrâneos na Bacia Taquari Antas ainda é relativamente recente, conforme pode se observado nas datas das leis e decretos (Quadro 1). Dos 10 municípios que abordam o tema dos recursos hídricos subterrâneos, os quais representam apenas 9% do total analisado, somente o município de Caxias do Sul, no seu conjunto de leis e decretos tem o objetivo de registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de recursos hídricos em seus territórios, conforme previsto na CF/88.

Os municípios que não possuem legislação própria para recursos hídricos subterrâneos, seguem a legislação estadual. Este tema no estado do Rio Grande do Sul é regulamentado pelo Decreto nº 42.047/2002, o qual regulamenta o gerenciamento e a conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos, sendo que, em novembro 2014 entrou em vigor o decreto nº 52.035, o qual alterou partes do texto do mesmo. Nesses municípios observou-se que não há o conhecimento da importância e necessidade dos mesmos para a proteção e controle de uso das águas subterrâneas em seus territórios, uma vez que, já seguem a legislação estadual.

A vaga gestão das águas subterrâneas observada na bacia hidrográfica Taquari-

Antas, mesmo frente a intensa utilização da mesma na bacia, é compatível com a situação do Estado do Rio Grande do Sul nesse tema, que aos poucos está evoluindo nesta questão, prova disso é a criação do SIOUT, que foi um passo a frente na política de outorga das águas subterrâneas. O SIOUT tem o intuito de aprimorar o gerenciamento das concessões e administração das outorgas de uso de água, através da aquisição de informações relativas aos recursos hídricos de forma eletrônica. O cadastro de uso e usuários de águas subterrâneas teve início no SIOUT em agosto de 2016 (SEMA 2016), e até 20 de maio de 2017 já haviam sido registrados 1172 poços nas modalidades cadastro e autorização prévia.

5 | CONCLUSÃO

Através deste estudo, foi constatado que a quantidade de municípios que possuem legislação específica sobre águas subterrânea é muito ínfima frente à importância desses recursos para o desenvolvimento da bacia. Observou-se que a atuação dos municípios nesse tema é ainda recente, sendo que a maioria (exceção do município de Gentil e Bom Retiro do Sul) tem suas legislações criadas a partir dos anos 2000. O município de Caxias do Sul é o que aborda o tema de forma mais completa (registro, acompanhamento e fiscalização), sendo que nos demais municípios que possuem legislações específicas ainda é necessário atentar principalmente para o acompanhamento e fiscalização dos poços. Os municípios, em geral, ainda estão focados apenas nas legislações estaduais existentes para o tema e acabam não atuando, de forma local, para a proteção e controle da utilização das águas subterrâneas. Se faz necessário uma atuação do estado, no sentido de demonstrar para os municípios que além das legislações existentes em sua esfera, as legislações municipais devem existir para fortificar a gestão deste recurso na bacia Taquari Antas.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. 292 p.
- FEPAM. **Qualidade Ambiental: Região Hidrográfica do Guaíba**, [2005?]. Disponível em:< <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/taquariantas.asp>>. Acesso em: 30 de Out. 2017.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico** - 2008. Rio de Janeiro, 2010.
- LEÃO, M.I ; CAICEDO, N.O.L ; RISSO, A. **Hidrogeologia da Bacia do Rio Taquari/Antas-RS**. In: X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 1998, São Paulo.
- Plano de Bacia A. **Fase A – Caderno Temático: Saneamento Básico/ Etapa A.1 a A.2 na Bacia Taquari Antas**. 2011.

Plano de Bacia B. **Fase A – Relatório Técnico 02 Tomo I/ Etapa A.1 a A.2 na Bacia Taquari Antas.** 2011.

POMPEU, C.T. 2008. **O Direito de águas no Brasil.** In: I Congresso Brasileiro de Direito de Águas, Fortaleza - Ceara.

SEMA. **SIOUT/RS: Uma Mudanças de Paradigmas**, 2016. Disponível em:<http://www.famurs.com.br/arq_upload/20160801103104_FAMURS%2027%20de%20julho%20de%202016.pdf>. Acesso em: 4 de Nov. 2017.

COMPARISON OF TWO TECHNOLOGIES APPLIED IN A MUNICIPAL WASTERWATER TREATMENT PLANT: PHYSICOCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PARAMETERS AND CYTOGENOTOXICITY EVALUATION

Thaís Dalzochio

Universidade Feevale, Novo Hamburgo, Rio
Grande do Sul

Fernando Hamerski

Universidade Feevale, Novo Hamburgo, Rio
Grande do Sul

Nicole Giovanna Gross

Escola de Educação Básica Feevale, Novo
Hamburgo, Rio Grande do Sul

Günther Gehlen

Universidade Feevale, Novo Hamburgo, Rio
Grande do Sul

(COD), biochemical oxygen demand (BOD₅), suspended solids and thermotolerant coliforms. Despite the floating emergent macrophyte filter system did not reach the necessary efficiency for ammoniacal nitrogen removal, it presented a better removal of phosphorous when compared to the activated sludge system. For cytogenetic endpoints (mitotic index and frequencies of micronuclei and chromosomal aberrations), there was no difference between both treatments and the negative control. These results suggest that the floating emergent macrophyte system is a promising alternative methodology in the domestic sewage treatment.

KEYWORDS: *Allium cepa*, sewage treatment, macrophytes, activated sludge.

RESUMO: A urbanização intensa combinada à descarga de esgoto doméstico dos recursos hídricos constitui em um risco potencial para os ecossistemas e para a saúde humana, indicando a necessidade de utilizar tecnologias para o tratamento de esgoto. No presente estudo, parâmetros físico-químicos e o bioensaio com *Allium cepa* foram realizados para avaliar características e efeitos citogenotóxicos de efluentes oriundos de dois sistemas de tratamento de esgoto: lodo ativado e filtro de macrófitas emergentes em flutuação. Para a avaliação citogenotóxica, sementes de *A. cepa* foram expostas a diferentes concentrações

ABSTRACT: The intense urbanization combined to the release of domestic sewage into water resources constitutes a potential risk to ecosystems and human health, indicating the need of using technologies in the sewage treatment. In the present study, physicochemical parameters and the *Allium cepa* assay were performed to assess characteristics and cytogenotoxic effects of effluents from two sewage treatment systems: activated sludge and floating emergent macrophyte filter. For cytogenotoxic evaluation, seeds of *A. cepa* were exposed to different concentrations (25, 50 and 100%) of the effluent samples treated with both technologies. The physicochemical analyses revealed both treatment systems met the legal criteria for chemical oxygen demand

(25, 50 e 100%) das amostras do efluente tratado com ambas as tecnologias. As analyses físico-químicas mostraram que ambos os sistemas de tratamento atenderam aos critérios legais para demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), sólidos suspensos e coliformes termotolerantes. Apesar de o sistema de tratamento com macrófitas não ter alcançado a eficiência necessária para a remoção do nitrogênio amoniacal, tal sistema apresentou melhor remoção de fósforo em comparação ao sistema de lodo ativado. Para os parâmetros citogenéticos (índice mitótico e frequências de micronúcleos e de aberrações cromossômicas), não houve diferença significativa entre os tratamentos e o controle negativo. Esses resultados sugerem que o filtro de macrófitas emergentes em flutuação é uma metodologia alternativa promissora para o tratamento do esgoto doméstico.

PALAVRAS-CHAVE: *Allium cepa*, tratamento de esgoto, macrófitas e lodo ativado.

1 | INTRODUCTION

Human activities are inducing great impacts on aquatic ecosystems. Discharges of industrial and domestic effluents in the rivers are the most common pollution source of chemical compounds. Several effluents contain toxic mixtures such as heavy metals, industrial products, pesticides and others that, together, can aggravate the environmental conditions and, consequently, all the aquatic ecosystems (HOSHINA et al., 2009). In recent years, with the consolidation of legislation and regulatory control, companies have begun to treat the water used in their manufacturing process (FIGUEIREDO et al., 2010). However, municipal wastewater still remains a problem, since only a small portion of domestic sewage is treated in Brazil before being released into water resources.

The most successful and widely used technology for municipal wastewater treatment is the biological system with activated sludge, in which aerobic microorganisms metabolize organic matter. Alternatively, the use of a floating emergent macrophyte treatment wetland, in which emergent plants are grown in a hydroponic matter on floating rafts, offers the advantage of providing a relatively passive, low-maintenance and operationally simple wastewater treatment system (HEADLY & TANNER, 2012). Thus, studies on physicochemical characterization of effluents combined to bioassays can provide information about the toxicity of effluents which contains complex mixtures of substances.

The *Allium cepa* L. assay is acknowledged as an excellent genetic model to assess the presence of environmental pollutants in water samples (GRANT, 1994; FRANKLIN et al., 2002). Moreover, this species also presents other advantages, including low costs, easy handling, and suitable chromosomal features; this plant bears large and few chromosomes (2n=16) which facilitates the evaluation of chromosome damages and/or disturbances in cell division cycle (FISKESSJO, 1985). The cytotoxicity levels

of an agent or a complex mixture of substances can be determined by the decrease or increase in the mitotic index, i.e. number of cells in division (FERNANDES et al., 2007), while the observation of micronuclei and chromosomal aberration, such as bridges, fragments and vagrant, allows estimating the genotoxic effects of agents. This test system has shown high sensitivity in detecting environmental chemicals (LEME & MARIN-MORALES, 2009), and has successfully been used to evaluate the genotoxicity of sludge samples (RANK & NIELSEN, 1998; MARTINS et al., 2016; SOMMAGGIO et al., 2018), hospital wastewaters (MAGDALENO et al., 2014), herbicides (FERNANDES et al., 2007; FELISBINO et al., 2018), petroleum refinery wastewaters (HOSHINA et al., 2009) and rivers (GOMES et al., 2015; RODRIGUES et al., 2016).

Therefore, the aim of this work was to assess the physicochemical and microbiological parameters and cytogenotoxicity from effluents treated with two distinct methodologies – activated sludge and a floating emergent macrophyte filter system, in a municipal sewage treatment plant.

2 | MATERIAL AND METHODS

The municipal sewage treatment plant selected for this study is located in the city of Novo Hamburgo, state of Rio Grande do Sul, Brazil. This treatment plant serves a population of about 5000 people and receives an average of 520 m³ of domestic sewage a day (Goldoni et al., 2014). There are two technologies operating simultaneously in this plant: activated sludge system and a floating emergent macrophyte system with *Typha domingensis* (developed and patented by the University of Polytechnology in Madrid, Spain). However, since this technology was applied in a wastewater treatment plant that already existed, it was not possible to implement all components of this system, which include three ponds. The first pond runs through anaerobic zone; the second pond runs through the use of diffused air acting as an aerobic system and the third one has the function of clarification and phosphorous removal. The dimensions of the reactors are 2,5m x 17m x 17m. The feeding in the floating macrophyte system has $Q = 0.7 \text{ L.s}^{-1}$ at a constant speed. The activated sludge is a batch reactor that operates with cycles of four hours: 2'45", fed with $Q = 3.2 \text{ L.s}^{-1}$; 30", decanting and 45", output.

Samples for physicochemical and *A. cepa* assays were collected in May 2015. Physicochemical and microbiological analyses of treated sewage samples were carried out for the following parameters: biochemical oxygen demand (BOD_5), chemical oxygen demand (COD), ammoniacal nitrogen, phosphorous, suspended solids, aluminum, chromium, zinc and termotolerant coliforms (*Escherichia coli*).

Seeds of *A. cepa* from the same lot and variety ("Baia Periforme" onion) were submitted to germination at 22 °C in Petri dishes (10 cm of diameter), each dish covered with filter paper and individually poured with 3 mL of distilled water. When roots reached 1 cm in length (approximately five days after the beginning of the assay), they were

transferred to a dish containing the sample and then, exposed for 24h. A control group was maintained in distilled water during the same period. The samples of domestic sewage treated with the two technologies were diluted in distilled water in the following concentrations: 25, 50 and 100%.

After the exposure period, onion roots were collected (10 per group), fixed in alcohol-acetic acid (3:1-v/v) for 24h, transferred to 70% ethyl alcohol and stored at 4 °C. To prepare the slides, roots were rinsed in distilled water, hydrolyzed in 1N HCl at 60°C for 8 minutes and rinsed again. The meristematic regions were covered with coverslips and carefully squashed into a drop of 1% acetic orcein. Stained root tips were analyzed under light microscopy (Olympus DSC2000) for cytogenetic endpoints.

For the mitotic index, 500 cells per slide were analyzed, which was used as microscopic parameter for cytotoxicity. To assess genotoxicity, 500 interphase cells were analyzed to estimate the frequency of micronucleus and 50 cells in anaphase-telophase were analyzed to determine the frequency of chromosomal aberrations, such as chromosomal fragments and losses and bridges, following the criteria used by Leme and Marin-Morales (2008). Five slides were analyzed per treatment, totaling 2500 cells for mitotic index and micronucleus analysis, and 250 cells for chromosomal aberrations analysis. The mitotic index, chromosomal aberrations and micronuclei frequencies were calculated according to the formula: frequency = (A/B) × 100, where A is equivalent to the total number of cells with a parameter to be analyzed, and B corresponds to the entire number of analyzed cells.

Statistical analysis was performed using ANOVA one-way followed by Tukey multiple comparison test, when appropriate. Significant difference was considered when $p < 0.05$.

3 | RESULTS

Physicochemical and microbiological parameters of activated sludge and floating emergent macrophyte filter systems effluents are shown in Table 1.

Parameter (mg.L ⁻¹)	Raw domestic sewage	Activated sludge system ¹	Floating emergent macrophyte system ²	Emission Pattern ¹	Emission Pattern ²
BOD ₅	320.0	36.0	115.0	80	150
COD	573.0	45.7	155.5	260	360
N-NH ₃	54,5	ND	50.3	20	20
Phosphorous	8.3	4.8	3.1	-	-
Suspended Solids	102.5	15.5	16.0	80	180
Aluminum	0.6	ND	ND	10	10
Chromium	ND	ND	ND	0.1	0.1

Zinc	0.2	0.1	0.02	2.0	2.0
Thermotolerant coliforms	29,000,000	500,000	3,300,000	10^5	-
ND – Not detected					

¹ – According to CONSEMA (State Environmental Council) Resolution no. 128 (Rio Grande do Sul, 2006): $500 \leq Q < 1000$ ($m^3 \cdot d^{-1}$)

² – According to CONSEMA (State Environmental Council) Resolution no. 128 (Rio Grande do Sul, 2006): $20 \leq Q < 100$ ($m^3 \cdot d^{-1}$)

Table 1: Physicochemical and microbiological analysis of raw domestic sewage, activated sludge and floating emergent macrophyte filter

The State Environmental Council provides the limits for release of sewage into waterways, according to the flow of each season. By having a larger flow, the discharge limits for activated sludge system is much more restrictive than for the floating emergent macrophyte filter system.

The floating emergent macrophyte filter system did not reach the necessary efficiency for ammoniacal nitrogen disposal, unlike the activated sludge system. In contrast, the floating emergent macrophyte system showed better phosphorous removal, compared to the activated sludge system. COD, BOD_5 , suspended solids and termotolerant coliforms met the legal criteria for both treatments. Activated sludge system removed 88.7% for BOD_5 , 92% for COD, 42.2% for phosphorus, 85% for suspended solids and 98.3% for termotolerant coliforms. Moreover, all the ammoniacal nitrogen was removed. Concerning the floating emergent macrophyte filter system, it removed 64% of BOD_5 , 73% of COD, 63% for phosphorus, 84.4% for suspended solids and 88.6% for termotolerant coliforms. Concentrations of aluminum and chromium were not detected in any effluents after both treatments, while zinc was detected in both of them.

The results from the *A. cepa* are shown in Table 2. The mean mitotic index was 53.64 for control group. In seeds exposed to different concentrations of the activated sludge treatment, the mitotic index ranged from 38.21 to 53.13, while a variation of 46.8 to 49.13 was found in seeds exposed to the effluent from the floating emergent macrophyte filter treatment. In general, low frequencies of micronuclei and chromosomal aberrations were found in meristematic cells of *A. cepa* exposed to the sewage treatment plant samples and in control group. No significant differences in mitotic index, micronucleus and chromosome aberrations were observed among the negative control and effluent samples from the sewage treatment plant.

Treatment	Mitotic index	Micronucleus	Chromosomal aberrations
Negative control	53.64 ± 12.57	0.0 ± 0.0	0.40 ± 0.90
Activated sludge 25%	54.46 ± 25.07	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
Activated sludge 50%	53.13 ± 29.37	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
Activated sludge 100%	38.21 ± 9.78	0.0 ± 0.0	1.00 ± 1.15

Macrophyte system 25%	49.80±26.73	0.50±2.15	2.00±8.62
Macrophyte system 50%	51.26±19.38	1.00±4.30	1.00±4.31
Macrophyte system 100%	46.80±17.03	0.0±0.0	1.33±4.84

Data expressed as mean±standard deviation.

Table 2: Mitotic index and frequency of micronuclei and chromosome aberrations in *Allium cepa* seeds exposed to different concentrations of effluents from two different sewage treatment systems

4 | DISCUSSION

Due to the discharge of treated and untreated sewage into rivers and lakes, there is a concern that chemical substances may harm organisms in the ecosystems as well as humans, by accumulation in the food chain (GRISOLIA et al., 2005). It has been shown that in large metropolitan areas, municipal wastewaters constitute in complex mixture of substances, containing a wide range of pollutants from a variety of sources (WHITE & RASMUSSEN, 1998). Thus, in addition to physicochemical characterization, the *A. cepa* test has been successfully used to detect the potential induction of cytogenetic alterations on wastewater from different sources.

Regarding to physicochemical analyses, despite the floating emergent macrophyte system had presented better removal of phosphorous and met the legal criteria for BOD_5 , COD, suspended solids and thermotolerant coliforms, in general, the activated sludge system showed better efficiency than the floating emergent macrophyte system. In a study conducted in this same municipal wastewater treatment plant previously, Goldoni et al. (2014) found that thermotolerant coliforms and phosphorous did not meet the legal criteria for the floating emergent macrophyte system. Besides, the study was conducted during the startup of the system (within the first year of its implementation). The better results obtained by the current study for these parameters demonstrate an improvement in this system. However, since its efficiency is not suitable yet, continuous chemical monitoring and changes in the operating dynamics are planned in order to optimize and improve this system.

Because the use of the floating macrophyte filter system is recent, there is a lack of studies assessing this technology using bioassays. Firbas and Amon (2013) observed a decreased level of genotoxicity in meristematic onion cells exposed to effluents from a constructed wetland which received domestic sewage. Grisolia et al. (2005) also did not observe significant differences between the frequencies of chromosomal aberrations in onion bulbs exposed to crude sewage and effluents from a municipal wastewater treatment plant. Accordingly, in this study, there was no significant difference among groups regarding the *A. cepa* assay. However, a decrease in the mitotic index in the

most concentrated samples from both treatments when compared to control was observed, especially in the activated sludge, which suggests the presence of cytotoxic agents in the sample. However, since micronucleus and chromosomal aberrations were rare in both samples, it indicates that effluents from both treatments were not genotoxic, despite the differences in the removal efficiency of substances evidenced by the physicochemical characterization. Besides, it is important to highlight that the floating macrophyte filter system is not fully implemented in the municipal wastewater treatment plant. Thus better results for sewage treatment could be obtained for this technology after attending all the criteria related to its installation.

Overall, the physicochemical and microbiological characterization combined with plant assay provided additional knowledge about two sewage treatment systems in the present study, demonstrating that the floating emergent macrophyte filter system is a promising alternative technology in sewage treatment.

REFERENCES

- FELISBINO, K.; SANTOS-FILHO, R.; PIANCINI, L. D. S.; CESTARI, M. M.; LEME, D. M. Mesotrione herbicide does not cause genotoxicity, but modulates the genotoxic effects of Atrazine when assessed in mixture using a plant test system (*Allium cepa*). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 150, p. 83-88, 2018.
- FERNANDES, T. C. C.; MAZZEO, D. E. C.; MARIN-MORALES, M. A. Mechanism of micronuclei formation in polyploidized cells of *Allium cepa* exposed to trifluralin herbicide. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 88, p. 252-259, 2007.
- FIGUEIREDO, J. A. S.; DRUMM, E.; RODRIGUES, M. A. S.; SPILKI, F. R. The Rio dos Sinos watershed: an economic and social space and its interface with environmental status. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, n. 4, p. 1131-1136, 2010.
- FIRBAS, P.; AMON, T. *Allium* chromosome aberration test for evaluation effect of cleaning municipal water with constructed wetland (CW) in Sveti Tomaz, Slovenia. **Journal of Bioremediation & Biodegradation**, v. 4, n. 4, p. 1-5, 2013.
- FISKESJO, G. The *Allium cepa* test as a standard in environmental monitoring. **Hereditas**, v. 102, n. 1, p. 99-112, 1985.
- FRANKLIN, N. M.; STAUBER, J. L.; APTE, S. C.; LIM, R. P. Effect of initial cell density on the bioavailability and toxicity of copper in microalgal bioassays. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 21, p. 742-751, 2002.
- GOLDONI, A.; GOLFETO, C.; TEIXEIRA, J. B.; BLUMM, G.; WILHELM, C. M.; TELÖKEN, F.; BIANCHI, E.; SCHMITT, J. L.; GEHLEN, G.; RODRIGUES, M. A. S.; SILVA, L. B. Cytotoxic and genotoxic evaluation and chemical characterization of sewage treated using activated sludge and a floating emergent-macrophyte filter in a municipal wastewater treatment plant: a case study in Southern Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 72, n. 5, p. 1503-1509, 2014.
- GOMES, J. V.; TEIXEIRA, J. T. S.; LIMA, V. M.; BORBA, H. R. Induction of cytotoxic and genotoxic effects of Gandu River in the *Allium cepa* system. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 1, pg. 48-58, 2005.
- GRANT, W. F. The present status of higher plant bioassays for the detection of environmental mutagens. **Mutation Research**, v. 310, n. 2, p. 175-185, 1994.

GRISOLIA, C. K.; OLIVEIRA, A. B. B.; BONFIM, H.; GUIMARÃES, M. N. K. Genotoxicity evaluation of domestic sewage in a municipal wastewater treatment plant. **Genetics and Molecular Biology**, v. 28, n. 2, p. 334-338, 2005.

HEADLY, T.R.; TANNER, C. C. Constructed wetlands with floating emergent macrophytes: an innovative stormwater treatment technology. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 42, p. 2261-2310, 2012.

HOSHINA, M. M.; MARIN-MORALES, M. A. Micronucleus and chromosome aberrations induced in onion (*Allium cepa*) by a petroleum refinery effluent and by river water that receives this effluent. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 72, p. 2090-2095, 2009.

LEME, D. M.; MARIN-MORALES, M. A. *Allium cepa* test in environmental monitoring: a review on its application. **Mutation Research**, v. 682, p. 71-81, 2009.

MAGDALENO, A.; JUÁREZ, A. B.; DRAGANI, V.; SAENZ, M. E.; PAZ, M.; MORETTON, J. Ecotoxicological and genotoxic evaluation of Buenos Aires City (Argentina) hospital wastewater. **Journal of Toxicology**, p. 1-10, 2014.

MARTINS, M. N. C.; SOUZA, V. V.; SOUZA, T. S. Cytotoxic, genotoxic and mutagenic effects of sewage sludge on *Allium cepa*. **Chemosphere**, v. 148, p. 481-486, 2016.

RANK, J.; NIELSEN, M. H. Genotoxicity testing of wastewater sludge using the *Allium cepa* anaphase-telophase chromosome aberration assay. **Mutation Research**, v. 418, p. 113-119, 1998.

RODRIGUES, G. Z. P.; DALZOCCHIO, T.; GEHLEN, G. Uso do bioensaio com *Allium cepa* L. e análises físico-químicas e microbiológicas para avaliação da qualidade do Rio da Ilha, RS, Brasil. **Acta Toxicologica Argentina**, v. 24, n. 2, p. 97-104, 2016.

SOMMAGGIO, L. R. D.; MAZZEO, D. E. C.; SANT'ANNA, D. A. S.; LEVY, C. E.; MARIN-MORALES, M. A. Ecotoxicological and microbiological assessment of sewage sludge associated with sugarcane bagasse. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 147, p. 550-557, 2018.

WHITE, P.; RASMUSSEN, J. B. The genotoxic hazard of domestic wastes in surface waters. **Mutation Research**, v. 410, p. 223-236, 1998.

DANOS AO MEIO FÍSICO NA URBANIZAÇÃO DE SANTARÉM-PA: ESTUDO DE CASO NO BAIRRO SANTARENZINHO

Eduardo Francisco da Silva

Programa do Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, IG - UFPA, (93) 991069075, efrancisco_geo@hotmail.com;

Arthur Iven Tavares Fonseca

Programa do Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, IG - UFPA, arthur_iven@hotmail.com

Anderson Conceição Mendes

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará – UFPA, anderson.mendes@ufopa.edu.br

Fábio Góis da Mota

Universidade Federal do Oeste do Pará, f.motastm@gmail.com

uma vez que, a serra não apresenta cobertura vegetal. O igarapé do Irurá, curso d'água que corta o bairro, é fortemente afetado pelo grande volume de sedimentos transportados pelas enxurradas e está parcialmente assoreado. A falta de controle urbanístico e o grande crescimento demográfico, aliados a falta de conhecimento técnico foram fatores importantes para gerar os impactos observados no bairro do Santarenzinho.

PALAVRAS-CHAVE: Erosão; Serra do Índio; Santarenzinho.

ABSTRACT : The disorderly growth in the urban area of Santarém generated main impacts observed, especially in Santarenzinho neighborhood. The disorderly occupation was responsible for more class II material in the building. Indian Hill, Santarenzinho neighborhood, for long time provided a lot of inputs for housing construction and infrastructure Santarém-PA city, reaching the order of 14.000m³ of material removed in twelve years. Removal of materials without technical accentuated erosion in the area. Actions of the meteoric water aggravated still more situation as generated erosion of the laminar type, since the saw was without vegetation coverage. The Irurá River cuts through the neighborhood, is strongly affected by the large volume of sediment transported by the floods and is silted

RESUMO: O crescimento desordenado na área urbana de Santarém gerou grandes impactos observados, principalmente no bairro de Santarenzinho. A ocupação desordenada foi responsável por grandes necessidades de material classe II para emprego nessas construções. A Serra do Índio, no bairro do Santarenzinho, por muito tempo forneceu uma grande quantidade de insumos para as obras de moradia e infraestrutura do município Santarém-PA, chegando à ordem de 14.000m³ de material retirado em doze anos. A retirada sem critérios técnicos acentuou processos erosivos na área. Ação da água meteórica agravou ainda mais a situação, pois gerou erosão do tipo laminar,

partially. The urban control lack and the great growth of the population, coupled with lack of technical knowledge were important factors in generating the impacts observed in Santarenzinho the neighborhood.

KEYWORDS: Erosion; Serra do Índio; Santarenzinho

1 | INTRODUÇÃO

A expansão urbana do município de Santarém-PA deflagrou um aumento pela procura de materiais classe II, aqueles empregados diretamente pela construção civil. Santarenzinho, bairro da zona oeste do município, abriga um morro residual denominado de Serra do Índio que por muitos anos supriu a necessidade do município por esses minerais.

De acordo com os relatos de antigos moradores e reportagem apresentada por Rodrigues (2011), a Serra do Índio forneceu material para a implantação dos grandes projetos de infraestrutura do município como a construção do aeroporto, orla, porto, viaduto e avenidas. Para o desmonte do morro, foi realizada a supressão vegetal, expondo o solo, favorecendo os processos erosivos.

Neste contexto, este trabalho teve por objetivo identificar os processos erosivos presentes na Serra do Índio, analisar a destinação dos sedimentos e estimar o volume de material extraído/erodido no período de 2002 a 2014.

2 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

2.1 Localização e Acesso

Santarém pertence à mesorregião do Baixo Amazonas e à microrregião homônima ao município. É uma importante cidade da região oeste do Estado do Pará e faz fronteira com onze municípios (IDESPA, 2013). A sede municipal possui as seguintes coordenadas 02°25'30"S e 54°42'50"W.

A área de estudo é o bairro do Santarenzinho, zona oeste da cidade, e apresenta as seguintes coordenadas 02°27'36" S e 54°44'30" W, sendo o acesso principal ao bairro pela Rua Tomé de Souza (figura 1).

2.2 Caracterização Geológica

O município de Santarém localiza-se na porção central da bacia do Amazonas, assentado sob o Grupo Javari, de transição Meso-Cenozóico, composto pelas Formações Alter do Chão e Solimões. A litologia da região é essencialmente sedimentar, do tipo siliciclásticas com arenitos, conglomerados e rochas pelíticas (Cunha *et al.*, 2007; Mendes *et al.*, 2012), com baixa incidência fossilífera. Sobre os depósitos da Fm.

Alter do Chão ocorre expressiva camada laterítica ferruginosa que segundo (Boulangé & Carvalho, 1997) corresponde aos paleossolos de idade Paleógeno (~65 Ma a ~22 Ma).

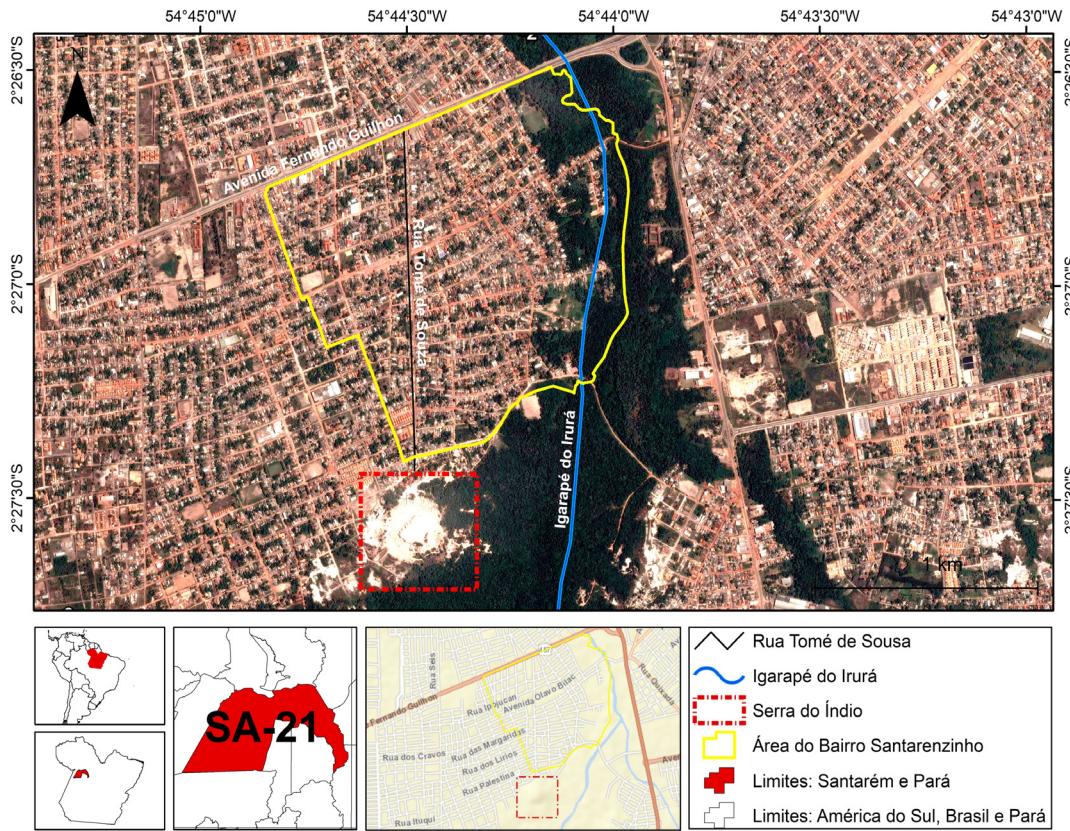


Figura 1: Mapa de localização da área de trabalho.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

A abordagem metodológica de um estudo é fundamental, pois influenciará nos estudos de caso, incidindo substancialmente nos resultados (Yin, 2001). Nesse trabalho o método empregado dividiu-se em três principais fases, são elas:

- Coleta de dados: concentrou-se na busca por informações em artigos científicos, levantamentos em bancos de dados de órgãos federais, estaduais e municipais, assim como nas fontes de comunicação de massa, como *blogs*, *sites*, revistas e jornais divulgados por meio da rede mundial de computadores, *internet*.
- Trabalho de campo: descrição litológica da área, registro fotográfico, medição das estruturas, entrevista com comunitários e retificar e/ou ratificar os dados obtidos de forma remota.
- Pós campo: confecção das bases cartográficas, análises das amostras, tratamentos das imagens fotográficas, interpretação do contexto geológico e produção textual.

Fez-se uso de martelo geológico estratigráfico (Estwing) tamanho médio, lupa com capacidade de aumento em 30x (Five Elements), fita métrica de 5 metros (Tramontina), GPS modelo Etrex10 (Garmin), câmera fotográfica modelo Finepix S (Fuji) e bússola geológica (Brunton).

Os dados cartográficos foram elaborados utilizando o software ArcGIS versão 10.1, a partir da interpretação das imagens de satélite (*Google Earth*) georreferenciadas. Para realizar o cálculo do volume, considerou-se a forma da Serra do Índio como um tronco de cone (figura 2).

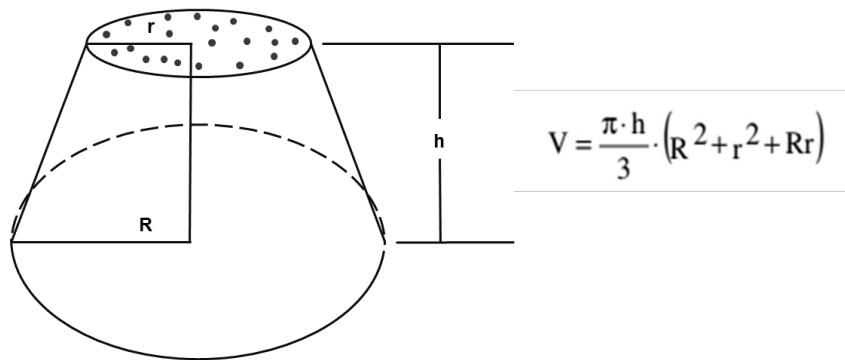


Figura 2 – Modelo de tronco de cone e fórmula para cálculo do volume. Adaptado de Veiga (2007)

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na área do desenvolvimento deste trabalho, o afloramento Serra do Índio, representa a Formação Alter do Chão, constituída por arenitos de granulometria variando de média a grossa, grãos no intervalo de subarredondados a arredondados, com estratificação cruzada tabular e acanalada. De maneira pontual encontram-se conglomerados, uma porção argilosa e uma camada ferruginosa (figura 3).

Na base da Serra do Índio ocorrem várias feições de erosões verticais, tais como sulcos, ravinas e voçorocas (figura 4), desencadeadas pela ação da chuva em contato com o solo. Movimentos gravitacionais de massa do tipo blocos rolados foram observados (figura 5).

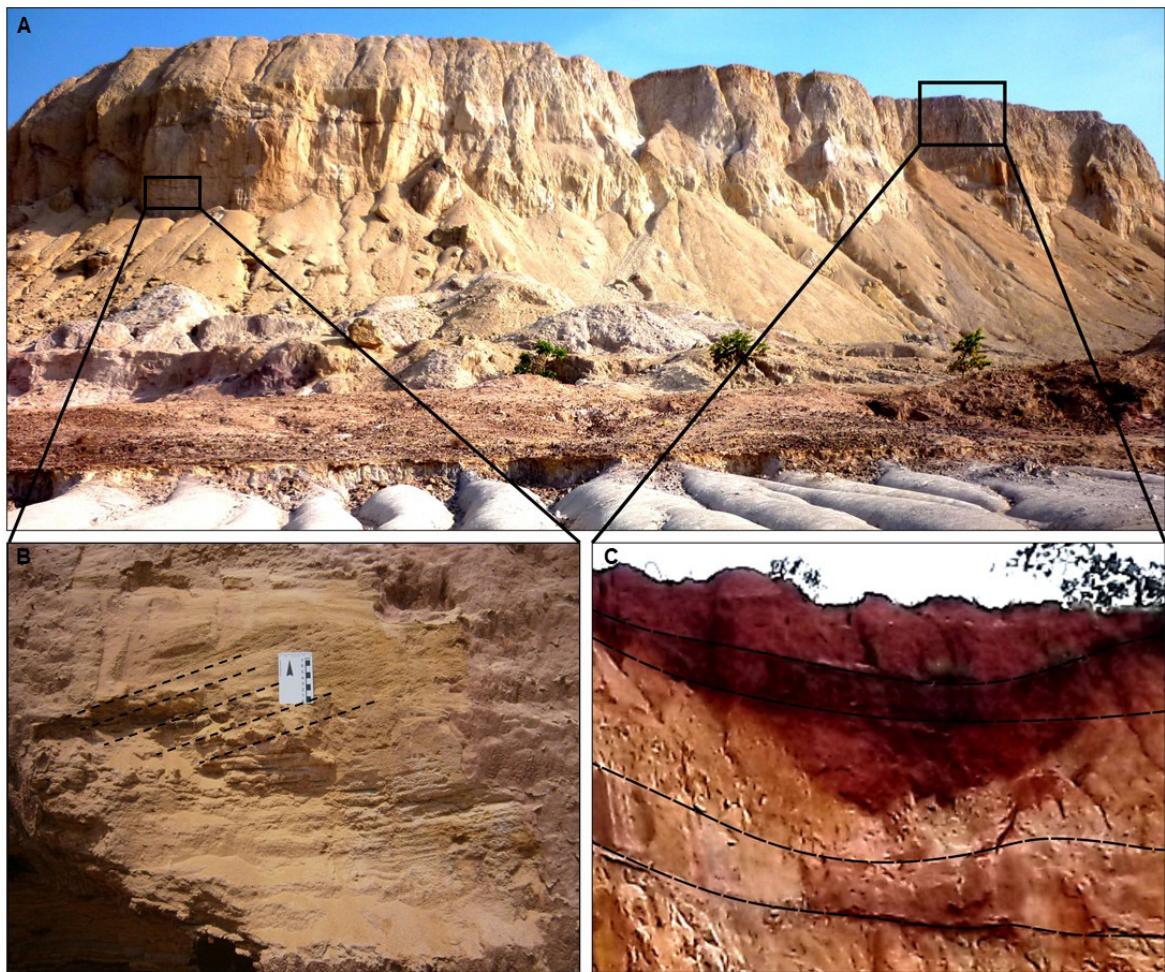


Figura 3 – Aspectos gerais da área em estudo. A) Serra do Índio representativo da Fm. Alter do Chão; B) Estrutura cruzada tabular; C) Camada ferruginosa.

De acordo com o IPT (1986), a erosão ocorre devido à desagregação das partículas que constituem o solo, onde não há intervenção, a erosão passa a ser mais intensa ao longo do tempo. Os efeitos da erosão são agravados nas áreas desprovidas de vegetação (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

Os sedimentos erodidos são transportados pela enxurrada, sob a forma de fluxo laminar, atingido o curso d'água existente no bairro, igarapé do Irurá (figura 6). Esse tipo de transporte é o principal responsável pelo aporte de grande quantidade de sedimentos nos rios, provocando os assoreamentos (PROIN/CAPES & UNESP/IGCE, 1999). Observa-se que na Serra do Índio, o principal agente desagregador são as águas meteóricas. Apesar de ser um processo natural, o assoreamento é intensificado pelas ações antrópicas (Marcondes, 2011).



Figura 4 – Feições de erosões provocadas pela ação das águas meteóricas.



Figura 5 – Movimentos gravitacionais de massa do tipo blocos rolados.



Figura 6 – Grande volume de sedimentos em suspensão e assoreamento parcial do igarapé do Irurá.

A expansão urbana irregular aliada ao crescimento demográfico do município de Santarém foi responsável por uma grande demanda de materiais classe II para emprego nas construções. No bairro do Santarenzinho, a Serra do Índio, se consistiu do principal fornecedor desses materiais. Sua natureza clástica (areia, seixo e argila) foi o principal fator para que fossem extraídos de sua área esses materiais. Outro fator preponderante para essa extração desordenada ocorrer nesse bairro foi à proximidade do centro da cidade facilitando assim o transporte para frente de obras.

No período de doze anos (2002 a 2014) considerado nesse estudo é possível observar que, a retirada sem critérios técnicos ensejados pelo crescimento desordenado da cidade, foi retirada da Serra do Índio um volume de 14.059 m³ de sedimentos (figura 7) como demonstrado na tabela 1.

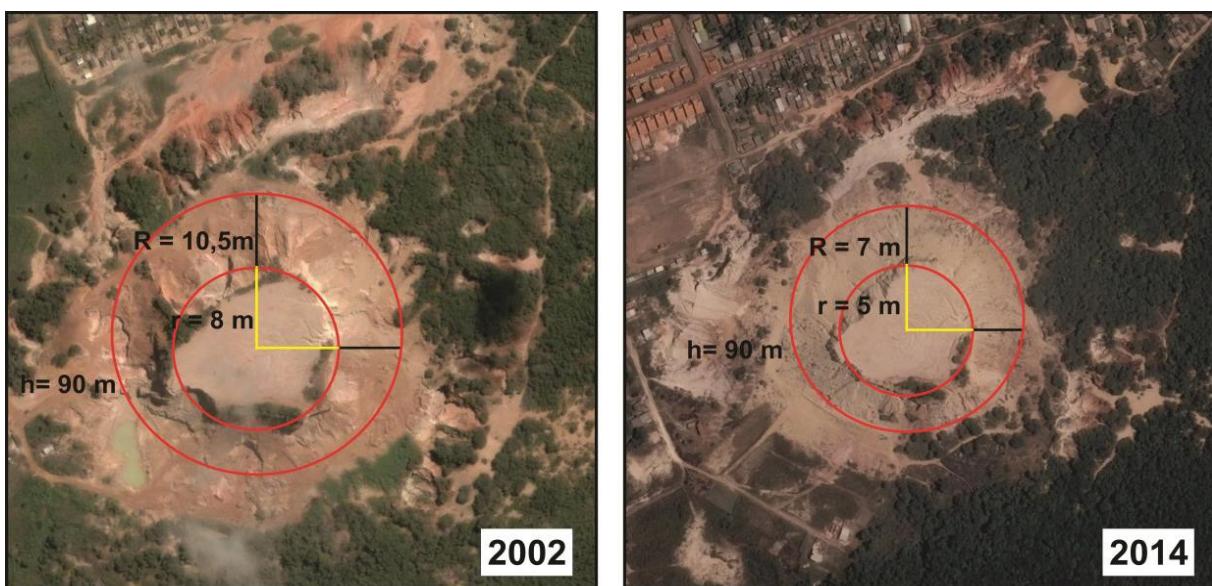


Figura 7: Serra do Índio nos anos de 2002 e 2014, e indicação do cálculo de volume.

Ano	
2002	2014
$V = \frac{3,14 \times 90 \times (10,5^2 + 8^2 + (10,5 \times 8))}{3}$	$V = \frac{3,14 \times 90 \times (7^2 + 5^2 + (7 \times 5))}{3}$
$V = 94,2 \times 258,25$	$V = 94,2 \times 109$
$V = 24.327 \text{ m}^3$	$V = 10.268 \text{ m}^3$
$V (\text{m}^3) = 24.327 - 10.268 \rightarrow V_{\text{final}} = 14.059 \text{ m}^3$	

Tabela 1. Cálculo da estimativa de volume perdido pela Serra do Índio entre 2002 a 2014.

Sendo assim, grande quantidade do material total extraído da serra, em sua maioria, foi empregado nas construções e obras de infraestrutura, e o que não teve tal destinação foi: a) carreado para o lago do Mapiri ou, b) depositou-se nas ruas e no igarapé do Irurá. O igarapé do Irurá, em determinados trechos, encontra-se

parcialmente assoreado.

Por estes motivos descritos, alguns comunitários defendem a retirada completa da Serra do Índio, e que o local seja disponibilizado para moradia popular. Este pensamento é advogado pela empresa R. Branco Engenharia que, segundo reportagem assinada por Cardoso (2011), afirma que em breve espaço de tempo o igarapé do Irurá e o lago do Mapiri estarão totalmente assoreados.

5 | CONCLUSÕES

Baseado nos dados apresentados e discutidos chegou-se as seguintes conclusões:

- A ocupação desordenada em Santarém gerou grande procura por material de construção civil. O bairro do Santarenzinho foi afetado com essa busca, pois nele está localizada a Serra do Índio, principal fonte desses sedimentos;
- As feições erosivas observadas na área de estudo são reflexos da incidência direta da água das chuvas sob o solo, uma vez que a superfície da Serra do Índio não possui proteção da cobertura vegetal;
- Os sedimentos que não foram empregados nos projetos de estruturação do município estão depositando-se nas áreas de menor cota topográfica e no igarapé do Irurá, acarretando no assoreamento parcial do mesmo e;
- Acredita-se que entre extração e erosão, a Serra do Índio tenha perdido um volume de aproximadamente 14.059 m³ entre os anos de 2002 a 2014.

6 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Engenharia e Geociências da UFOPA pelo suporte técnico, logístico e financeiro. Também agradecem ao geólogo Livaldo Santos pela ajuda no trabalho de campo.

REFERÊNCIAS

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. (1990). *Conservação do Solo*. São Paulo, 355p.

BOULANGÉ, B. & CARVALHO, A. "The Bauxite of Porto Trombetas In: Carvalho A., Boulangé B., Melf A.J., Lucas Y. Brazilian Bauxites", p55-73. São Paulo, 1997.

CARDOSO, M. "Serra do Índio Ameaça Soterrar Bairro do Santarenzinho". Jornal O Impacto. Santarém, 2011. In <http://www.oimpacto.com.br/santarem/serra-do-indio-ameaca-soterrar-bairrodo-santarenzinho/>; último acesso: 12/02/2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. *Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe/Paranapanema*. São Paulo: IPT/DAEE. 1986. Vol. 6. (Relatório 24:739).

MARCONDES, C. R. 2011. *Estudo de descarga sólida em suspensão nos cursos d'água da Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí*. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Itajubá, MG.

MENDES, A. C.; TRUCKENBROD, W.; NOGUEIRA, A. C. R. 2012. “*Análise faciológica da Formação Alter do Chão (Cretáceo, Bacia do Amazonas), próximo à cidade de Óbidos, Pará, Brasil*”. In: Revista Brasileira de Geociências. nº 1, Vol. 42, p. 39-57.

PEREIRA, A. R. *Como Selecionar Plantas para Áreas Degradas e Controle de Erosão*. Nota Técnica, 2000, 88p.

PROIN/CAPES & UNESP/IGCE. (1999). *Material didático*. Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada.

RODRIGUES, L. “*Degradação Avançada sobre a Serra do Índio*”. Blog do Jeso. 2011. In <http://www.jesocarneiro.com.br/cidade/degradacao-avanca-sobre-a-serra-do-indio.html>; último acesso: 12/02/2015.

VEIGA, L. A. K. *Cálculos de Volumes. Notas de aulas: Levantamentos Topográficos II*. 2007, 53p. YIN, R. K. *Estudo de Caso: Planejamento e Métodos*. 2^a ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 205p.

PREVISÃO E MITIGAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS A ATIVIDADES DE CORTE E ATERRO

Christiane Ribeiro Müller

Universidade do Extremo Sul Catarinense –
UNESC
Criciuma – Santa Catarina

Flávia Cauduro

Universidade do Extremo Sul Catarinense –
UNESC
Criciuma – Santa Catarina

no Estado de Santa Catarina. Os resultados, além de buscar o melhor aproveitamento da área, buscam entender e mitigar os impactos ambientais inerentes ao processo. A abordagem do estudo combina a caracterização geológica regional com os impactos previstos oriundos pela atividade. A pesquisa foi dividida em análise do problema, levantamento de dados existentes e de campo e estudo dos impactos relacionados a atividade. Os resultados obtidos no estudo preveem o entendimento e a mitigação dos impactos ambientais inerentes as atividades de corte e aterro, propondo uma metodologia sustentável para a atividade.

PALAVRAS-CHAVE: Impacto ambiental. Meio ambiente. Estudo de caso.

ABSTRACT: The advance of industrialization with urban and population growth increase the opportunities related with engineering work. The better use of space, costs related to projects and execution when optimized are always on mind. In parallel, there is a need for areas adaptation, often not flat, for engineering works. It means that those areas need terrestrial relief conformation as earthwork projects. The paper is a case study done in Santa Catarina State of Brazil. The results desire to understand and mitigate the environmental impacts inherent to the process. The approach of the study combines regional geological characterization

RESUMO: O avanço da industrialização e o consequente crescimento urbano e populacional, geram a necessidade do aproveitamento dos espaços urbanos. Este é um ponto bastante discutido, já que, quando de sua viabilidade, custos relacionados a projetos e execução são otimizados. Ainda, em paralelo aos fatos expostos, está a necessidade de readequação de áreas, muitas vezes não planas, visando obras de engenharia, o que nos depara com as necessidades de projetos de corte e aterro. O serviço de corte e aterro, também conhecido como terraplenagem, tem como objetivo a conformação do relevo terrestre para implantação de obras de engenharia. É uma operação destinada a conformar o terreno existente conforme diretrizes descritas em projeto, podendo ser dividida em escavação ou corte de materiais e aterro ou deposição de materiais escavados. O trabalho é um estudo de caso referente a um projeto de terraplenagem

with the expected impacts and was divided into problem analysis, survey of existing and field data and study of impacts related to activity. The results predict the understanding and mitigation of the environmental impacts, proposing a sustainable methodology for the activity.

KEYWORDS: Environmental impact. Environment. Case study.

1 | INTRODUÇÃO

Com o avanço da industrialização e o consequente crescimento urbano e populacional, o ramo da construção civil permanece exercendo um papel fundamental para o desenvolvimento do país. Em contrapartida, a construção civil gera, na maioria das vezes, a necessidade de readequação de áreas, muitas vezes não planas, visando a instalação de obras. Tal realidade para as obras de engenharia impacta, diretamente, na necessidade de projetos de corte e aterro. Serviços de corte e aterro, também conhecido como terraplenagem, têm como objetivo a conformação da geomorfologia para implantação das obras. Por definição, é uma operação de conformação do terreno local já existente ao desejado conforme especificado em projeto. Tal condição de readequação das áreas pode ser dividida em corte, referente a etapa de escavação dos materiais e aterro, quando ocorre a deposição e compactação de materiais escavados e/ou provenientes de áreas de empréstimo.

De acordo com Souza (2014), a atividade de terraplenagem é uma necessidade comum presente nas obras de engenharia, não importando seu porte, já que é consequência da geomorfologia presente e não da estrutura necessária.

Os trabalhos de movimentação de terra e de desmonte de materiais in natura necessários à abertura de vias de transporte, obras gerais de terraplenagem e de edificações estão baseadas na Portaria nº 441 de 11 de dezembro de 2009, do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), autarquia federal ligada diretamente ao Ministério de Minas e Energia.

Com base no contexto descrito acima, o presente estudo visa apresentar uma proposta de projeto de corte e aterro para a substância in loco caracterizada como silte argiloso, visando a mitigação de impactos decorrentes da atividade.

2 | SÍNTESE DA GEOLOGIA LOCAL

O presente estudo está situado na região sul do estado de Santa Catarina. Está geologicamente associada, de acordo com o Serviço Geológico Brasileiro, à Bacia Sedimentar do Paraná, mais especificamente na Formação Botucatu e aos Granitóides Migmatitos do Domínio Interno, no Estado de Santa Catarina. Compreende a unidade geomorfológica Planície Costeira, já que está situado na porção mais a leste do território de Santa Catarina.

O solo na área de estudo, segundo classificação da EMBRAPA, caracteriza-se como cambissolo, cuja classificação compreende solos de matéria mineral. Como solos são sedimentos que podem ter sido transportados ou não, podem vir a apresentar heterogeneidade em sua composição. Além da heterogeneidade, as características dos solos podem ser influenciadas pelas condições de relevo e clima da região. Com isso, a região apresenta desde solos fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, com ocorrência de atividade química na fração argila. (EMBRAPA, 2006).

Devido ao fato do empreendimento não se apresentar em nível plano para futura realização de obra civil de ampliação, a proposta para movimentação de terras se faz necessária. Ao longo do estudo será especificado o volume de material a ser movimentado para a regularização do terreno bem como os impactos previstos.

3 | PREVISÃO DE VOLUMES DE CORTE E ATERRO

O levantamento planialtimétrico de detalhe foi realizado com equipamento de GPS geodésico (Receptor GNSS Geomax Zenith 20 RTK), que apresenta precisão centimétrica. A partir do levantamento das condições locais foi identificada apenas a necessidade de corte, já que o terreno alvo de terraplenagem está em alicve com relação à cota de arrasamento da área. Com o levantamento planialtimétrico foi possível prever, aproximadamente, a necessidade de 21.300,00m³ de material para realização de corte. Como se trata de silte argiloso, foi proposto 10% de fator de empolamento, devido à baixa desagregação do material, resultando no volume final de 23.430,00m³. Com base nos dados geológicos, é estimado que o material de corte seja composto basicamente de solo superficial com textura granular.

Com relação a configuração final, mantendo os padrões previstos para rocha sedimentar, foi recomendado taludes de altura máxima de 5 metros, inclinação máxima de 45° com a horizontal (1:1) e bermas de segurança de largura mínima de 4 metros. Desta forma, devido à diferença de cotas existente no terreno, a conformação final composta apresentou três taludes, dois com altura de 5,00 metros e um com altura de 4,00 metros, totalizando em 14,00 metros de altura total.

Após a conformação final da área, visando adequação ambiental, foi proposto o espalhamento de solo fértil seguido de posterior plantio de espécies rasteiras responsável por sua sustentação inicial. A revegetação associada com a manutenção do ângulo final (45°) assegura uma boa estabilidade para o talude, evitando a erosão do solo argiloso.

4 | DETERMINAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS

Modificações do meio ambiente, benéficas ou não, são impactos resultantes de atividades, produtos ou serviços de determinada região. Objetivando a preservação ambiental e a mitigação do impacto decorrente da atividade, o estudo para identificação dos impactos, aqui apresentado, foi desenvolvido em três fases. São elas: identificação das atividades e parâmetros físicos, metodologia de avaliação dos impactos e descrição dos impactos ambientais mais significativos.

Na fase inicial do projeto é importante identificar a necessidade de supressão vegetal bem como decapamento, a cessão de terraplanagem e, de posse da cessão e necessidades relacionadas com o transporte de material. Os parâmetros do meio físico afetados pela atividade estão relacionados às condições de qualidade do ar, geração de ruídos, qualidade do solo e da água. Para o ar foi considerada geração de poeiras e gases decorrente da movimentação de material e presença de equipamentos e maquinários na área. Para o solo, questões referentes às suas propriedades físicas que podem impactar na consequente deposição do material foram levantadas. Já com relação as águas, foram citados os sólidos sedimentáveis, óleos, graxas e resíduos decorrentes das atividades. O Tabela 1 apresenta os atributos considerados para avaliar os impactos identificados.

Com relação a manutenção da qualidade do ar, foi abordada a previsão de geração de poeira por parte das escavações e gases de efeito poluidor do ar devido a utilização de caminhões e máquinas que geram óxidos de carbono (CO, CO₂) e/ou de enxofre (SO₂, SO₃) devido as operações de motores e do ciclo diesel. A taxa de emissão desses gases é intermitente, já que o equipamento não permanece em constante funcionamento, o que impacta em baixas concentrações. Para o controle é exigido manutenção dos veículos e irrigação das terras.

Atributo	Descrição
Ordem	Identifica as consequências dos impactos como diretas ou indiretas
Valor	Avalia como positivo e/ou benéfico, ou negativo e/ou adversos os efeitos relacionados ao impacto ambiental gerado
Intensidade	Classifica a força do impacto como forte, fraca ou média
Reversibilidade	Indica a tendência, ou não, de reverter a condição analisada, levando em conta a possível aplicação das medidas mitigadoras propostas
Dinâmica	Relaciona prazos de ocorrência de impactos como imediato, médio ou longo
Tempo	Identifica a manifestação do impacto classificada como cíclico, contínuo ou descontínuo

Tabela 1 – Descrição de atributos para análise de impacto.

A geração de ruídos na fase de desenvolvimento das atividades se mostra

diretamente ligada à operação dos veículos/máquinas automotores. Considerando que se trata de uma área afastada do centro urbano o ruído gerado não terá influência sobre comunidades vizinhas. Nos casos em que os limites de tolerância estiverem acima do previsto em legislação vigente, os colaboradores deverão usar protetor auricular, não podendo ficar expostos tempo maior que o previsto em legislação vigente. O limite de tolerância para ruído, conforme a NR 15 – Atividades e Operações Insalubres é de 85 decibéis (dB).

Os resíduos sólidos são compostos pela fração de solo orgânico, separado durante o decapeamento da área e os possíveis estéreis gerados, provenientes da camada de cobertura localizada logo após a camada de solo fértil e os gerados através da lavra seletiva. Esses materiais necessitam armazenamento para posterior utilização na base da cava visando o nivelamento topográfico. Treinamento operacional se faz necessário para que outros resíduos, relacionados à falta de cuidados com o meio ambiente, não sejam gerados. Este impacto foi classificado como não significativo tendo em vista o projeto e controle ambiental aplicável.

A supressão de vegetação, quando identificada, é responsável por impactos físicos e bióticos, como alteração do regime de escoamento superficial e subterrâneo influenciando no processo erosivo, alteração da qualidade do solo, destruição de habitats, alteração de fauna e impacto visual. Quando da necessidade de supressão de vegetação, o licenciamento deve ocorrer conforme regras do órgão ambiental. Vale salientar que se trata de uma etapa imprescindível para a continuidade dos trabalhos.

Atributo	Ordem	Valor	Intensidade	Reversibilidade	Dinâmica	Tempo
Ar	Direta	Negativo	Fraca	Reversível	Imediata	Cíclico
Ruído	Direta	Negativo	Fraca	Reversível	Imediata	Cíclico
Solo	Direta	Negativo	Fraca	Reversível	Imediata	Cíclico
Vegetação	Direta	Negativo	Fraca	Reversível	Imediata	Cíclico

Tabela 2 – Resultado da análise dos atributos determinados para impacto ambiental.

5 | CONCLUSÃO

O projeto de movimentação de solos, neste caso uma cessão de corte para terraplanagem, deve ser projetado não somente visando a economicidade do empreendimento, mas também para facilitar o desenvolvimento das operações unitárias, atender os aspectos relativos à segurança operacional, do trabalho, controle ambiental e a reabilitação da área. Desta forma, com este estudo foi possível apresentar um panorama de impactos para uma atividade de corte e aterro. Com a aplicação desta ideia, se torna possível disciplinar o aproveitamento racional, considerando as condições técnicas e tecnológicas de operação, de segurança e de proteção ao

meio ambiente, de forma a tornar o planejamento e o desenvolvimento das atividades compatíveis com a busca permanente da produtividade, da preservação ambiental, da segurança e saúde dos trabalhadores.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- BOSCOV. Maria E. **Geotecnia ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012, 247 p.
- BRASIL. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. **Mapa Geológico De Santa Catarina**. Disponível em <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17996>>. Acesso em: janeiro de 2018.
- BRASIL. Ministério De Minas E Energia. **Portaria nº 441** de 11 de dezembro de 2009, do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Disponível em <http://www.dnpm.gov.br/acesso-a-informacao/legislacao/portarias-do-diretor-geral-do-dnpm/portarias-do-diretor-geral/portaria_dir_geral_dnpm_20091211_441>. Acesso em: janeiro de 2018.
- BRASIL. Ministério Do Trabalho. **Norma Regulamentadora N°15** – Atividades e Operações insalubres. Disponível em <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR15/NR-15.pdf>>. Acesso em: janeiro de 2018.
- POTTER, R. O.; CARVALHO, A. P. de; FLORES, C. A.; BOGNOLA, I. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Embrapa Solos. 2004. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/964417/solos-do-estado-de-santa-catarina>>. Acesso em: janeiro de 2018.
- SERNA, H.A.L. REZENDE, M.M. **Agregados para a construção civil**. 2013. Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados-minerais>>. Acesso em: janeiro de 2018.
- SOUZA, F.B.R. **Controle tecnológico aplicado a obras de terraplenagem – Estudo de caso da Via Expressa Transolímpica**. Projeto de Graduação de Curso. UFRJ, 2014.
- SPADOTTO, A. et. al. **Impactos ambientais causados pela construção civil**. Unoesc & Ciência – ACSA, Joaçaba, v. 2, n. 2, p. 173-180, jul./dez. 2011. Disponível em <https://editora.unoesc.edu.br/index.php/acsa/article/viewFile/745/pdf_232>. Acesso em: janeiro de 2018.

ESTUDOS GEOTÉCNICOS COMO SUBSÍDIO PARA CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E PROPOSIÇÃO DE TRILHAS INTERPRETATIVAS DO JARDIM BOTÂNICO DA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

Patrick Aloe Teixeira

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Departamento de Geociências
Seropédica – Rio de Janeiro

José Miguel Peters Garcia

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Departamento de Geociências
Seropédica – Rio de Janeiro

Isabela Martins Itabaiana

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Departamento de Geociências
Seropédica – Rio de Janeiro

trilha de interpretação ambiental aberta aos visitantes.

PALAVRAS-CHAVE : Erodibilidade, Caracterização Geotécnica, Trilhas, Jardim Botânico.

ABSTRACT: The proper management and conservation of a Botanical Garden are necessary from the knowledge of their physical environment. One of the main ways of studying the physical environment is the geotechnical characterization of soils, which is determined by the physical and mechanical properties in the areas of interest, evaluating their vulnerabilities, potentialities and their interaction with the forms of use and occupation. The objective of this work was to analyze the soil resistance through the field test using an impact penetrometer, and through the NBR method, the data obtained were correlated to soil moisture content. Therefore, this research raises the geotechnical parameters that evaluate the soil resistance of the Botanical Garden area of the Federal Rural University of Rio de Janeiro subsidized by the interpretation of geomorphological and topographic parameters.

KEYWORDS: Erodibility, Geotechnical Characterization, Trails, Botanical Garden.

RESUMO: O manejo e conservação adequados de um Jardim Botânico são necessários a partir do conhecimento de seu meio físico. Uma das principais formas de estudo do meio físico é a caracterização geotécnica dos solos, que se dá pelo levantamento das propriedades físicas e mecânicas dos mesmos nas áreas de interesse, avaliando as suas vulnerabilidades, potencialidades e sua interação com as formas de uso e ocupação. Desta forma, esta pesquisa levanta os parâmetros geotécnicos de erodibilidade e resistência ao impacto dos solos do Jardim Botânico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, subsidiados por interpretação de parâmetros de geomorfologia e topografia, com o objetivo de analisar o potencial erosivo superficial visando à proposição de

1 | INTRODUÇÃO

É notório, hoje em dia, que o fenômeno da erosão ocorre mais evidentemente devido aos processos erosivos causados pelos intemperismos físico e químico que são intensificados pela interferência antrópica, gerando assim, a aceleração do seu processo. As trilhas em geoparques e jardins botânicos expõem seus solos a processos como falta de vegetação, compactação por pisoteio, infiltração e escoamento da água da chuva, os quais se dão como principal fator de erodibilidade, causando caminhos de água no qual se configuram, formando feições erosivas superficiais como sulcos e ravinas.

Para que a degradação ambiental decorrente da instalação de trilhas propostas seja minimizada ou inexistente, seu planejamento e implantação são embasados em características do próprio meio físico, determinadas, analisadas e classificadas através do estudo dos solos por ensaios geotécnicos com a aplicação de técnicas de mecânica dos solos em campo e laboratório, o que é significativo em termos de estudos de potencial de estabilidade do meio físico.

O presente trabalho busca desenvolver estudos geotécnicos do meio físico do Jardim Botânico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro baseados em análises de mecânica dos solos, visando a sua caracterização geotécnica para o planejamento de trilhas interpretativas em ambiente digital.

2 | ÁREA ESTUDADA

A área estudada reúne informações coletadas na área do Jardim Botânico localizado dentro do campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro na cidade de Seropédica, RJ, onde a área estudada se estende por 16 hectares. O acesso ao local citado é feito por meio da rodovia BR 465, antiga Rio-São Paulo (Figura 1).

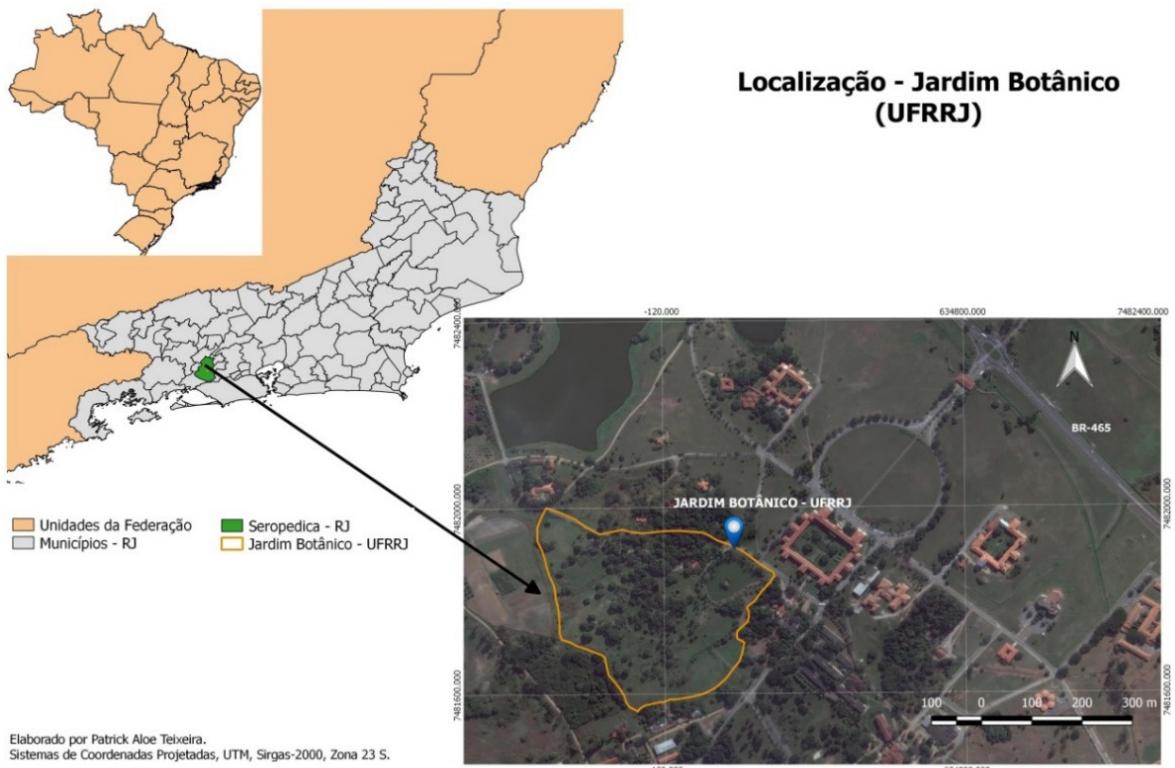


Figura 1. Limites da área de estudo compreendida no campus da UFRRJ em Seropédica, RJ.

Toda a área é coberta por vegetação de gramíneas onde, de maneira localizada foram plantadas espécies arbóreas de maior porte, assim, apenas na área administrativa podem ser observadas algumas construções como casa, garagem para tratores e estufa.

2.1.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A área do JB/UFRRJ possui relevo arrasado, relativamente plano, com amplitude topográfica de 13 metros, cotas variando entre 25 e 38 metros a.n.m., com seu ponto mais elevado apresentando cota de pouco mais de 38 metros. As partes mais baixas são representadas por duas áreas alagáveis situadas nos setores oeste e sul da área, com cotas em torno de 25 metros acima do nível do mar. No setor norte da área do Jardim Botânico existe um lago artificial escavado com forma aproximada de uma elipse, cujo eixo maior, com orientação Norte-Sul, mede cerca de 100 metros e o menor, Leste-Oeste, aproximadamente 70 metros. No centro do lago há uma ilha com o mesmo formato do lago, com eixo maior de 20 metros de extensão também orientado Norte-Sul e eixo menor Leste-Oeste com 10 metros. O ponto mais alto da ilha se situa a cerca de 2 metros acima do nível da água.

O espaço do Jardim Botânico não apresenta canais naturais de drenagem, mas existem dois canais artificiais para drenagem das águas pluviais. O primeiro deles cruzando toda a extensão da unidade na direção Noroeste-Sudeste, com caimento para Sudeste e outro na parte leste, orientado Norte-Sul, com caimento para Sul (Figura 2).

Caracterização - Jardim Botânico (UFRRJ)

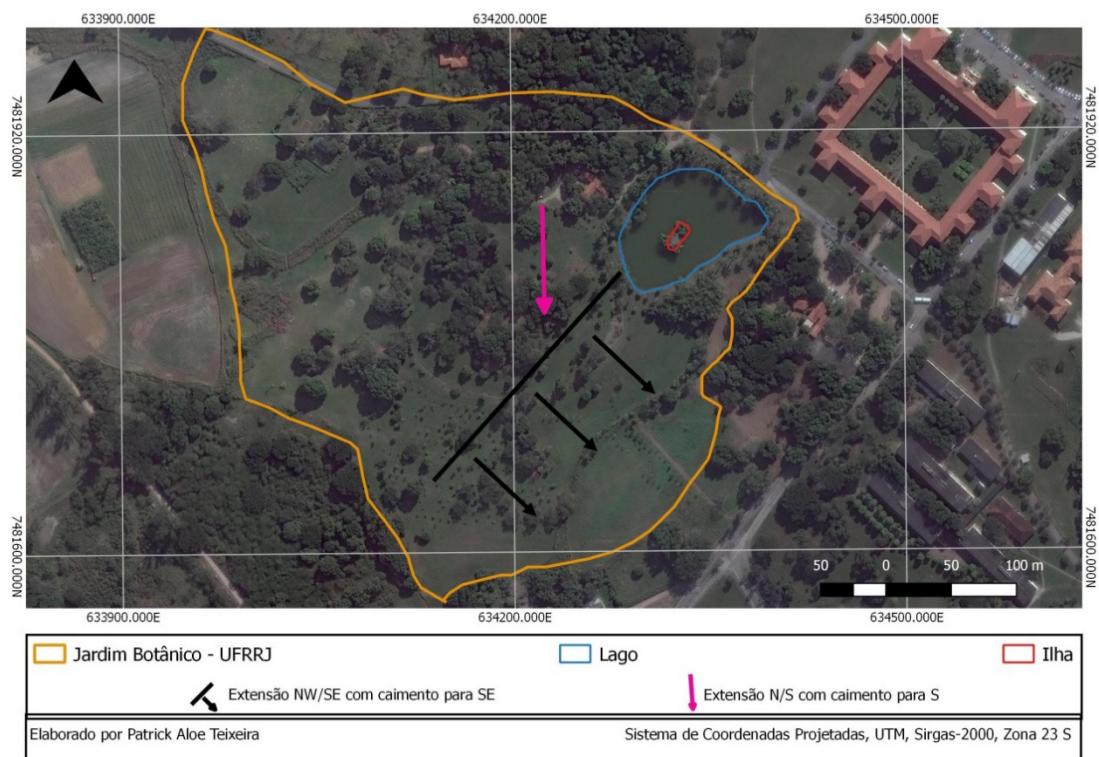


Figura 2. Caracterização do ambiente e configuração do escoamento superficial artificial.

2.1.2 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

Do ponto de vista geomorfológico da área, o mapa geomorfológico apresentado no Atlas Digital da UFRRJ apresenta duas unidades geomorfológicas distintas, a saber: Colinas Aplainadas, que ocupam a quase totalidade da área do Jardim Botânico e Rampas de Colúvio, que ocorrem próximas às áreas alagáveis, nos setores sul e oeste (Figura 3).

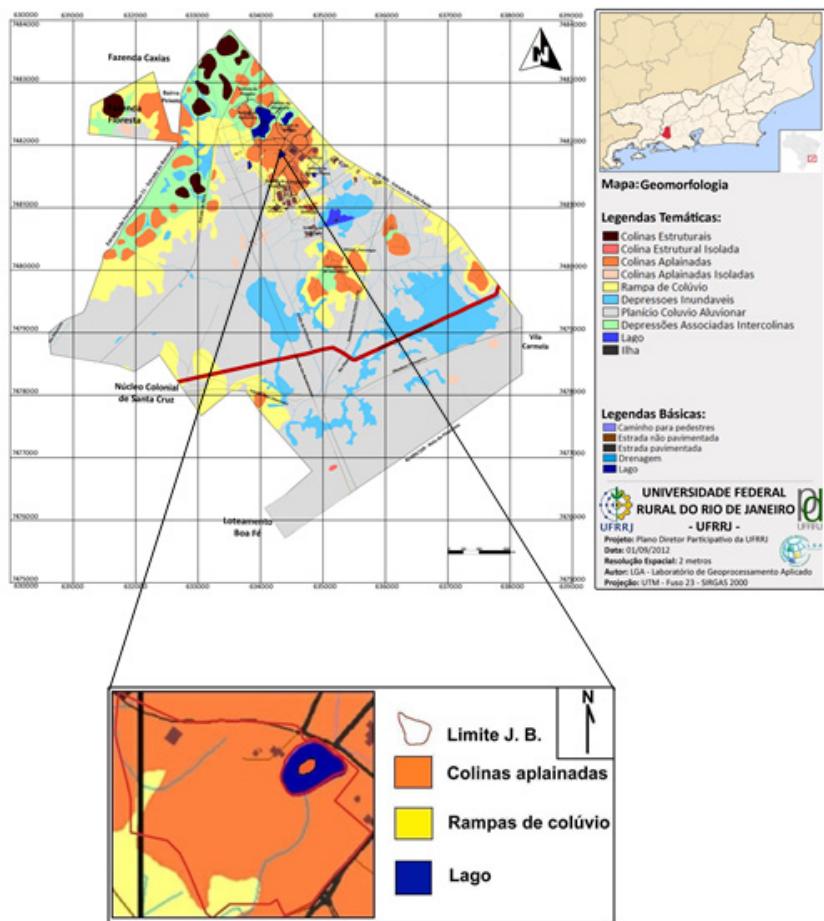


Figura 3. Mapa geomorfológico do Jardim Botânico da UFRRJ (LGA – UFRRJ, 2012).

2.1.3 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO/GEOTÉCNICA

Quanto à geologia da área, sabe-se que não existem afloramentos rochosos. Portanto, o Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro (DRM, 2001) apresenta a área sendo constituída por ortognaisses bandados da Unidade Rio Negro, nas áreas mais elevadas (Figura 4). Os terrenos de menor elevação são preenchidos por depósitos coluvionares. Os solos, do ponto de vista geotécnico, ocorrem como solos residuais de gnaisses, situados nas partes mais elevadas e solos transportados coluvionares, nas áreas dominadas por rampas de colúvio.

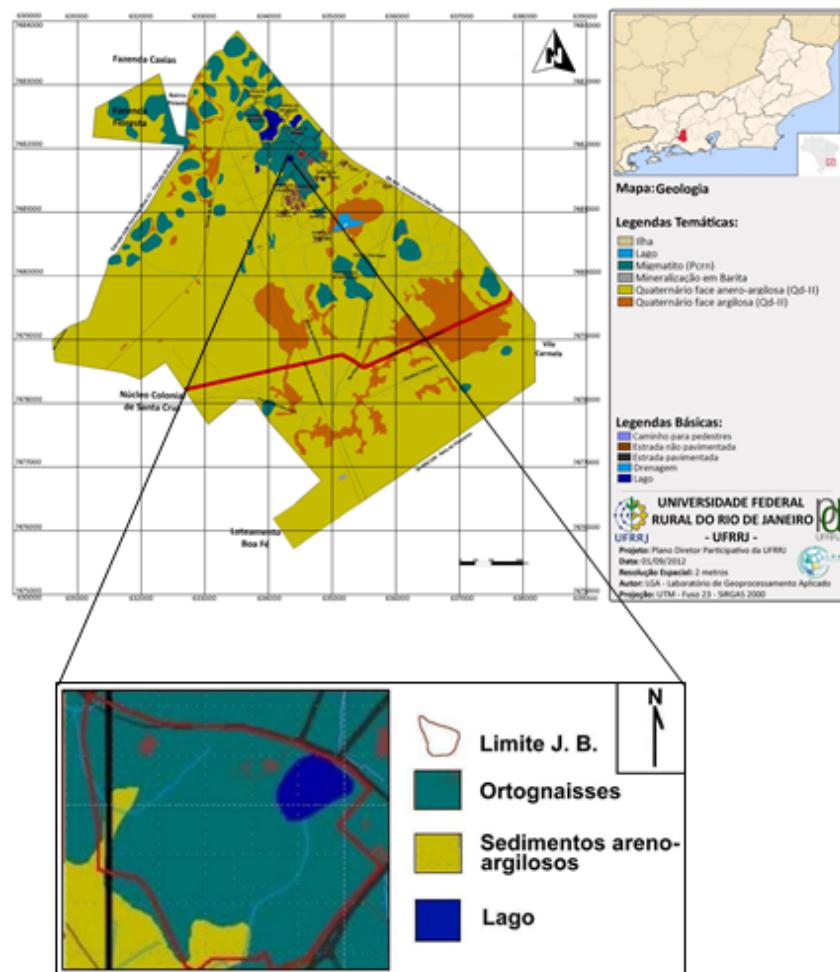


Figura 4. Mapa geológico do Jardim Botânico da UFRRJ (LGA – UFRRJ, 2012).

3 | TRABALHOS DE CAMPO E LABORATÓRIO

Os trabalhos de campo foram necessários para o reconhecimento da área e planejamento para a escolha de 12 pontos de estudo onde foi efetuada a coleta de amostras de acordo com as características geomorfológicas e topográficas do local (Figura 5).



Figura 5. Delimitação da área e pontos de estudo. (Google Earth, 2017).

Para esta etapa, foram realizados ensaios para estimativa de erodibilidade, segundo os procedimentos metodológicos propostos por NOGAMI & VILLIBOR (1979) e adaptados por PEJON (1992). O método consiste nos ensaios laboratoriais de absorção d'água (S) e perda d'água por imersão (P).

A realização do ensaio de infiltrabilidade foi utilizada com um equipamento constituído por um recipiente cilíndrico graduado em centímetros (cm) com as seguintes dimensões: 150 cm de comprimento e 2 cm de diâmetro. Em uma de suas extremidades foi acoplado um apresto, composto por um suporte para a fixação das amostras e uma placa porosa com as mesmas dimensões do amostrador de PVC usado na coleta do solo em campo (Figura 6).



Figura 6. (A) Ilustração das principais características do ensaio de absorção de água (S); (B) Ensaio de Absorção de água sendo executado em laboratório; (C) Amostra indeformada sendo parcialmente absorvida por água. Modificado de SOUZA & GASPERETTO (2010).

A amostra indeformada foi colocada no suporte sobre a pedra porosa e o tubo de vidro graduado foi preenchido com água, medindo-se no tubo as distâncias percorridas pelo menisco em intervalos de tempo pré-estabelecidos. As leituras foram

interrompidas quando da estabilização do menisco ou quando este atingiu o valor zero. Construiu-se, então, uma matriz com os dados de volume de água absorvido (S) até a saturação do solo, em função do tempo (Figura 6).

O ensaio de perda de absorção de água (S), a amostra indeformada de solo foi retirada do aparelho e acoplada a outro suporte para o ensaio de perda de massa por imersão (P). O conjunto amostra/suporte foi imerso horizontalmente num tanque com água, dentro de um recipiente que permitiu o recolhimento do material desprendido. Após 24 horas, as amostras foram retiradas, e o material desprendido foi secado em uma estufa e pesado. Assim, foi possível calcular a porcentagem de perda de massa (P) do material durante o processo de imersão (figura 7).



Figura 7. (A) Amostra acoplada ao suporte; (B) Conjunto de amostras/suportes dentro de um recipiente imersos com água; (C) Amostra indeformada desprendida seca.

4 | COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO DOS SOLOS ESTUDADOS

NOGAMI & VILIBOR (1979) e PEJON (1992), consideram que o índice de erodibilidade se dá pelo quociente dos valores de perda de massa por imersão pela sorção (Pi/S), considerando que os valores acima de 52 ou 40 apresentam condições erodíveis. Após a realização dos ensaios de infiltrabilidade e perda de massa por imersão de água, foram analisados os seguintes resultados para todos os pontos amostrados (Tabela 1; Figura 8).

Amostras	S (cm/min ^{1/2})	Pi (%)	E (Pi/S)
01	0,04	1,9	8,26
02	0,02	4,6	20,00
03	-	-	-
04	0,02	15,41	67,00
05	0,28	14,66	63,00
06	0,26	2,33	10,13
07	0,31	1,38	6,00
08	0,25	2,27	9,87
09	0,33	13,48	58,61
10	0,69	52,96	230,26
11	0,27	5,9	25,65
12	0,26	41,68	181,22

Tabela 1: Amostras obtidas e seus respectivos índices de erosão.

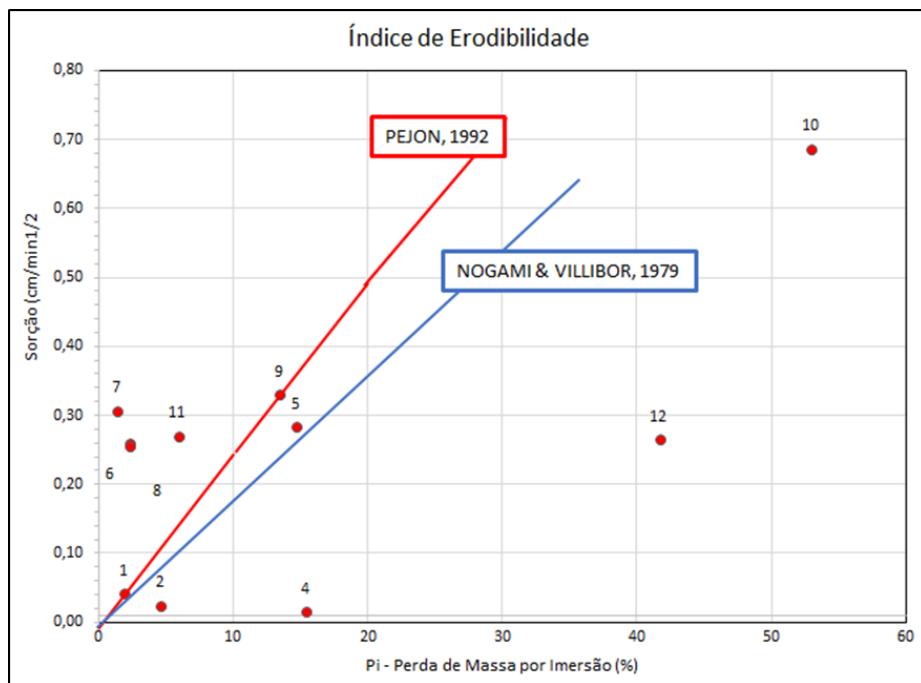


Figura 8. Gráfico que relaciona a sorção com a perda de massa por imersão.

As amostras 4, 5, 9, 10 e 12 são consideradas erodíveis independentemente da condição de umidade inicial das amostras, pois apresentam índice de Erodibilidade acima de 52 ou 40 e estão representadas abaixo das bissetrizes ilustradas no gráfico da figura 9 (NOGAMI & VILIBOR, 1979; PEJON, 1992). Os valores percentuais relativamente maiores de perda de massa por imersão na água indicam uma maior facilidade do solo em se desagregar, tornando - se, assim, fundamental para o resultado final quando relacionado com os valores de sorção.

As amostras 1, 2, 6, 7, 8 e 11 mostram um melhor comportamento frente à erosão segundo o critério “não erodível” ($E < 40$; 50), pois apresentam valores de perda de massa por imersão relativamente menores (Figura 9).

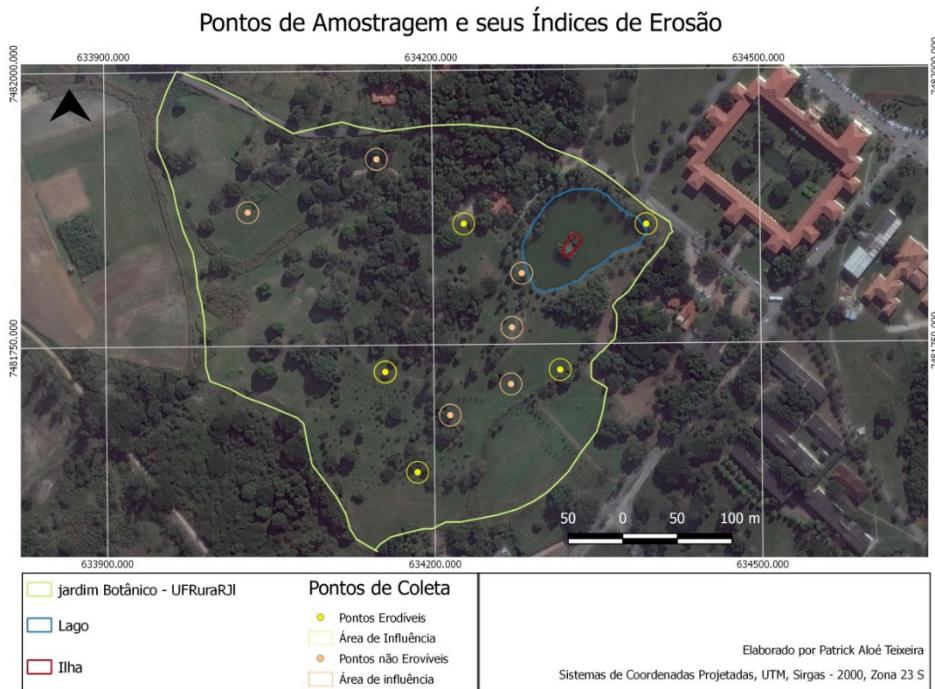


Figura 9. Índices de erodibilidade dos pontos de amostragem.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área do Jardim Botânico da UFRRJ se mostrou homogeneia com relação ao grau de erodibilidade dos solos, indicando uma variação física dos solos que se dá através de locais que foram classificados como pontos de alta e baixa erodibilidade. Os resultados dos ensaios delimitaram pontos propensos à erosão que não são indicados para a construção de trilha, já os locais onde os pontos estudados demonstraram baixa erodibilidade, estes são indicados para tal.

Desta forma, a proposição de trilhas se dá de forma circular, respeitando os pontos que demonstram os índices de erodibilidade e caracterização física da área, abrangendo o terreno conforme os pontos interpretativos mais interessantes e de forma homogênea (Figura 10).

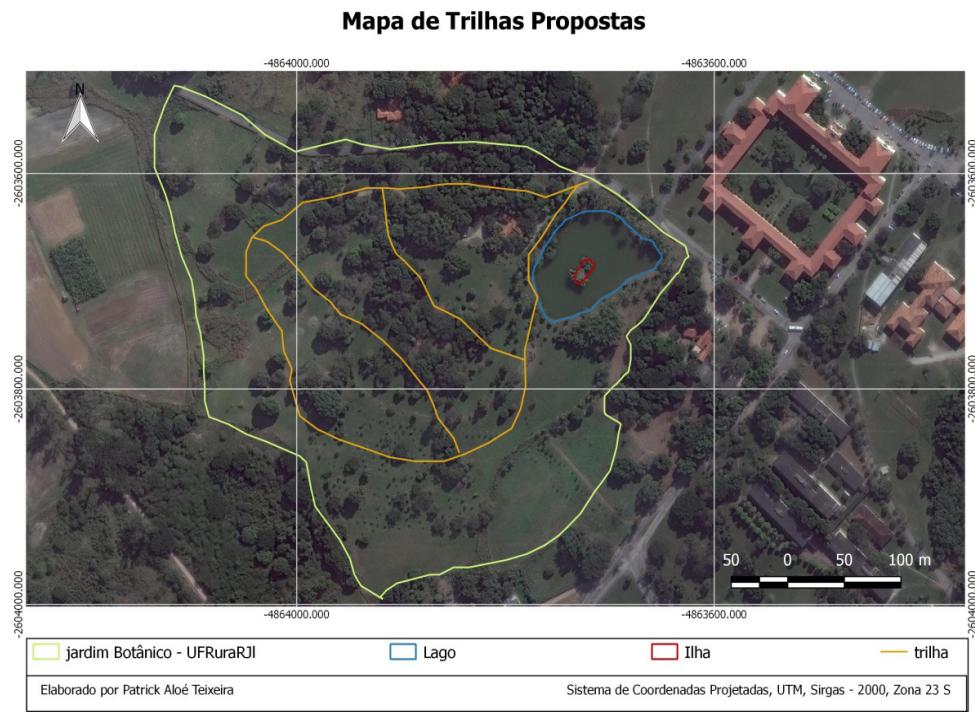


Figura 10. Ilustração da proposição de trilhas interpretativas na área do Jardim Botânico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

6 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Geociências e ao Jardim Botânico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pelo suporte oferecido.

REFERÊNCIAS

LGA/UFRJ (2012) - **Atlas digital**. Departamento de Geociências/UFRRJ.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. (1979) - **Soil characterization of mapping units for highway y purposes in a tropical area**. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol., Paris, v. 19, nº. 1, p: 196-199.

PEJON, O. J. (1992) - **Mapeamento geotécnico da folha de Piracicaba-SP escala 1>10.000: estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos**. Tese de Doutorado. EESC\USP. 224 p.

SOUZA, V.; GASPARETTO, N. V. L. (2012) - **Avaliação da erodibilidade de algumas classes de solos no município de Maringá por meio de análises físicas e geotécnicas**. Boletim de Geografia, v. 13, n.2, p: 267-278.

TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO UTILIZADAS NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM LAVOURAS, ANÁLISE PARA O MUNICÍPIO DE JAGUARI/RS

Bruno Zucuni Prina

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
Santa Maria – RS

Patrícia Ziani

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
Santa Maria - RS

Romario Trentin

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
Santa Maria - RS

houve a classificação dos usos da terra, com o algoritmo Maximo Verossimilhança. Com isso, analisaram-se as áreas próximas aos principais corpos hídricos do município, por meio de um buffer de 1 km em relação às suas margens. No total, quantificou-se 22,3% da área total como lavouras e 20,1% de áreas úmidas, e, por meio da extração das áreas de lavouras mais expressivas, maiores de 5 ha, verificou-se que a maioria das áreas úmidas estão dispostas às margens dos dois principais rios do município (cerca de 86%). Assim, após a análise global de todos os resultados, destaca-se que há uma grande importância do rio Jaguari e do rio Jaguarizinho à agricultura do local, tanto nas áreas classificadas como lavouras, como às áreas úmidas, na qual, podem ser denotadas, como áreas de cultivo orizícola.

PALAVRAS-CHAVE: LANDSAT-8, Sistema de Informações Geográficas, Geotecnologias.

ABSTRACT: This paper, has the general objective performing mapping, quantifying and the analysis areas with different land uses in the municipality of Jaguari / RS, with the focus of detail the analysis of areas of crops (and crops located in wetlands) with the focus check, including the availability of water resources for crops. Justified of the present paper, mainly by the fact analyze the general characteristics the city of Jaguari, referring the question on mapping

the areas of crops and the relationship of the availability of water resources (rivers Jaguari and Jaguarizinho). For this, were used: ArcGIS® the application, Landsat sensor 8 images (Orbit/Point: 223/80, the dates of July 14, 2014 and December 14, 2014) and a spreadsheet (Excel). Thus, with the application of Digital Image Processing techniques (PDI) was performed the image classification (in land use and occupation) Maximum Likelihood with the algorithm (MAXVER). With that, analyzed areas around to the main rivers of the city, with the application a buffer of 1 km in relation to the river. In total, were quantified 22.3% of the total area the city as crops and 20.1% as wetlands, and through extracting the areas more expressive crops (larger area) over 5 ha, verified most wetlands are located along the rivers the city (approximately 86%). Thus, after analysis all results we highlight there is a great importance River Jaguari and River Jaguarizinho for agriculture the municipality, both areas classified with occupancy of crops, as in wetlands, in which, may be denoted, as rice cultivation areas.

KEYWORDS: LANDSAT-8, Geographic Information System, Geotechnology.

1 | INTRODUÇÃO

Quando nos referimos às questões ambientais nos deparamos com uma gama de possibilidades e formas de estudos, sob os mais distintos níveis de abordagem. Entre essas formas constitui-se, cada vez mais, a utilização do Sensoriamento Remoto e de tecnologias dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). As informações obtidas através do uso e aplicação dessas tecnologias dão subsídio aos órgãos de planejamento no uso sustentável dos ambientes urbanos e rurais. Dessa forma, há uma grande contribuição para a conscientização da sociedade sobre os problemas da realidade local e regional e favorece o exercício da cidadania (FLORENZANO, 2011).

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo geral mapear, quantificar e analisar as áreas com distintos usos da terra no município de Jaguari/RS, focando no detalhamento das áreas de lavouras, visando verificar, inclusive, a disponibilidade dos recursos hídricos a estas. Para elaboração do mapa de uso da terra do município em questão, utilizou-se das ferramentas disponibilizadas pelos SIGs, uma vez que essas facilitam a integração de dados de sensores remotos com aqueles provenientes de outras fontes, bem como a análise espacial e a modelagem dos ambientes permitindo realizar a projeção de cenários futuros (FLORENZANO, 2011).

Deve-se salientar, ainda, a relação direta entre o mapeamento dos distintos usos da terra com foco ao mapeamento das áreas de plantio, seja ela localizada em áreas úmidas ou não, junto a disponibilidade dos recursos hídricos, visto que todos os cultivos (com foco ao cultivo orizícola - áreas úmidas) possuem relação direta junto a disponibilidade hídrica do local.

Quanto ao município de Jaguari, pode-se destacar que o mesmo está presente na região centro-oeste do estado do Rio Grande do Sul, mais precisamente na

microrregião de Santa Maria. O município está localizado próximo a coordenada geográfica de 29°29'51" de latitude Sul e longitude de 54°41'32" Oeste (coordenada do centroide da área urbana), conforme disposto na Figura 1.

Ainda, deve-se destacar que esse será um trabalho que pertence a uma vasta gama de análises que serão feitas no município, visando, a partir disso, caracterizar da melhor forma possível as distintas características presentes dentro desse território, verificando as homogeneidades e as heterogeneidades da sua paisagem.

Justifica-se a importância desse estudo, principalmente a fim de analisar as características gerais de Jaguari no que tange ao mapeamento das áreas de lavouras e a relação da disponibilização dos recursos hídricos. Sendo assim, foca-se em detalhar as análises em áreas próximas aos rios Jaguari e ao Jaguarizinho, denotando, dessa forma, a quantidade de lavouras presentes dentro dessa área.

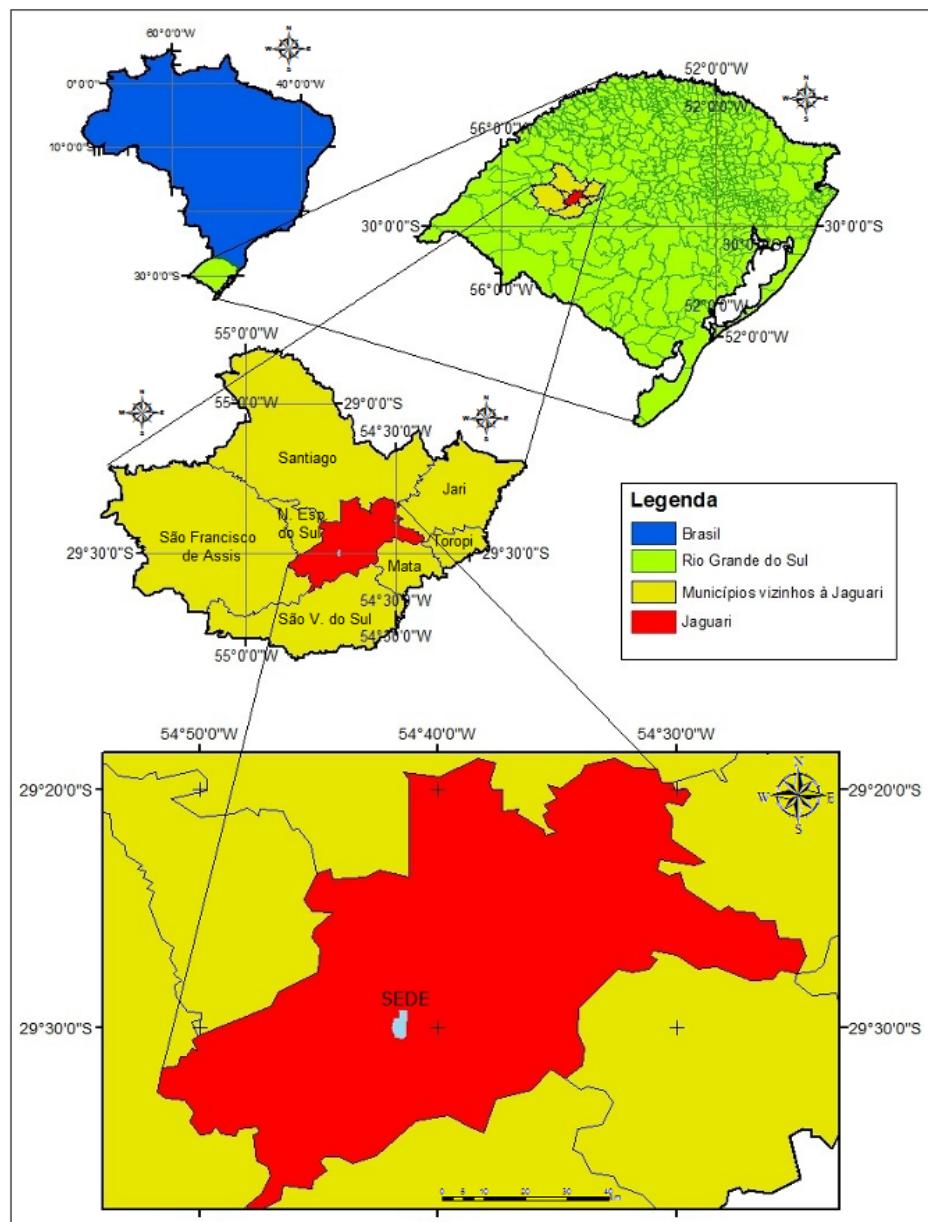


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

2 | METODOLOGIA

Os processos metodológicos envolvidos nesse trabalho basearam-se tanto na utilização do aplicativo ArcGIS®, junto ao emprego de imagens do sensor Landsat 8 OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), quanto da planilha eletrônica do Excel® para a elaboração das análises quantitativas.

Perante essa perspectiva, os procedimentos metodológicos dividiram-se em seis momentos. O primeiro refere-se à obtenção das imagens, na qual foi realizada no sítio do USGS (*U.S. Geological Survey*). Assim, escolheram-se duas cenas, datadas em 14 de julho de 2014 e a outra em 14 de dezembro de 2014, sendo que as Órbita/Ponto das imagens é a de 223/80. Justifica-se a utilização de duas imagens, do mesmo local, mas com datas diferentes, pelo fato de que toda a análise visa, além de distinguir e quantificar os diferentes usos da terra, em verificar e espacializar as áreas de cultivo (*lavouras*), principalmente as localizadas em áreas úmidas. Tal análise é induzida, inclusive com apoio do trabalho realizado por Collischonn e Collischonn (2009). No trabalho dos autores, os mesmos utilizaram imagens com datas diferentes para explicar que o mapeamento foi realizado a fim de analisar as características do uso da terra “tanto do período de cultivo (OUT-MAR), safra 2004/2005, como do período de entressafra (ABR-SET), correspondente ao inverno, ano de 2005” (COLLISCHONN; COLLISCHONN, 2009, p. 4688). A distinção do presente trabalho é o ano, que ao invés de ser 2005 é em 2014.

O segundo procedimento realizado tangencia a aplicação de técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI) na imagem. Assim, converteu-se o sistema de referência das imagens para o SIRGAS 2000 (sistema de projeção UTM, fuso 21 J Sul), além da união das bandas espectrais das imagens (*Composite Bands*). Uniram-se, dessa forma, as bandas do vermelho, verde, azul, infravermelho próximo e pancromática de ambas as imagens. Essa grande redundância de informações ajudou muito na obtenção de uma boa classificação da área de estudo, visto a heterogeneidades existentes, tanto de resolução espectral, resolução espacial (utilizando a banda pancromática), como, até mesmo, de tempo, por ser imagens de datas distintas. Assim, das duas imagens, com suas várias bandas, gerou-se apenas uma imagem, unindo o máximo de bandas possíveis.

Posteriormente, a terceira análise realizada refere-se à obtenção das amostras do uso da terra da área utilizada, incluindo os seguintes usos: áreas úmidas, *lavoura*, floresta, campo, água e solo exposto. Posteriormente, na quarta análise, realizou-se a classificação digital da imagem, com a utilização do algoritmo máxima verossimilhança (MAXVER).

Já a quinta análise procedeu da conversão do arquivo matricial obtido com a classificação para o formato vetorial (polígonos). Esta referida etapa foi muito importante para o último procedimento metodológico realizado: a análise exclusiva das feições “*lavouras*” e “áreas úmidas”. Assim, foram quantificadas novamente as

referidas áreas, por meio de uma seleção espacial dos polígonos que continham: áreas desprezíveis (com até 4 pixels unidos: 3600 m²), áreas medianas (com até 5 ha) e áreas expressivas (com mais de 5 ha). Dessa forma, selecionaram-se as áreas “medianas” e “expressivas”, e analisaram-se a quantidade de polígonos contínuos (e a área desses) localizados a até 1 km de distância para com os rios Jaguari e Jaguarizinho. Ressalta-se, que as áreas úmidas que possuíam mais de 1 ha foram quantificadas como lavouras também, pois, podem representar áreas com cultivo orizícola.

Justifica-se a definição de um *buffer* de 1 km em relação às margens dos rios a fim de mapear as áreas próximas a estes, uma vez que, por meio de uma análise preliminar na área de estudo, esse foi um valor representativo a fim de mapear as áreas com plantio no município, já que, muitas vezes, as mesmas utilizam a água do rio para sua irrigação, principalmente, nas culturas úmidas, como o arroz.

Após a aplicação de todas as análises espaciais, utilizando o SIG, quantificaram-se e analisaram-se as áreas obtidas junto ao detalhamento das informações, gerando assim, os resultados do presente trabalho. Ainda, os dados foram comparados por meio de áreas de influência (*buffers*) em relação aos rios Jaguari e Jaguarizinho, verificando o comportamento das áreas de lavouras, a fim de verificar a importância dos recursos hídricos locais aos cultivos nesse território.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto aos resultados a serem evidenciados nesse trabalho pode-se destacar a quantificação dos distintos usos da terra presentes no município de Jaguari. Assim sendo, a Tabela 1 resume a quantificação dos usos presentes na área, bem como na Figura 2 com a apresentação das mesmas informações, porém, de forma visual.

Usos da Terra	Quadro de áreas (km ²)	Percentual dos Usos da Terra
Água	8,8	1,3%
Áreas úmidas	20,1	3,0%
Vegetação	148,5	22,1%
Lavouras	150,1	22,3%
Solo exposto	237,8	35,3%
Campo	105,5	15,7%
Área urbana	2,2	0,3%
Total	670,7	100%

Tabela 1. Síntese das áreas obtidas após a classificação digital.

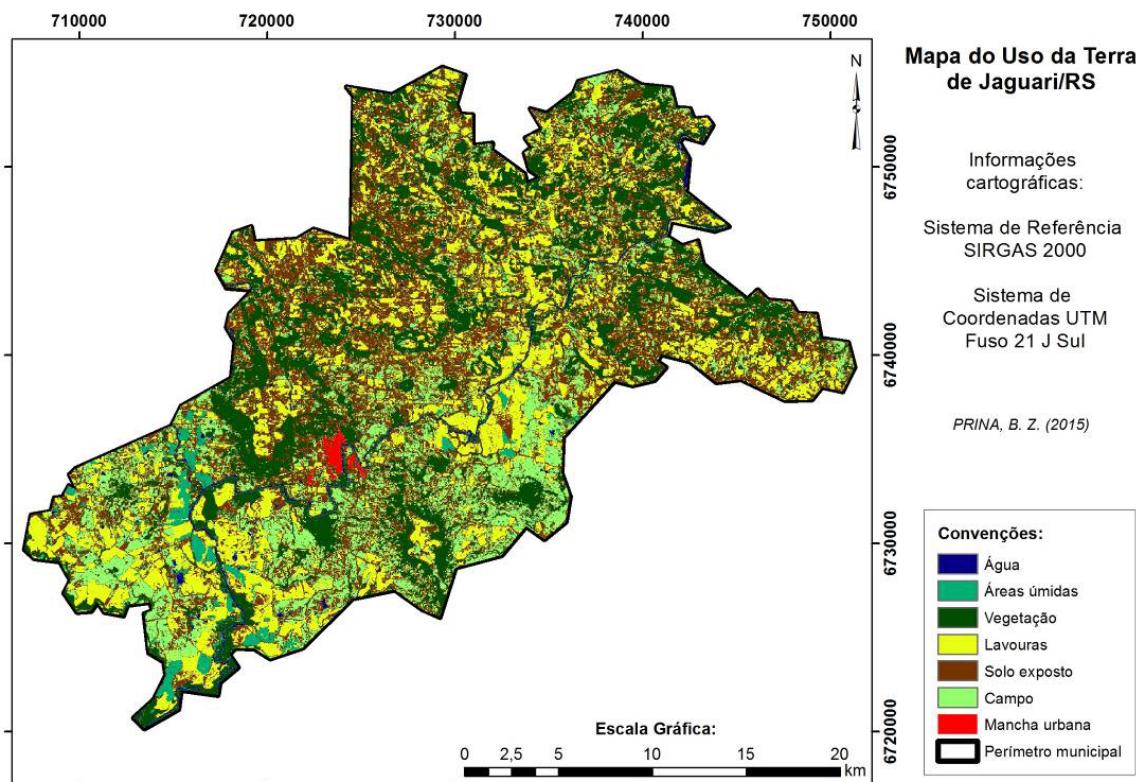


Figura 2. Exemplificação do mapa de uso da terra de Jaguari.

Com a análise dos dados anteriores, frisa-se que o uso da terra predominante no município é o solo exposto, com cerca de 35% da área do município, conseguinte há as lavouras e a vegetação, com cerca de 22 % (cada um dos usos), e, ainda, como quarto uso mais presente no município há os campos, com cerca de 15%. Ainda, pode-se destacar, como usos menos frequentes no município as áreas úmidas (com 3% da área do município), os corpos hídricos (com 1,3%) e as áreas urbanas (com 0,3 %, considerando apenas a mancha urbana da sede urbana).

Ainda, é importante ressaltar, algumas características particulares da área de estudo, uma vez que com o entendimento dessas, é possível proceder de uma análise específica quanto às variações dos usos da terra. Assim sendo, destaca-se que no centro norte do município existe o rebordo com declividades acentuadas, e, esse é um empecilho geográfico à localização de lavouras, porém, em contrapartida, nesse local, há uma significativa porcentagem de áreas verdes, com vegetação, por sinal, muito preservadas.

Conforme o proposto na etapa metodológica, dois usos da terra receberam uma análise detalhada, as lavouras e as áreas úmidas. Sendo assim, após exclusão dos polígonos desprezíveis, as áreas foram requantificadas, obtendo o exposto na Tabela 2, bem como na Figura 3.

Uso da Terra	Subdivisão	Área (km ²)	% do total	% do uso	Nº de glebas
Áreas úmidas	Áreas expressivas	10,8	1,6%	54,0%	462

(Área total: 105,7 ha)	Áreas medianas	3,5	0,5%	17,6%	2102
Lavouras	Áreas expressivas	114,2	17,0%	76,3%	37
(Área total: 249,5 ha)	Áreas medianas	25,6	3,8%	17,1%	434

Tabela 2. Valores obtidos na análise particular das lavouras e áreas úmidas.

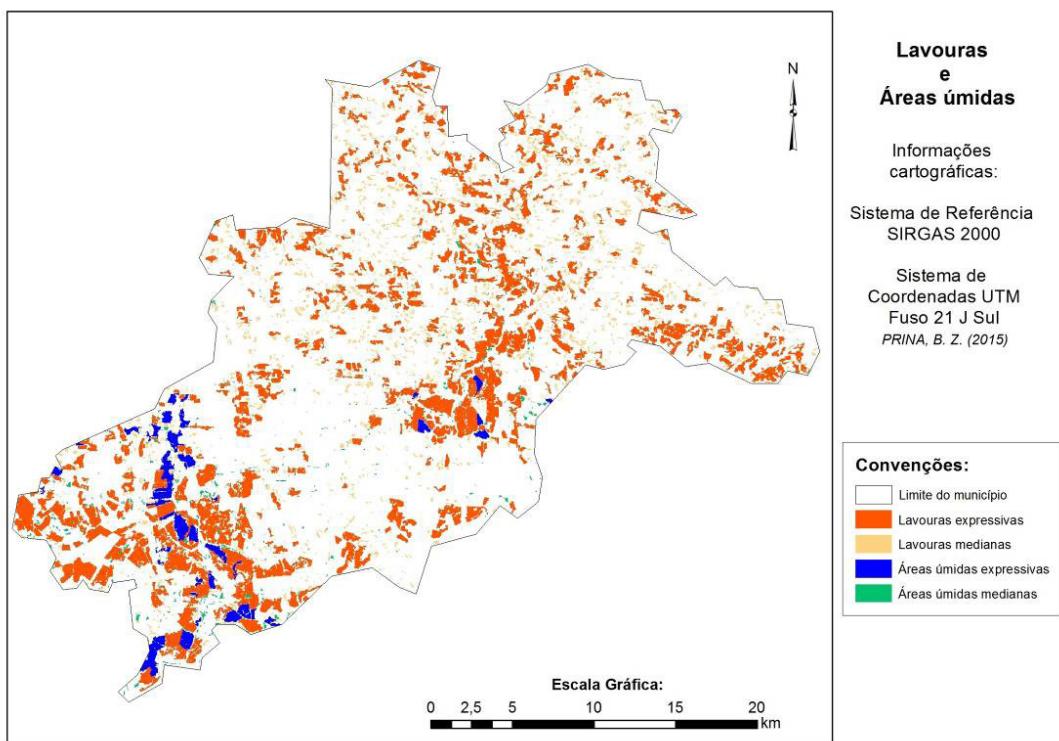


Figura 3. Mapa de uso da terra: análise especial das lavouras e das áreas úmidas.

Depois de quantificadas as áreas e o número de glebas dispostas como lavouras e áreas úmidas classificadas como “expressivas” e “medianas”, analisaram-se a distribuições geográficas desses usos da terra próximas aos dois principais corpos hídricos do município, os rios Jaguari e Jaguarizinho. Assim sendo, aplicou-se uma área de abrangência (buffer) de 1 km a fim de verificar o número de polígonos que estão nessa área (tanto como de forma parcial como total). Com isso, obtiveram-se, como resultado dessa análise, os dados referenciados na Tabela 3, em conjunto à Figura 4.

Um fato analisado ao realizar essa quantificação deve-se a questão das áreas excluídas, sendo que totalizaram 6,6% do total das áreas de lavouras e 28,5% das áreas úmidas. Esse alto valor eliminado das áreas úmidas, em uma análise primária foi alarmante, porém, ao verificar a localização espacial dessas áreas, verificou-se que as mesmas estão dispostas às margens dos rios, verificando, dessa forma, a importância de excluírem-se essas áreas, uma vez que a ideia central do trabalho é, realizar a quantificação de lavouras e lavouras úmidas (plantio orizícola).

Uso da Terra	Área (km ²)	nº de glebas	% da área	% de glebas
Lavouras (> 5 ha)	42,5	106	37,2%	22,9%
Lavouras (< 5 ha)	5,1	424	19,9%	20,2%
Áreas/Lavouras úmidas (> 5 ha)	9,3	24	86,2%	64,9%
Áreas/Lavouras úmidas (< 5 ha)	1,5	195	41,3%	44,9%

Tabela 3. Valores obtidos na análise particular das lavouras e áreas úmidas dentro do *buffer* de 1 km em relação aos rios Jaguari e Jaguariçinho.

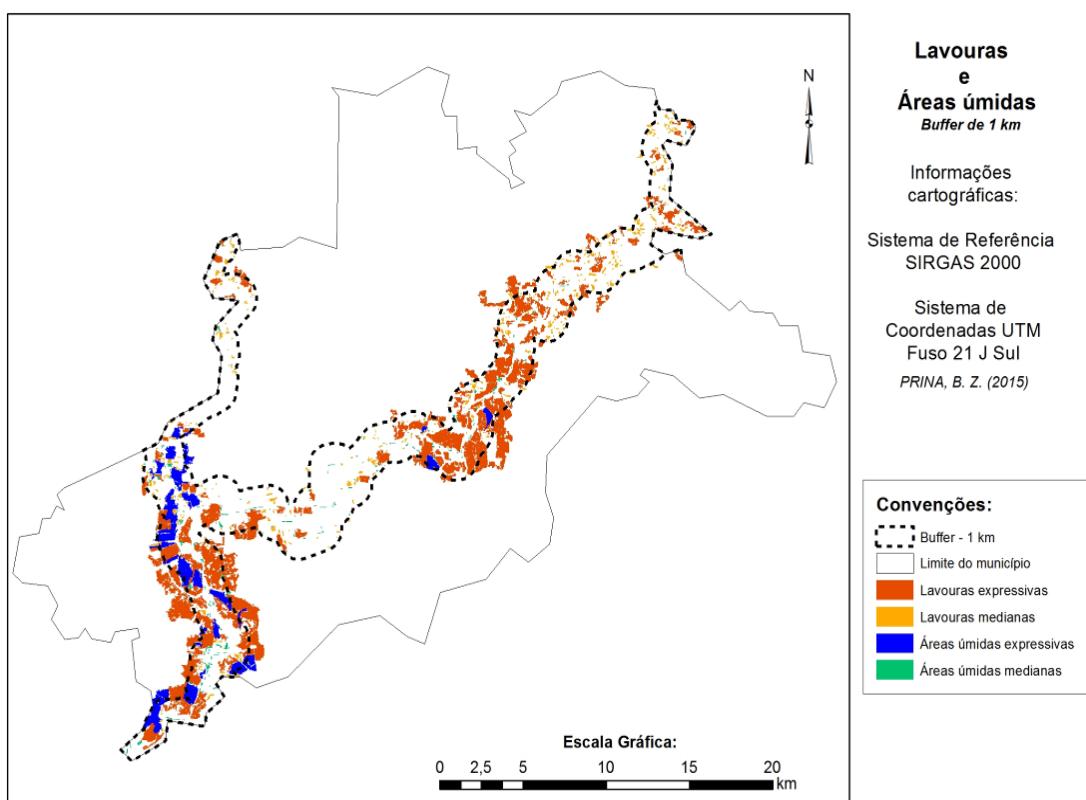


Figura 4. Análise das lavouras e das áreas úmidas dentro de um *buffer* de 1 km em relação aos rios Jaguari e Jaguariçinho.

Junto ao evidenciado na Tabela 3 e na Figura 4, encontra-se alguns detalhes nos quais devem ser analisados. No que tange as áreas de lavouras destaca-se que 37,2% das áreas contínuas maiores de 5 ha (42,5 km²) estão presentes nas proximidades dos rios, totalizando, assim, 22,9% dos polígonos (106 glebas). Nesse momento, ao destacar as áreas de lavouras com menos de 5 ha aponta-se que 19,9% das áreas contínuas menores de 5 ha (5,1 km²) estão presentes nas proximidades dos rios, totalizando, assim, 20,2% dos polígonos (424 glebas).

No que tange as áreas úmidas destaca-se que 86,2% das áreas contínuas maiores de 5 ha (9,3 km²) estão presentes nas proximidades dos rios, totalizando, assim, 64,9% dos polígonos (24 glebas). Nesse momento, ao destacar as áreas úmidas com menos de 5 ha aponta-se que 41,3% das áreas contínuas menores de 5 ha (1,5 km²) estão presentes nas proximidades dos rios, totalizando, assim, 44,9% dos

polígonos (195 glebas).

Um fato lógico é a localização das áreas úmidas nas proximidades dos corpos hídricos, porém, tais áreas denotam, inclusive, áreas com plantações de arroz, no qual em partes do ano encontram-se úmidas/alagadas.

Deve-se destacar que a área analisada no *buffer* de 1 km possui cerca de 140 km² (aproximadamente 20% da área total do município), com isso, analisa-se que em 1/4 de área do município há o equivalente a 37,2% das lavouras “expressivas” do município de Jaguari, e, 86,2% das áreas úmidas. Desse modo, verifica-se a grande importância dos rios à agricultura local.

Ainda, deve-se analisar, que as áreas com o maior adensamento de lavouras, nas áreas central e sul da Figura 4, deve-se, principalmente pelo padrão topográfico do local, por ser áreas planas, contribuindo, e muito, para as práticas agricultáveis.

No geral, ainda, pode-se destacar que o município de Jaguari é caracterizado por possuir áreas agricultáveis subdivididas em pequenas glebas, tal fato, deve-se, principalmente, por esse local ser caracterizados por áreas de minifúndio, com pequenas extensões de terras, utilizadas, inclusive, para implantação de lavouras com diversificadas culturas.

4 | CONCLUSÕES

Conclui-se com o referido trabalho que as ferramentas de geoprocessamento mostraram-se ideais para um bom planejamento do território, com destaque as técnicas de sensoriamento remoto e SIG.

Em Jaguari/RS observa-se a presença de lavouras, porém com pequenas áreas, ou seja, há diversificadas culturas semeadas, porém sem grandes áreas contínuas, se bem, que tal fato deve-se às condições topográficas, que minimiza a existência de grandes extensões de cultivos.

Ficou nítido, após as análises, a importância do rio Jaguari às áreas úmidas, na qual, podem ser denotadas, como áreas de cultivo orizícola. Todavia, em relação a esse aspecto ressalta-se que se não houver um planejamento e gestão eficiente e sustentável sobre essas áreas as mesmas pode gerar problemas quali-quantitativos nos rios uma vez que essas áreas podem proporcionar maior aporte de sedimentos ao curso de água e contaminação em virtudes dos fertilizantes e agrotóxicos, dificultando assim os seus múltiplos usos.

Em geral, ainda, pode-se concluir que o presente trabalho apresentou a quantificação das feições dos distintos usos da terra no município de Jaguari/RS, principalmente com o detalhamento das áreas de lavouras e áreas úmidas. Assim, com a análise das lavouras próximas aos corpos hídricos do município, foi constatado que quase 40% das áreas de lavouras (com áreas superiores a 5 ha) e quase 90% das de lavouras de culturas úmidas (com áreas superiores a 5 ha) estão englobadas

em uma área com até 1 km em relação às margens dos rios. Assim sendo, destaca-se a importância dos referidos corpos d'água a dinâmica econômica municipal, principalmente tangenciando as questões agrícolas.

BIBLIOGRAFIA

COLLISCHONN, B.; COLLISCHONN, W. **Classificação multitemporal de uso do solo usando imagens CBERS para fins de simulação e gerenciamento de recursos hídricos na bacia do rio Quarai**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 4687-4692.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo, 3^a edição. Oficina de Textos, 2011.

USGS (U.S. Geological Survey). **EarthExplorer**. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 19 fev. 2015.

ANÁLISE MULTITEMPORAL DO DESMATAMENTO POR NDVI DO MUNICÍPIO DE RONDON DO PARÁ NOS ANOS DE 2007 E 2017

Juliana Fonseca Cardoso

Universidade do Estado do Pará, Paragominas –
Pará.

Isabela Loiane Carvalho Teixeira

Universidade do Estado do Pará, Paragominas –
Pará.

José Cicero Pereira Júnior

Universidade do Estado do Pará, Paragominas –
Pará.

Taissa Nery Ferreira

Universidade do Estado do Pará, Paragominas –
Pará.

Denison Lima Correa

Universidade do Estado do Pará, Paragominas –
Pará.

Landsat 5 e o sensor OLI *Landsat 8* com nuvens inferiores a 10%. No processamento utilizou-se a metodologia de NDVI. Procedeu-se então a classificação de quatro classes: vegetação densa; vegetação secundária; gramínea e sem vegetação. Houve uma diminuição de 30% da vegetação densa e 10% de gramínea em 2017 comparado ao ano de 2007, e um aumento de 8% de vegetação secundária e 2,5% de sem vegetação no mesmo período. O NDVI se mostrou como uma excelente ferramenta na análise para a avaliação do uso de solo e as mudanças da cobertura vegetal. Identificando o desmatamento antrópico do município através das classes caracterizando assim a devastação, contribuindo dessa forma com a colocação do município entre os que mais desmatam.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento Remoto. SIG. Geoprocessamento.

ABSTRACT: The deforestation rates in the Amazon are high, one of the municipalities that has a significant contribution is that of Rondon do Pará, due to agricultural activities, vegetable extraction, illegal timber removal and mining. Deforestation rates can be easily detected by remote sensing and, in particular, the NDVI Normalized Difference Vegetation Index. The objective of this work was to evaluate the temporal evolution of land use change, using the NDVI in the period of 2007 and 2017. For

RESUMO: As taxas de desmatamento na Amazônia são altas, um dos municípios que tem significativa contribuição é o de Rondon do Pará, em função de atividades agropecuárias, extração vegetal, retirada da madeira ilegal e mineração. Os índices de desflorestamento podem ser facilmente detectados pelo sensoriamento remoto e em particular, pelo Índice de Vegetação por Diferença Normalizada NDVI. Objetivou-se neste trabalho avaliar a evolução temporal da mudança do uso do solo, utilizando o NDVI no período de 2007 e 2017. Para o pré-processamento, utilizou-se imagens obtidas pelo sensor TM do satélite

the pre-processing, images obtained by the TM sensor of the Landsat 5 satellite and the Landsat 8 OLI sensor with clouds of less than 10%. In the processing, the NDVI methodology was used. Four classes were then classified: dense vegetation; secondary vegetation; grass and without vegetation. There was a decrease of 30% of dense vegetation and 10% of grass in 2017 compared to 2007, and an increase of 8% in secondary vegetation and 2.5% in vegetation in the same period. The NDVI proved to be an excellent tool in the analysis for the evaluation of the soil use and the changes of the vegetal cover. Identifying the anthropic deforestation of the municipality through the classes thus characterizing the devastation, thus contributing to the placement of the municipality among those who most deforest.

KEYWORDS: Remote Sensing. GIS. Geoprocessing.

1 | INTRODUÇÃO

Segundo os dados do INPE (2016) a taxa de desmatamento na Amazônia em 2016 teve um aumento de 29% em relação ao ano anterior, no entanto a taxa atual representa uma redução de 71% em relação à registrada em 2004. O Pará contribuiu com 3.025 Km² de desmatamento na Amazônia em 2016, ocupando o primeiro lugar no ranking entre os estados que mais desmatam. Rondon do Pará é um dos municípios do Pará que mais cooperam com o aumento dessas taxas, fornecendo só em janeiro de 2015 segundo o Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia IMAZON apontou uma supressão da cobertura florestal equivalente a 15,8 K² de vegetação. Estes altos índices de desflorestamento estão em função de atividades agropecuárias, extração vegetal, retirada da madeira ilegal e mineração (BITTENCOURT; PENA; NETO, 2015).

Dessa forma, a utilização das técnicas de sensoriamento remoto juntamente com o método de NDVI proposto por Rouse et. al. (1973) proporcionaram ressaltar o comportamento espectral de uma área em relação ao uso do solo (SANTIAGO et al 2009).

Diante disso, objetivou-se neste trabalho avaliar a evolução temporal das mudanças do uso do solo, utilizando o NDVI no período de 2007 e 2017 no município de Rondon do Pará.

2 | METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no município de Rondon do Pará, localizado na mesorregião sudeste paraense, com localização central na coordenada geográfica 4° 46' 31" de latitude Sul, 48° 4' 3" de longitude Oeste e 195 metros de altitude (Figura 1). O clima é classificado como Aw, de acordo com o critério Köppen, caracterizado por um clima

tropical com estação seca de inverno (Embrapa, 2003).

Atualmente, Rondon do Pará tem como principal fonte de renda a agricultura, pecuária e o reflorestamento com cultivo de Paricá e Eucalipto (BITTENCOURT; PENA; NETO, 2015). As classes de solos encontrados na região são predominantemente latossolos e argilossolos, além de serem encontrados mais raramente neossolos e gleissolos, apresentando textura variando de média a argilosa (EMBRAPA, 2006).

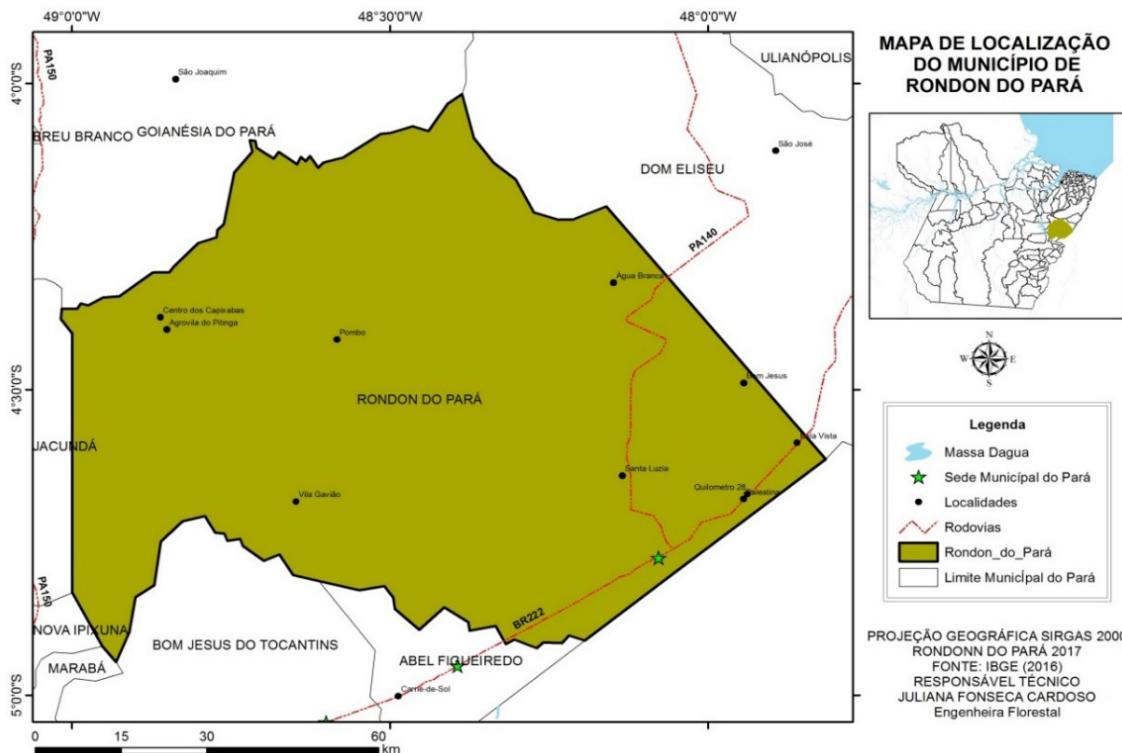


Figura 1: Mapa de localização do município de Rondon do Pará – PA.

Fonte: Autores 2017.

A cobertura vegetal do Município, segundo a classificação adotada pela Embrapa (2003) esta composta por duas formações florestais bem distintas: floresta equatorial subperenifólia, a qual cobre a maior parte do município e floresta equatorial higrófilo de várzea, onde sua ocorrência é pouco representativa (EMBRAPA, 2003).

2.2 PRÉ-PROCESSAMENTO

Para realizar o cálculo do NDVI, referente os anos de 2007 (31 de julho) e 2017 (27 de julho), foram selecionadas imagens do sensor *TM/Landsat-5* e *OLI/Landsat-8* disponibilizado pelo site da USGS (Ciência Para Mudar o Mundo) gratuitamente. Entre as imagens disponíveis neste catálogo online, optou-se por imagens com nuvens inferiores a 10%. O Sistema de Informações Geográficas (SIG) utilizado para a confecção da composição colorida, recorte e NDVI foi o ArcGIS 10.1 da empresa ESRI (Environmental Systems Research Institute).

2.3 PROCESSAMENTO

O NDVI, proposto por *Rouse et al.* (1973) calculado através da equação:

$$NDVI = \frac{(BIP) - (BV)}{(BIP) + (BV)}$$

Onde,

BIP: banda no infravermelho próximo;

BV: banda no vermelho.

A partir disto foi realizada uma reclassificação onde foram definidas quatro classes como: vegetação densa; vegetação secundária; gramíneas e sem vegetação.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da estatística obtida a partir das imagens do NDVI, para os anos de 2007 e 2017 demonstram uma recuperação das áreas de cobertura vegetal, principalmente com relação ao aumento das áreas de vegetação secundária e sem vegetação, e a diminuição das áreas de vegetação densa e gramíneas, as quais podem ser visualizadas na Tabela 1.

Classes de Vegetação	2007 (ha)	2017 (ha)
Vegetação Densa	494.570,41	247.827,43
Vegetação Secundária	196.049,59	265.832,63
Gramíneas	130.350,10	49.210,83
Sem vegetação	4.623,05	22.723,16

Tabela 1. Classes de vegetação por hectare nos anos de 2007 e 2017.

Fonte: Autores 2017.

Os dados estatísticos gerados demonstram uma diminuição de 30% da vegetação densa e 10% de gramínea em 2017 comparada ao ano de 2007, e um aumento de 8% de vegetação secundária e 2,5% de sem vegetação no mesmo período, o que configura um aumento no desmatamento do território em questão, podendo ser exemplificado nos mapas a seguir (Figura 2).

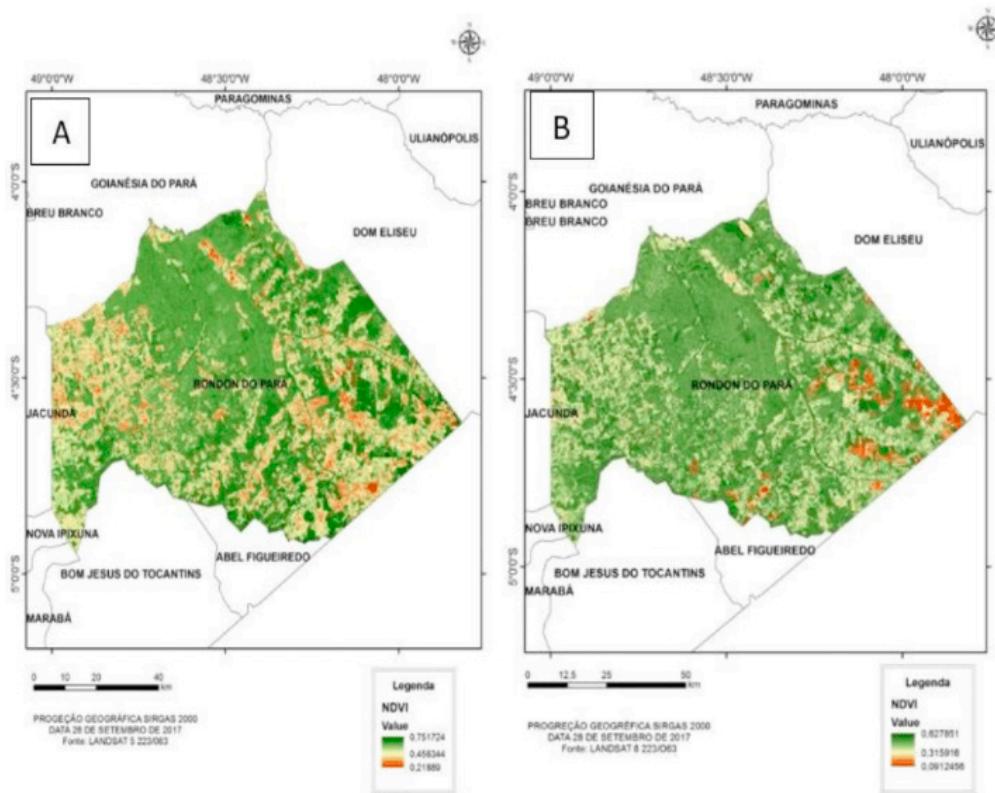


Figura 2: Índice de vegetação por diferença normalizada do município de Rondon do Pará, (A) do ano 2007 e (B) do ano de 2017.

Fonte: Autores 2017.

Dessa forma, os mapas apresentados nas Figuras 2A e 2B a partir do NDVI mostram claramente uma considerável variação da cobertura vegetal e, sem dúvida, dos padrões de uso do solo entre os anos de 2007 e 2017. Quanto mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura vegetal, o 0 representa valor aproximado para ausência de vegetação, e valores abaixo de zero caracterizam superfícies não vegetadas como por exemplo solos expostos e rochas. (ROUSE et. al., 1973).

Estes valores são identificados através de cores representativas, a cor verde representa vegetação densa e a intensidade da cor representa maior ou menor área, ou seja, quanto mais escuro maior densidade, seguida da vegetação secundária cor verde claro, gramíneas cor bege e cor laranja, a vermelha representa sem cobertura. A diminuição da vegetação densa está relacionada à retirada de madeira ilegal no município, segundo IMAZON (2011) Rondon do Pará se encontra entre os cinco municípios mais críticos de desmatamento de madeira ilegal, ocupando o primeiro lugar no ranking entre agosto de 2009 e julho de 2010.

Para a vegetação secundária foi observada um aumento de 8%, estando relacionada às áreas de pousio, ou seja, uma regeneração natural do local degradado, influenciado por projetos de reflorestamento desenvolvidos pelo Ideflor-bio como o Pará Florestal, e sua implantação de sistemas agroflorestais, além da reformulação da lei 12.651 do Novo Código Florestal consolidada em 2012, o qual puni a ação de crimes ambientais, dando maior importância e fiscalização para o caso de desmatamento ilegal,

viabilizando assim o aumento da regeneração natural dessas áreas já devastadas, em contra partida ocorreu uma diminuição de 10% das gramíneas, ou seja, por pastagem e agricultura, também decorrentes dessas políticas públicas (IMAFLORA, 2013; IDEFLOR-BIO 2013).

Já para áreas sem vegetação, o aumento de 2,5% está relacionado às queimadas tanto ilegais para o replantio ou pastagem quanto naturais, as quais se intensificam nas estações secas, em 2015 Rondon foi classificada na categoria média de queimadas com 12 focos de incêndio identificados, além da retirada dos remanescentes florestais e a extração de bauxita pela empresa Alumina Rondon e agronegócio (SEMAS, 2015). Esses níveis de vegetação colocam o município em estado alarmante de desmatamento, colaborando para a modificação da área de vegetação.

4 | CONCLUSÃO

O índice de vegetação NDVI se mostrou como uma excelente ferramenta na análise para a avaliação do uso de solo e as mudanças da cobertura vegetal. Foi possível identificar o desmatamento antrópico do município de Rondon do Pará, onde se observou a diminuição da vegetação densa e o aumento da classe sem vegetação caracterizando assim a devastação, contribuindo dessa forma com a colocação do município entre os que mais desmatam na Amazônia brasileira.

REFERÊNCIAS

BITTENCOURT, A.; PENA, H.; NETO, P. **Estudo do desmatamento no município de Rondon do Pará de 2000 a 2012 causado pelas atividades agropecuárias através de análise de multivariáveis universidade do estado do Pará.** Belém, jun. 2015 Disponível em:< <http://www.eumed.net/rev/caribe/2015/06/rondon.html>>. Acesso em 28 set. 2017.

BRASIL. **Código Florestal.** Brasília, 25-mai.-2012. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 15 nov. 2017.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Amazônia Oriental. Zoneamento agroecológico do município de Rondon do Estado do Pará - Estado do Pará.** 1º Edição. Belém, agos. 2003, p. 45.

IDEFLOR-BIO. Instituto de Desenvolvimento Florestal e da Biodiversidade do Estado do Pará. Núcleo de Tecnologia da Informação. **Projeto Pará Florestal.** Belém, 2013. Disponível em:< <http://ideflorbio.pa.gov.br/blog/project/projeto-para-florestal/>>. Acesso em: 02 de out. de 2017.

IMAFLORA. Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola. **Guia de aplicação da nova lei em propriedades rurais.** Piracicaba-SP. 2013. 32p.

IMAZON. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. **Boletim do Desmatamento da Amazônia Legal (janeiro de 2015) SAD.** Belém-PA. 2015. P. 10.

IMAZON. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. **Boletim Transparência Manejo Florestal Estado do Pará** (2009 e 2010) Belém- PA. 2011. p. 16.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **PRODES estima 7.989 km² de desmatamento por corte raso na Amazônia em 2016**. São Paulo, 29-nov-2016. Disponível em:< http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=4344>. Acesso em: 27 set. 2017.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: **EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM**, 3, 1973, Washington. Proceedings. Washington: NASA, 1973. v.1, p.309-317.

SANTIAGO, M. M.; SILVA, H. A.; GALVINCIO, J. D.; OLIVEIRA, T. H. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 3003-3009.

SEMAS. Secretaria de Estado e Meio Ambiente. **Boletim de monitoramento de queimadas e incêndios florestais no estado do Pará**. Belém, 27-set.-2017. Disponível em:<<http://www.sema.pa.gov.br/previsão/previsões>>. Acesso 02 de out. 2017.

USGS. **Ciência Para Mudar o Mundo**. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

SOBRE OS ORGANIZADORES

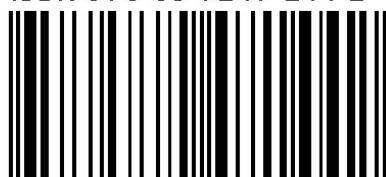
Felipe Santana Machado

Felipe é professor de biologia, especialista em morfofisiologia animal e gestão ambiental, mestre em Ecologia Aplicada e doutor em Engenharia Florestal. Atualmente é professor efetivo de educação básica e tecnológica do Estado de Minas Gerais e apresenta vínculo funcional com o Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal (PPGEF) da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Além de lecionar, atua em estudos de conservação e manejo de animais silvestres, principalmente sobre a relação da vegetação com vertebrados terrestres. Sua experiência profissional gerou uma ampla gama de publicações técnicas e científicas que incluem artigos científicos em revistas nacionais e internacionais, bem como relatórios técnicos de avaliação de impactos ambientais. Participa do grupo de pesquisa CNPq “Diversidade, Sistemática e Biogeografia de Morcegos Neotropicais” como colaborador.

Aloysio Souza de Moura

Aloysio é Biólogo, mestre em Ecologia Florestal, pelo Departamento de Ciências Florestais (DCF) da Universidade Federal de Lavras (UFLA) com ênfase em Avifauna de fitofisionomias montanas. É observador e estudioso de aves desde 1990, e atualmente doutorando em Ecologia Florestal, pelo Departamento de Ciências Florestais (DCF) da Universidade Federal de Lavras (UFLA) tendo como foco aves e vegetações de altitude. Atua em levantamentos qualitativos e quantitativos de avifauna, diagnóstico de meio-biotico para elaborações de EIA-RIMA. Tem experiência nas áreas de Ecologia e Zoologia com ênfase em inventário de fauna, atuando principalmente nos seguintes temas: Avifauna, Cerrado, fragmentação florestal, diagnóstico ambiental, diversidade de fragmentos florestais urbanos e interação aves/plantas.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-144-2



9 788572 471442