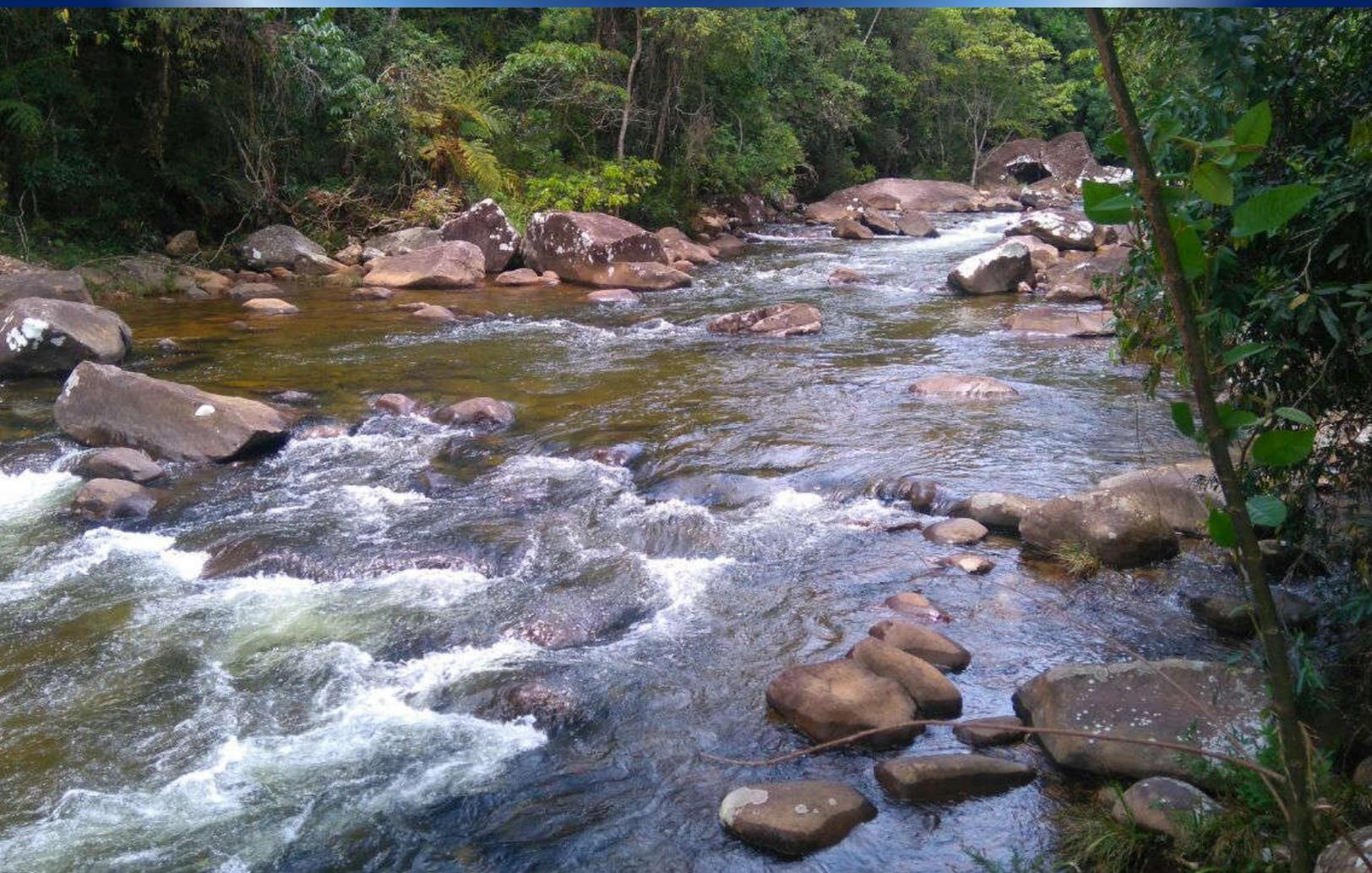


# **GEOCIÊNCIAS E MEIO AMBIENTE**



**FABRICIA BENDA DE OLIVEIRA  
RODSON DE ABREU MARQUES  
CALVIN DA SILVA CANDOTTI  
MIRNA APARECIDA NEVES  
(ORGANIZADORES)**



**Fabricia Benda de Oliveira**  
**Rodson de Abreu Marques**  
**Calvin da Silva Candotti**  
**Mirna Aparecida Neves**  
**(Organizadores)**

**GEOCIÊNCIAS**  
**E**  
**MEIO AMBIENTE**

**CAUFES**

**2020**



CCENS-UFES Centro de Exatas, Naturais e da Saúde, Universidade Federal do Espírito Santo,  
Alto Universitário, s/n, Caixa Postal: 16, Guararema, Alegre-ES Telefax: (28) 3552-8687  
www.alegre.ufes.br

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial Sul da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

G342 Geociências e meio ambiente [recurso eletrônico] / Fabricia Benda  
de Oliveira... [et al], Organizadores. - Dados eletrônicos. -  
Alegre, ES : CAUFES, 2020.  
94 p.: il. - (Geociências e meio ambiente ; v. 1)

Inclui bibliografia.

ISBN: 978-65-86981-07-0

Modo de acesso: <http://geologia.ufes.br/e-book>

1. Geociências. 2. Ambiente. 3. Água. 4. Geoturismo. 5.  
Recursos I. Oliveira, Fabricia Benda de, 1978-.

CDU: 551.1/.4

---

Bibliotecário: Raniere Barros Barreto – CRB-6 ES-000861/O

Os textos apresentados nesse livro são de inteira responsabilidade dos autores. Os organizadores não se responsabilizam pela revisão ortográfica e gramatical dos trabalhos apresentados.

**REITOR – UFES**  
**PAULO SÉRGIO DE PAULA VARGAS**

**DIRETOR DO CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E DA SAÚDE – UFES**  
**NEUZA MARIA BRUNORO COSTA**

**ORGANIZADORES DESTA OBRA**  
**FABRICIA BENDA DE OLIVEIRA**  
**RODSON DE ABREU MARQUES**  
**CALVIN DA SILVA CANDOTTI**  
**MIRNA APARECIDA NEVES**

## APRESENTAÇÃO

Esta obra dá continuidade à série de E-books lançados pelo curso de Geologia do Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde (CCENS) da Universidade Federal do Espírito Santo e foi nomeado “GEOCIÊNCIAS E MEIO AMBIENTE” devido ao caráter interdisciplinar do seu conteúdo. Estão contidos seis (6) textos que servem de consulta a estudantes, profissionais da área, professores, empresários e demais setores da sociedade, incluindo, a população em geral. Cada trabalho representa um capítulo do livro.

O capítulo 1 aborda sobre a análise da qualidade do solo e da água nas proximidades do antigo lixão em São Gabriel da Palha-ES. No caso estudado foram investigados parâmetros físicos-químicos locais para averiguar a presença de contaminantes no solo e água. As concentrações de elementos oriundos dos resíduos sólidos ainda asseguram a utilização dos recursos locais analisados, embora medidas de prevenção e contenção de contaminantes devam ser tomadas para minimizar e evitar agravantes futuros.

No capítulo 2 é caracterizada a eficiência de Estação de Tratamento de Água (ETA) e a atenuação dos teores de ferro, manganês e matéria orgânica na água subterrânea de um aquífero fraturado em Itaperuna (RJ). Apesar de serem utilizados métodos e produtos com eficiência comprovada, a ETA ainda se mostrou dependente em inovação tecnológica computacional remota, o que pode minimizar prejuízos e maximizar a produção de água com maior qualidade, além de gerar empregos.

O capítulo 3 apresenta uma carta de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio – MG, utilizando lógica *fuzzy*. As geotecnologias aplicadas às geociências mostram-se cada vez mais importantes na identificação e resolução de questões ambientais relacionadas à atividade antrópica, que expande cada vez mais, em paralelo com o atual sistema econômico. O uso e ocupação mal planejados do solo contribuem significativamente para a fragilidade ambiental.

O capítulo 4 apresenta um ensaio em colunas de solo para estudo da influência ambiental dos resíduos finos do beneficiamento de rochas ornamentais. Foram analisadas amostras de LBRO de diferentes fases de produção e sua influência nos parâmetros do solo, utilizando como referência a Resolução CONAMA 420/2009. O ES é destaque no beneficiamento de rochas ornamentais, e estudar as consequências dessa produção auxilia projetos de gestão e conservação ambiental.

No capítulo 5 é apresentado estudo sobre a favorabilidade para prospecção de água subterrânea na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, município de Cachoeiro de Itapemirim, ES. O trabalho foi apoiado na utilização da lógica *fuzzy* e pode ser um importante guia para futuras pesquisas e prospectos de água mineral na bacia estudada. O resultado final é de caráter preditivo e maiores certezas podem ser obtidas de acordo com a região estudada, o tamanho da área e os parâmetros utilizados como pesos.

O capítulo 6 mostra uma proposta de roteiro geoturístico na região do Parque Estadual da Pedra Azul, município de Domingos Martins, região Serrana do Espírito Santo. A proposta utiliza os aspectos físicos de rochas graníticas e encaixantes gnaissicas, e a evolução geológica local como atrativos para atrair turísticos. O trabalho também apresenta um *banner* informativo sobre a geologia local. A divulgação do Geoturismo pode estimular as pessoas a pensarem em termos como Geodiversidade e Geoconservação.

## LISTA DOS ORGANIZADORES

**Fabricia Benda de Oliveira.** Professora Adjunta do Departamento de Geologia, Universidade Federal do Espírito Santo / Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde, Alegre, ES, e-mail: fabricia.oliveira@ufes.br

**Rodson de Abreu Marques.** Professor Adjunto do Departamento de Geologia, Universidade Federal do Espírito Santo / Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde, Alegre, ES, e-mail: rodson.marques@ufes.br

**Calvin da Silva Candotti.** PPGGEO – UFAM, Manaus, AM, e-mail: calvincandotti@gmail.com

**Mirna Aparecida Neves.** Departamento de Geologia da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Alegre, ES, e-mail: mirna.neves@ufes.br

## LISTA DE AUTORES

**ÁLVARO COSTA FIGUEIREDO**  
**ARTHUR DIAS PESSOA**  
**CARLOS HENRIQUE RODRIGUES DE OLIVEIRA**  
**DANIEL DE CASTRO BRAGA DIAS**  
**DIEGO LANG BURAK**  
**ÉDER CARLOS MOREIRA**  
**EDUARDO BAUDSON DUARTE**  
**FABRICIA BENDA DE OLIVEIRA**  
**JAISA BARBIERI DE MELLO**  
**JOSÉ LUIZ DE SOUZA LOUZADA**  
**JULIANA DI GIORGIO GIANNOTTI**  
**LORAINY VIANA DOMINGUES**  
**LUIZ FELIPE LEMPE**  
**MARCOS VINÍCIUS PERDONÁ**  
**MIRNA APARECIDA NEVES**  
**WELLINGTON DE OLIVEIRA SILVA**  
**LETÍCIA GUARNIER**  
**REINALDO BALDOTTO RIBEIRO FILHO**  
**DEIVISON RORIZ DE ARAÚJO**

Aos autores, os mais sinceros agradecimentos por contribuírem com mais esta obra. Aos leitores, espero que possam aproveitar bem o conteúdo e que o levem a sério, pois a Geologia é uma ciência fascinante. O conhecimento precisa ser trabalhado, processado, organizado e divulgado, para que o saber seja mais bem aproveitado.

## Sumário

Capítulo 1.....	9
<b>Análise da qualidade do solo e da água nas proximidades do antigo lixão em São Gabriel da Palha - ES</b>	
<i>Marcos Vinícius Perdoná; Jaisa Barbieri de Mello; Luiz Felipe Lempe; Éder Carlos Moreira</i>	
Capítulo 2.....	27
<b>Estação de Tratamento de Água (ETA) e a atenuação dos teores de Ferro, Manganês e Matéria Orgânica na água subterrânea de um aquífero fraturado em Itaperuna (RJ)</b>	
<i>Daniel de Castro Braga Dias; Mirna Aparecida Neves</i>	
Capítulo 3.....	43
<b>Carta de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio - MG utilizando lógica fuzzy</b>	
<i>Álvaro Costa Figueiredo; Eduardo Baudson Duarte; José Luiz de Souza Louzada; Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira; Fabricia Benda de Oliveira</i>	
Capítulo 4.....	55
<b>Ensaio em colunas de solo para estudo da influência ambiental dos resíduos finos do beneficiamento de rochas ornamentais</b>	
<i>Lorainy Viana Domingues; Mirna Aparecida Neves; Arthur Dias Pessoa; Diego Lang Burak; Juliana Di Giorgio Giannotti</i>	
Capítulo 5.....	67
<b>Favorabilidade para prospecção de água subterrânea na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, município de Cachoeiro de Itapemirim, ES, utilizando geoprocessamento</b>	
<i>Wellington de Oliveira Silva; Fabricia Benda de Oliveira; Letícia Guarnier; Reinaldo Baldotto Ribeiro Filho; Mirna Neves Aparecida</i>	
Capítulo 6.....	79
<b>Proposta de Roteiro Geoturístico na região do Parque Estadual da Pedra Azul – município de Domingos Martins (ES)</b>	
<i>Deivison Roriz de Araújo; Mirna Aparecida Neves</i>	



## Capítulo 1

### Análise da qualidade do solo e da água nas proximidades do antigo lixão em São Gabriel da Palha - ES

*Marcos Vinícius Perdoná<sup>1</sup>; Jaisa Barbieri de Mello<sup>2</sup>; Luiz Felipe Lempe<sup>3</sup>; Éder Carlos Moreira<sup>4</sup>*

**RESUMO.** A inadequada disposição de resíduos sólidos representa um problema histórico vivido pela sociedade brasileira e que ainda insiste em persistir na realidade contemporânea. Mesmo após a implementações de políticas públicas para o seu equacionamento, seu gerenciamento tem sido feito de forma inadequada e ineficiente, o que proporciona sua acomodação em locais inapropriados, formando os conhecidos “lixões”. Tal prática também sucedeu no Município de São Gabriel da Palha - ES, que entre 2001 e 2014 destinou os resíduos sólidos municipais em aberturas feitas no próprio terreno, conhecidas como células. Em 2014, essas células foram desativadas e aterradas devido às exigências impostas pelo Programa “Espírito Santo sem Lixão”. A área de estudo encontra-se na antiga região do lixão de São Gabriel da Palha – ES, em um divisor topográfico, que favorece o possível carreamento de partículas, nutrientes e bactérias para regiões menos elevadas, podendo influenciar na qualidade da água. Assim sendo, este trabalho tem por objetivo realizar uma análise de solo e água nas imediações da área de estudo por meio da caracterização do Índice de Qualidade da Água (IQA) para os corpos hídricos da região e da composição química dos solos por meio da técnica de Fluorescência de Raios X. Os resultados obtidos evidenciam uma boa qualidade de água na região, conforme o padrão da Agência Nacional de Água (ANA), e também coadunam com as exigências de BRASIL (2005) para as águas Classe II. Com relação à quantificação dos elementos químicos presentes no solo por meio da técnica de Fluorescência de Raios X, pôde-se observar que o solo sobre o aterro possui concentrações de metais pesados dentro do limite máximo aceitável para solos do Estado do Espírito Santo.

**PALAVRAS-CHAVE.** Resíduos Sólidos; Limites Aceitáveis; Contaminação.

## INTRODUÇÃO

A disposição inadequada de resíduos sólidos sempre foi um grande problema social e ambiental vivido pelo Brasil ao longo de toda história. Sua impulsão se deu, principalmente, pelo avanço industrial do país no último século. Para solucionar parte dos problemas gerados pela disposição inadequada dos resíduos sólidos, o Estado do Espírito Santo lançou em 2008, em parceria com os municípios, o projeto Espírito Santo Sem Lixão cujo propósito principal fora o de destinar corretamente os resíduos sólidos em território estadual extinguindo os lixões, método utilizado por 52 dos 78 municípios capixabas (SEDURB, 2015). O município de São

<sup>1</sup>Geólogo com atuação no mercado de rochas ornamentais, São Domingos do Norte, ES, Brasil - mvperdona95@gmail.com;

<sup>2</sup>Graduanda no Departamento de Geologia da Universidade Federal do Espírito Santo - jaisabmello@gmail.com;

<sup>3</sup>Geólogo formado pela Universidade Federal do Espírito Santo - luizfelipelempe@live.com;

<sup>4</sup>Professor no Departamento de Geologia da Universidade Federal do Espírito Santo - edercmoreira@hotmail.com.

## **Análise da qualidade do solo e da água nas proximidades do antigo lixão em São Gabriel da Palha - ES**

Gabriel da Palha se viu então obrigado a mudar a forma com que vinha gerenciando seus resíduos, destinando-os a partir de 2014 a um aterro sanitário regional localizado em Aracruz-ES. Os resíduos do lixão foram então aterrados em locais conhecidos como células. De acordo com o que foi comunicado oralmente em 2018 por Penha Villela, funcionária da Secretaria de Serviços Urbanos e Transportes de São Gabriel da Palha, o antigo lixão do município comportou resíduos sólidos de 2001 a 2014.

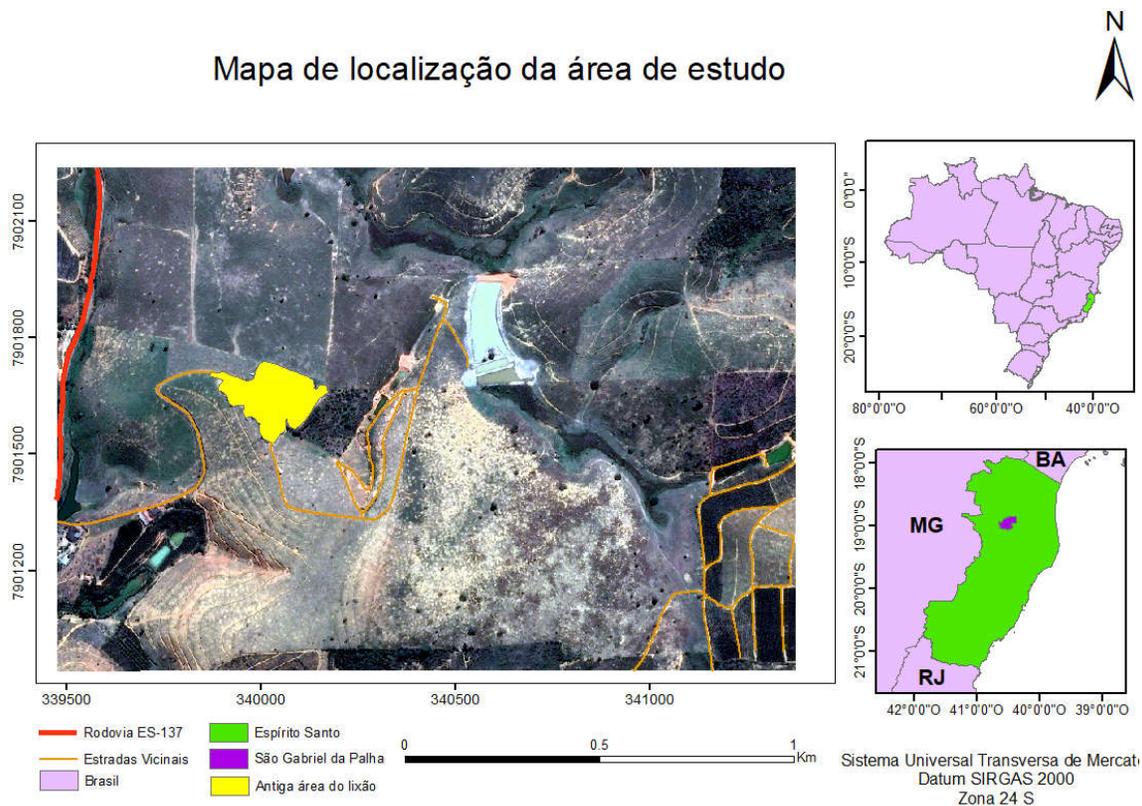
A disposição inadequada dos resíduos sólidos na área de pesquisa por 13 anos poderia ter sido responsável por contaminar tanto o solo local, quanto os corpos hídricos próximos, uma vez que o antigo lixão está localizado em um relevo suavemente acidentado, cuja altitude aproximada é de 230 metros e representa um divisor topográfico de encostas classificadas como convexas. Estas características tendem a facilitar a disseminação de possíveis contaminantes para locais que possuam cotas menos elevadas, situação das represas em que as amostras de água foram coletadas. Além disto, estas represas servem tanto como dessedentação animal quanto para irrigação de culturas como pimenta do reino e café Conilon. Se a água pode estar contaminada, o mesmo pode se supor dos solos da região, principalmente aqueles que contêm os resíduos enterrados nas células.

Mediante o que foi apresentado acima, torna-se justa a elaboração deste trabalho, já que tanto a água quanto os solos da região podem conter quantidades nocivas de elementos químicos à saúde animal, vegetal e até humana. Espera-se, desta forma, obter resultados que indiquem a qualidade da água pelo método IQA e a classifiquem de acordo com a Resolução Conama 357/2005, obtendo-se um parâmetro para avaliar se os corpos hídricos da região podem ser utilizados com os fins que se propõem (Classe II da Resolução Conama 357/2005). Da mesma maneira, ao analisar a composição química do solo por meio da técnica de fluorescência de raios X (FRX), espera-se encontrar respostas quanto aos limites aceitáveis de Zn, Cu, Pb e Cr de acordo com o trabalho semelhante realizado por SÁ PAYE (2010).

### **LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO**

A área de estudo está inserida no par de coordenadas geodésicas UTM SIRGAS 2000: N: 7901704 m/ E: 0339869 m; N: 7901659 m/ E: 0330174, Zona 24 S, em São Gabriel da Palha, município localizado no noroeste do Estado do Espírito Santo, distante aproximadamente 200 quilômetros da capital Vitória.

O acesso à área de estudo tendo-se como origem o município de Vitória - ES se dá inicialmente pela BR-101, pela qual se continua até o trevo com a BR-259, no município de João Neiva - ES. Neste local, a viagem deve prosseguir pela BR-259 até as proximidades com o município de Colatina-ES, onde o percurso continua pela rodovia estadual ES-080 até o trevo que dá acesso ao município de Águia Branca - ES. A partir daí, se deve prosseguir pela rodovia ES-137, responsável por dar acesso ao município de São Gabriel da Palha. A partir do centro da cidade, deve-se seguir pela ES-137, sentido Nova Venécia-ES, por aproximadamente 5,5 quilômetros, até se avistar o alambique “Cachoeira da Onça”. Após este ponto de referência, deve-se adentrar pelo primeiro acesso à direita, em uma estrada de chão por cerca de um quilômetro. Esta conduzirá até a área de estudo, em destaque na Figura 1.



**Figura 1.** Localização da área de estudo. Fonte: Autor, 2018.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A área de estudo está inserida geotectonicamente no Orógeno Araçuaí, porção setentrional da Província Mantiqueira. Afloram na região de interesse rochas pertencentes à Suíte Ataleia, como será abordado adiante neste trabalho.

### Província Mantiqueira

A Província Mantiqueira foi inicialmente definida por Almeida et al. (1977) e, de acordo com Heilbron et al. (2004), representa um sistema orogênico diacrônico gerado durante a Orogenia Neoproterozóica Brasiliano-Pan Africana, que resultou na amalgamação do Paleocôntinente Gondwana Ocidental. Esta entidade geotectônica se localiza paralelamente à linha de costa do Oceano Atlântico e a leste dos crátons São Francisco e Rio de La Plata/Paraná, se estendendo por uma faixa de 3.000 km com direção NE – SW (BIZZI et al., 2003). Segundo Heilbron et al. (2004) a Província Mantiqueira é constituída pelos orógenos Araçuaí, Ribeira, Brasília Meridional, Dom Feliciano e São Gabriel, que se distribuem desde o sul do Estado da Bahia até o Estado do Rio Grande do Sul, sendo subdividida em três segmentos, sendo eles: Setentrional (Orógeno Araçuaí), Central (sul do Orógeno Brasília e os orógenos Ribeira e Apiaí) e Meridional (Orógenos Dom Feliciano e São Gabriel).

### Orógeno Araçuaí

Como mencionado anteriormente, o Orógeno Araçuaí corresponde à porção setentrional da Província Mantiqueira, e se estende desde a borda sudeste do Cráton São Francisco até o

## **Análise da qualidade do solo e da água nas proximidades do antigo lixão em São Gabriel da Palha - ES**

litoral atlântico e é praticamente delimitado entre os paralelos 15° e 21° S, fazendo parte do segmento setentrional da Província Mantiqueira (PEDROSA-SOARES et al., 2001).

O evento orogênico Brasileiro no Orógeno Araçuaí foi subdividido por PEDROSA-SOARES e WIEDEMANN-LEONARDOS (2000) em quatro fases geotectônicas, sendo elas: pré-colisional (630-585 Ma); sin-colisional (585-560 Ma); tardi-colisional (560-530 Ma); e pós-colisional (530-480 Ma). Baseando-se em relações de campo, características estruturais, dados geoquímicos e geocronológicos, os mesmos autores agruparam os granitos deste orógeno em cinco suítes intrusivas, relacionadas às fases geotectônicas supramencionadas. As suítes intrusivas são conhecidas como G1, G2, G3, G4 e G5. A Suíte G2, relacionada ao estágio sin-colisional, é a de maior interesse para este trabalho, uma vez que contempla a Suíte Ataleia, mapeada na região de estudo.

### **Suíte Ataleia**

Segundo RONCATO JÚNIOR (2009), a Suíte Ataléia foi gerada no estágio sin-colisional do Orógeno Araçuaí, o que proporcionou que esta documentasse diferentes estágios deformacionais, com foliações e texturas miloníticas. Possui como características a ocorrência de granitoides mesocráticos a melanocráticos, de composições tonalíticas a granodioríticas, com grandes participações de granada. Alguns granitoides que a constituem apresentam feições de mistura física de magmas, uma vez que foi descoberta a presença de autólitos máficos contendo fenocristais de feldspato extraídos dos próprios granitoides. Processos de fusão parcial também são evidenciados por meio do contato com o Complexo Nova Venécia, caracterizando um processo de anatexia em nível crustal profundo, o que pode ser evidenciado pela presença de “restitos” do paragnaisse bandado. A associação com a Suíte Carlos Chagas é demonstrada a partir de auréolas ao redor dos granitoides desta última, bem como feições que evidenciam a sua mudança gradual para a Suíte Ataleia (BALTAZAR et al. 2010), entretanto, a bibliografia não cita tais observações próximas à área de estudo.

### **Solos de São Gabriel da Palha**

O município de São Gabriel da Palha documenta duas classes de solo distintas: Argissolo e Latossolo, este predominante (Cunha et al., 2016).

Segundo AGEITEC (2018), os Latossolos são solos que apresentam horizontes A, B e C, pouco distintos entre si. O horizonte A, é dito mineral, uma vez que costuma apresentar minerais oriundos da rocha mãe, embora também esteja associado a ele, algum conteúdo de matéria orgânica. O horizonte B é tipicamente de acumulação. Nele, são encontrados argilominerais e óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. O horizonte C, por sua vez, representa a transição entre o solo e a rocha que o originou (PENA, 2018). A partir das características de um perfil de um Latossolo, pode-se observar que há uma tendência na diminuição da fração granulométrica à medida que ocorre o aprofundamento no perfil. Isto influencia diretamente na velocidade de propagação do possível chorume gerado a partir dos resíduos e rejeitos enterrados. Como há uma diminuição na granulometria do solo, a tendência é de que haja também uma redução na velocidade com que o chorume se propaga, uma vez que o coeficiente de permeabilidade é diretamente proporcional à granulometria do solo.

Segundo AGEITEC (2018), os Argissolos Vermelho-Amarelos, mapeados na região central de São Gabriel da Palha, são caracterizados por apresentarem horizontes profundos e em muitos casos, de acumulação de argila (Bt). A coloração amarelada típica diz respeito à mistura de óxidos de ferro hematita e goetita. Cunha et al. (2016) relata ainda que este tipo de solo está mapeado em relevos mais acidentados e dissecados quando comparado aos Latossolos.

### Índice de Qualidade da Água (IQA)

O IQA foi desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (USA) e expressa a qualidade de corpos hídricos em uma escala de 0 a 100 (Tabela 1), sendo resultado de uma média ponderada do produto de nove parâmetros e cada qual com seu peso atribuído (Tabela 2). Os parâmetros analisados são: coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, fósforo total, nitrogênio total, sólidos totais dissolvidos, temperatura, turbidez e pH. (ANA, 2018). Para a realização do cálculo do IQA, se utiliza a seguinte equação:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Sendo que os símbolos significam:

IQA= Índice de qualidade das águas;

$q_i$ = Qualidade do  $i$ -ésimo termo (entre 0 e 100).

$w_i$ = Peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro (entre 0 e 1).

$n$ = Número do parâmetro (entre 1 e 9)

No Brasil, o IQA foi adaptado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) para classificar a água tendo-se em vista o seu posterior uso para abastecimento público.

**Tabela 1.** Valores de IQA utilizados no Espírito Santo. Fonte: ANA, 2018.

Faixa de IQA	Avaliação da qualidade da água
80-100	Ótima
52-79	Boa
35-71	Aceitável
20-36	Ruim
0-19	Péssima

**Tabela 2.** Parâmetros e seus respectivos pesos analisados para o cálculo do IQA. Fonte: ANA, 2018.

Parâmetros	Peso
Coliformes termotolerantes	0,15
Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,10
Oxigênio Dissolvido	0,17
Fósforo total	0,10
Nitrogênio Total	0,10
Sólidos Totais dissolvidos	0,08
Temperatura	0,10
Turbidez	0,08
Potencial Hidrogeniônico- PH	0,12

Os coliformes termotolerantes são bactérias que se caracterizam pela atividade da enzima  $\beta$ -galactosidase e podem fermentar a lactose em ambientes que mantenham

## **Análise da qualidade do solo e da água nas proximidades do antigo lixão em São Gabriel da Palha - ES**

temperaturas entre 44°C e 45°C, o que leva a produção de ácido e gás, por exemplo, e conseqüentemente bolhas nos tubos de Durham, colocados dentro de tubos de ensaio com o meio de cultura desejado para o crescimento da bactéria. Os coliformes termotolerantes vivem em intestino de seres humanos e de animais de sangue quente, logo podem ser encontrados em suas fezes.

Entende-se por DBO, a quantidade de oxigênio capaz de oxidar a matéria orgânica através da decomposição microbiana aeróbica para uma forma estável durante um determinado período, em temperatura específica (ALBUQUERQUE *et.al*, 2009). Um corpo hídrico é considerado poluído quando apresenta baixa concentração de oxigênio dissolvido, ou seja, com alta DBO, uma vez que esta substância é utilizada para decompor compostos de origem orgânica (DIAS, 2018).

O oxigênio dissolvido representa a quantidade de oxigênio presente na água em determinado momento da coleta. Corpos hídricos que apresentam baixas concentrações podem estar relacionados ao despejo de efluentes domésticos e são considerados poluídos, já que constantemente apresentam valores abaixo do recomendado para águas de Classe II, ou seja, 5 mg/L (ANA, 2018). O teor de oxigênio dissolvido na água varia de maneira diretamente proporcional com a pressão atmosférica e inversamente proporcional à temperatura e salinidade. Logo, este parâmetro utilizado para o cálculo do IQA varia diariamente e sazonalmente. (AGRIZZI, 2012).

O teor do nitrogênio na água pode se dar por meio das suas formas como nitrato, nitrito, amônia e nitrogênio orgânico. É proveniente das descargas de efluentes industriais e esgotos sanitários. Em áreas agrícolas, sua origem pode se dar por meio do escoamento de fertilizantes nitrogenados, principalmente no período de chuvas. O excesso de nitrogênio nas águas pode causar eutrofização, isto é, crescimento excessivo de algas (ANA, 2018).

O fósforo, assim como o nitrogênio, é um elemento químico que pode causar a eutrofização das águas. De acordo com ESTEVES (2011), o fósforo ocorre na natureza na sua forma orgânica e inorgânica, e pode ser encontrado adsorvido às partículas do solo ou então dissolvido em água. O fósforo inorgânico é encontrado principalmente no ortofosfato. A quantificação deste elemento se dá por meio da conversão de todas as suas formas em ortofosfato, procedimento adotado durante este trabalho.

Os sólidos totais dissolvidos, por sua vez, representam a quantidade de matéria que permanece após evaporação, calcinação ou secagem de uma amostra de água em determinada temperatura e tempo. (CETESB, 2009). Certos fatores como turbidez, pH, condutividade elétrica e quantidade de matéria orgânica influenciam na quantidade de sólidos dissolvidos totais. As fontes mais comuns são: decomposição de matéria orgânica, efluentes domésticos e industriais, fertilizantes e fezes de animais (VON SPERLING, 2007).

A temperatura, segundo VON SPERLING (2005) se refere à medição da intensidade de calor que é transferida para a água por meio do solo ou da atmosfera. Essa transferência é regida por radiação, condução ou convecção. Este parâmetro, utilizado no cálculo do IQA, varia de acordo com a estação do ano, altitude, hora do dia, latitude e profundidade. Ações antrópicas também modificam a temperatura da água ao lançar efluentes industriais, por exemplo (AGRIZZI, 2012).

A temperatura é responsável por influenciar alguns parâmetros físico-químicos da água, tal como a viscosidade, inversamente proporcional ao aumento de temperatura, densidade, e reações químicas e bioquímicas.

A turbidez representa a quantidade de sólidos que se encontram em suspensão na água em determinado momento. A principal fonte de turbidez advém do carreamento de partículas por meio de chuvas, porém a incidência de resíduos de mineração e o lançamento de efluentes domésticos também contribuem. O aumento deste parâmetro nas águas é o responsável por afetar a preservação dos organismos aquáticos e atividades de recreação (ANA, 2018).

O Potencial Hidrogeniônico, ou simplesmente pH, é entendido como o logaritmo negativo da concentração de íons de hidrogênio presentes em uma determinada solução. Apresenta variação de 0 a 14, de modo que quanto mais próximo a zero, maior a acidez e quanto mais próximo de 14, maior a alcalinidade. Seu valor é expresso em  $\text{mols.L}^{-1}$  (CHAPMAN; KIMSTACK, 1992). De acordo com Brasil (2005), deve estar entre 6 e 9 para a preservação da vida aquática, uma vez que afeta o metabolismo de espécies ali existentes (ANA, 2018).

### Fluorescência de Raios X

A Fluorescência de Raios X, ou simplesmente FRX, é uma técnica que se baseia na emissão de um feixe de raios X sobre uma amostra, tornando-a excitada do ponto de eletrônico. Dependendo da energia liberada por este feixe, os elétrons que se encontram nas camadas mais internas podem ser removidos e as vacâncias deixadas por eles são novamente preenchidas por elétrons provenientes de camadas mais externas. Este rearranjo estrutural provocado pelos raios X primários é o responsável pela liberação de raios X secundários, ou melhor, radiação fluorescente, que varia de acordo com o elemento e a transição ocorrida. O espectrofotômetro realiza a leitura da radiação fluorescente, sendo esta feita por meio da sua energia, enquanto a sua intensidade aumenta à medida que também se eleva a concentração do elemento na amostra.

### METODOLOGIA

#### Coleta das amostras de solo e de água e análises em campo

A coleta das amostras de solo e de água foi realizada em dias distintos. A primeira foi realizada em 16 de janeiro de 2018, enquanto a segunda foi coletada nos dias 1, 2 e 3 de abril de 2018. A Figura 2 mostra os locais de coleta.

Mapa de pontos de coleta de água e solo.

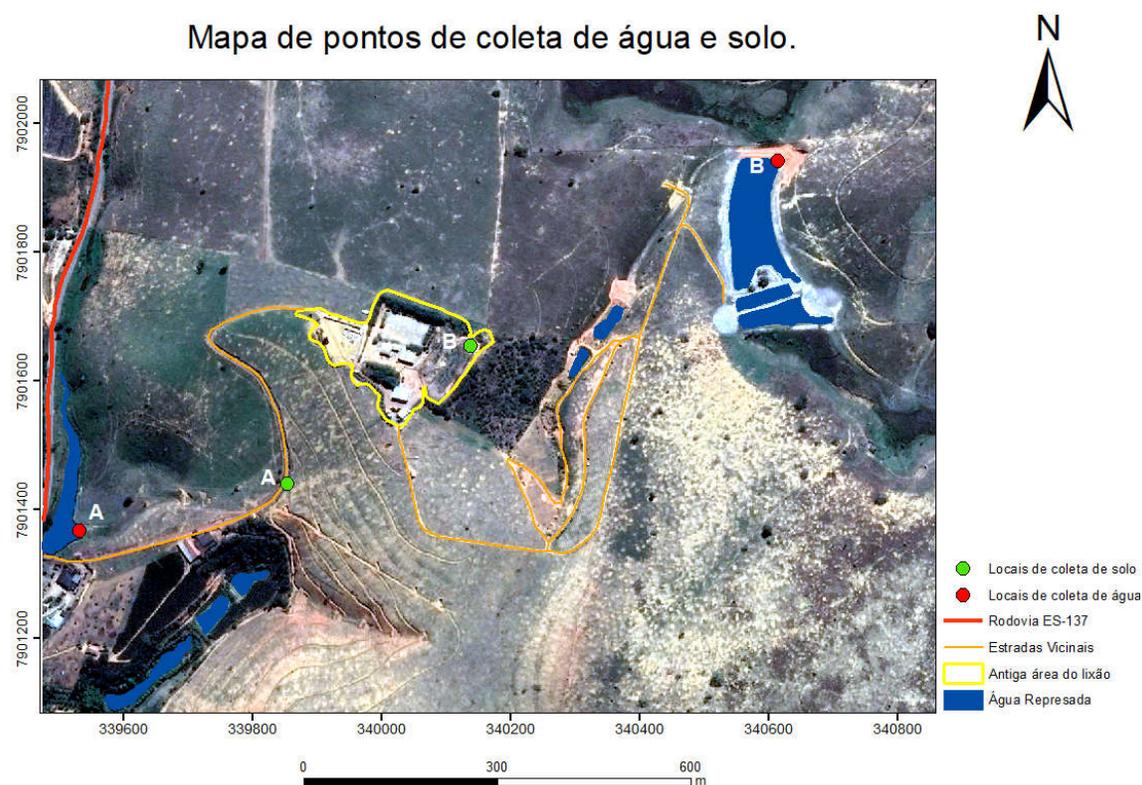


Figura 2. Mapa de pontos de coleta de água e solo. Fonte: Autor, 2018.

## **Análise da qualidade do solo e da água nas proximidades do antigo lixão em São Gabriel da Palha - ES**

A primeira amostra de solo (amostra A) foi coletada próxima à área que dá acesso a ASCAT, em um perfil de alteração. A segunda amostra (amostra B) foi coletada no aterro sobre o qual se encontram os resíduos e rejeitos da época do lixão. Para o desenvolvimento dos trabalhos, foram necessários os seguintes equipamentos: martelo pedológico, cartela granulométrica, bússola, GPS e sacos plásticos para a acomodação das amostras.

Nos dias 1, 2 e 3 de abril de 2018, foram realizadas as coletas de água para a realização do IQA e leitura da sua respectiva temperatura e turbidez. A escolha dos locais para a coleta levou em consideração a localização dos corpos d'água junto ao antigo lixão e o sentido preferencial de escoamento das águas superficiais e subterrâneas, visto que a área de estudo está localizada em um divisor topográfico, conforme mencionado anteriormente neste trabalho. As amostras foram recolhidas a uma profundidade de aproximadamente 15 centímetros, em dois locais: o local A, representa um lago próximo à estrada que dá acesso à antiga área do lixão, enquanto o local B se refere a um represamento artificial utilizando terra compactada.

Inicialmente, esterilizaram-se os frascos de vidro no Laboratório de Microbiologia do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes) - Campus Alegre. Eles foram então armazenados dentro de uma sacola plástica sem contato com o ar, até o momento da coleta. Também foram utilizadas garrafas pet com cerca de 2000 ml e outras garrafas plásticas de cerca de 300 ml, fornecidas pela Ufes - Campus Alegre, devidamente higienizadas com detergente neutro em água corrente.

Em campo, inicialmente realizou-se a ambientação dos frascos nos locais de coleta e em seguida estes foram preenchidos com água coletada dos locais de amostragem com apenas 85% de seu volume, já que quando fossem submetidas ao congelamento, poderiam se romper. Cada local de coleta utilizou dois frascos distintos: um de 2000 ml e outro de 300 ml. Cada amostra foi identificada e levada ao congelador onde ficou até o momento do transporte, procedimento repetido para os dias 2 e 3 de abril. Vale ressaltar também que no dia 3 de abril, além da coleta da água como realizada nos dias anteriores, também foram utilizados outros 6 frascos menores de 150 ml, 3 para cada local de amostragem, cuja coleta fora realizada de maneira idêntica aos outros frascos. Ao final das atividades, os recipientes congelados das amostragens anteriores, bem como os do terceiro dia de campo, foram destinados a uma caixa constituída de material isopor com gelo no fundo, e transportados até o laboratório de Ecologia Aquática e Produção de Plâncton do Ifes - Campus Alegre, onde foram armazenados em um freezer.

A leitura dos parâmetros de temperatura e turbidez da água nos locais de coleta foi realizada em campo, nos locais A e B de amostragem. Para a temperatura utilizou-se um termômetro digital mergulhado na água. Para medir a turbidez das águas, foi utilizado um turbidímetro portátil previamente calibrado, cujo alcance de medição é de até 1000 NTU. Foram realizadas 3 medições para cada local de coleta. A água foi acondicionada em béquer de polipropileno, sendo posteriormente alocada em uma cubeta composta por um vidro óptico, até que fosse atingida a delimitação para o volume necessário. As amostras foram então agitadas para que as bolhas de ar fossem expulsas e a cubeta fosse fechada e acomodada junto ao turbidímetro, em sua célula de amostras.

### **Análises da água e do solo em laboratório**

A análise da água ocorreu ao longo dos meses de abril e maio de 2018 no Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Alegre, nas dependências dos Laboratórios de Microbiologia e de Ecologia Aquática e Produção de Plâncton. Procurou-se determinar os nove parâmetros com a caracterização dos nove parâmetros necessários para o cálculo do IQA, devidamente abordados a seguir:

- **Coliformes totais e termotolerantes**

As amostras da água foram submetidas à análise para a determinação do número mais provável (NMP) de coliformes totais (Ct) e termotolerantes (CT), baseando-se na Técnica dos Tubos Múltiplos e seguindo a metodologia descrita pelo “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*” (EATON et al., 2005). A água foi diluída em água peptonada, na proporção 1:9, obtendo-se diluições decimais seriadas  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  e  $10^{-3}$ . As amostras foram acondicionadas em tubos contendo Caldo Lauril Sulfato Triptose (LST) com tubos de Durham. Os tubos foram incubados em estufa a 35 °C por 48 horas. Aqueles que apresentaram produção de gás nos tubos de Durham foram considerados positivos e suspeitos de contaminação por bactérias do grupo coliformes.

- **Potencial Hidrogeniônico**

A medição do pH foi realizada em laboratório, utilizando-se um peagâmetro de mesa. Este é constituído de um eletrodo e um circuito potenciométrico capaz de realizar a leitura de acordo com a tensão gerada pelo eletrodo quando este é submerso nas amostras de água analisadas. Neste momento ocorre a conversão da medida em uma escala de pH.

Cerca de 50 ml das amostras de água foram dispostas em um béquer e posteriormente analisadas. O eletrodo do peagâmetro foi colocado dentro da água de modo a não encostar nas laterais do béquer, até a estabilização e leitura da medida, que demorou alguns minutos. O béquer e o eletrodo foram então lavados com água destilada no intervalo da leitura entre uma e outra amostra de água.

- **Oxigênio Dissolvido (OD) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**

A demanda bioquímica de oxigênio foi determinada por um método que relaciona os valores da concentração de oxigênio dissolvido antes e após um período de incubação de 5 dias a 20°C.

Para que este procedimento pudesse ser realizado, utilizaram-se frascos de vidro de aproximadamente 300 ml, béquer, balão volumétrico, pipetas, bureta automática, sacolas plásticas para amarração, incubadora, geladeira, água destilada e reagentes (azida de sódio, sulfato de manganês e ácido sulfúrico).

Para a determinação do oxigênio (OD) dissolvido presente na água dos locais de coleta, tomou-se como base o método de Winkler. Com os valores de OD referentes ao início do experimento e ao fim dele, 5 dias depois, foi calculada a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e os resultados foram anotados.

- **Sólidos Totais Dissolvidos**

A análise de sólidos totais dissolvidos é relativamente simples e consiste na evaporação da água das amostras em estufas à 60°C, restando apenas os sais, podendo calcular, desta forma, a sua concentração na água. Para a realização deste ensaio, utilizou-se béquer, proveta, estufa e balança digital e dessecador.

- **Nitrogênio e fósforo totais**

A análise de fósforo total e nitrogênio total nas amostras de água foi realizada a partir de suas conversões em moléculas passíveis de detecção pelo espectrofotômetro existente nos laboratórios do Ifes- Campus de Alegre. Esta conversão ocorreu por calor, quando

## **Análise da qualidade do solo e da água nas proximidades do antigo lixão em São Gabriel da Palha - ES**

aproximadamente 250 ml de cada amostra foi levada ao autoclave. Todo o conteúdo de fósforo e nitrogênio presente nas amostras foi transformado respectivamente em ortofosfato e nitrato, logo o método de análise foi referente a estas moléculas. Houve triplicata para as amostras de água. Para a análise do fósforo, utilizaram-se béqueres, pipetas, balões volumétricos, câmara escura (estufa), água destilada, reagentes colorimétricos (naftil e sulfanilamida) e reagentes (ácido sulfúrico 15%, ácido ascórbico, tartarato de antimônio e potássio, e molibdato de amônia). A análise do nitrogênio foi realizada de forma semelhante, mudando apenas os reagentes e transformando o nitrato em nitrito. A leitura foi feita em espectrofotômetro com absorvância a 833 nm e os resultados foram ajustados à curva padrão.

### **Análise de solo: Peneiramento e método FRX**

As análises de solo foram realizadas na Universidade Federal do Espírito Santo – Campus Alegre, nas dependências dos Laboratórios de Produção de Amostras (secagem das amostras), Sedimentologia (peneiramento), Geoquímica (fluorescência de raios X) e Engenharia Química 2 (produção da pastilha utilizada na fluorescência de raios X).

Para a análise do solo em laboratório, foram utilizadas formas de alumínio, estufa incubadora, conjunto de peneiras, agitador e balança digital. O procedimento experimental foi exatamente igual para ambas as amostras de solo coletadas em campo.

As amostras de solo foram inicialmente secas em estufa que foram ajustadas à temperatura de 60°C. Posteriormente foram submetidas à etapa de peneiramento, sendo acondicionadas no agitador e então distribuídas sobre um conjunto específico de peneiras (9#, 14#, 28#, 35#, 48#, 100#, 200# e fundo). O agitador foi programado para trabalhar por 30 minutos em uma frequência de 15 Hz. O material passante na peneira de 200# foi então separado para ser utilizado no método FRX.

Para a análise da fluorescência das amostras, foram utilizados os seguintes materiais: 16 gramas de solo passante na peneira de 200#, ligante para pastilha prensada, acetona pura, óleo lubrificante multiuso, cronômetro digital, balança digital de precisão, algodão, 2 placas de petri, almofariz, aparelho de prensa e sua matriz com 37 mm de diâmetro.

Para que houvesse uma maior confiabilidade nos dados, realizaram-se duplicatas para as amostras A e B. Primeiramente, houve a homogeneização de ligante ao solo, que posteriormente foi levado ao aparelho de prensa, que aplicou 10,3 Pa (pressão) nas amostras, transformando-as em pastilhas que posteriormente foram levadas ao espectrofotômetro (S8 TIGER) para leitura da radiação ionizante. A leitura pelo espectrofotômetro permite comparar se a concentração dos elementos no solo se encontra de acordo com o estabelecido por SÁ PAYE et al. (2010). A Figura 3 mostra uma pastilha recém-preparada pelo aparelho de prensa.



**Figura 3.** Pastilha de solo para análise de fluorescência. Fonte: Autor, 2018.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Caracterização da água

Os resultados dos parâmetros analisados para o cálculo do IQA estão sumarizados abaixo, na Tabela 3.

**Tabela 3.** Limites aceitáveis, valores médios e desvio padrão das variáveis analisadas nos dois locais de amostragem. Fonte: Autor, 2018. Fonte da referência padrão: BRASIL, 2005.

Variáveis	Valores Médios	Amostragem A	Amostragem B	Limites aceitáveis (Classe II)
	Média ± DP	Média ± DP	Média ± DP	
Coliformes Termotolerantes (NMP) mL <sup>-1</sup>	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	1000 NMP/ 100 mL <sup>-1</sup>
DBO5 (mg L <sup>-1</sup> )	1,89 ± 1,65	2,02 ± 1,61	2,02 ± 1,61	≤ 5
OD (mg L <sup>-1</sup> )	7,95 ± 0,66	7,90 ± 0,66	7,90 ± 0,66	≥ 5
Fósforo total (mg L <sup>-1</sup> )	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	≤ 0,030
Nitrogênio total (mg L <sup>-1</sup> )	0,25 ± 0,10	0,19 ± 0,01	0,19 ± 0,01	≤ 3,7, para pH 7,5
Sólidos Totais dissolvidos (mg L <sup>-1</sup> )	0,05 ± 0,00	0,07 ± 0,01	0,07 ± 0,01	≤ 500
Temperatura (°C)	25,33 ± 0,58	26,00 ± 1,00	26,00 ± 1,00	X
Turbidez (NTU)	4,66 ± 1,55	3,69 ± 0,43	3,69 ± 0,43	≤ 100
pH	6,17 ± 0,81	6,55 ± 0,00	6,55 ± 0,00	Entre 6 e 9

## **Análise da qualidade do solo e da água nas proximidades do antigo lixão em São Gabriel da Palha - ES**

Os resultados mostram que todos os parâmetros analisados estão abaixo do limite máximo aceitável para corpos hídricos de Classe II. Deve-se destacar que não foram detectados coliformes totais e nem termotolerantes.

A total ausência de coliformes evidencia que não há contribuição significativa de fezes de animais de sangue quente nas águas em análise, mesmo que em ambos locais de coleta sirvam para dessedentação de animais.

Os valores encontrados para a DBO mostram que as águas estão dentro do limite máximo aceitável para corpos hídricos de Classe II, segundo BRASIL (2005). Os valores baixos mostram que as águas estão livres de excesso de matéria orgânica, uma vez que esta aumenta a DBO e causa a eutrofização da água (UCKER et al., 2009).

Assim como os valores de DBO, a concentração de OD na água mostrou-se acima do limite mínimo permitido para corpos hídricos de Classe II. De acordo com BARROS, SOUZA e SOUZA (2011), mananciais superficiais que não apresentam poluição, costumam ter concentração de oxigênio dissolvido acima de 6 mg L<sup>-1</sup>, como é o caso de ambos os locais de análise.

Os resultados encontrados para a análise de fósforo total foram nulos, portanto, de acordo com águas enquadradas na Classe II. Isto aponta que, mesmo que haja cultivo de plantações como café e pimenta-do-reino, estas não foram responsáveis por fornecerem fósforo para os corpos hídricos. Atenta-se ao fato, entretanto, de no período de coleta não ter sido registrada nos dias chuvas anteriores, já que o escoamento superficial poderia carrear tais partículas para os locais analisados.

O nitrogênio, ao contrário do fósforo, foi detectado, mas como todos os outros parâmetros analisados, se encontra de acordo com o que BRASIL (2005) exige para águas de Classe II. Os resultados pouco significativos mostram que a influência da agricultura para o fornecimento de nitrogênio na água é nula ou quase nula. A mesma observação feita para o fósforo acerca das chuvas, cabe neste caso.

Os sólidos dissolvidos totais também se encontram dentro da norma estabelecida por BRASIL (2005) para águas de Classe II. Tanto a quantidade de sólidos totais quanto a turbidez da água tendem a aumentar nos períodos chuvosos, com o escoamento superficial de frações do solo como silte e argila.

A temperatura da água pouco mudou entre os locais de coleta, mas é maior no local de amostragem B. Isto pode ser explicado pelo fato de não haver vegetação ao redor do local de coleta.

O cálculo do IQA mostrou que ambos os locais de coleta apresentam índices de qualidade de água semelhantes. O local de coleta A apresentou IQA de 57,95% enquanto o B apresentou IQA de 58,34%. Isto significa que a água presente nos dois locais de amostragem é considerada boa, de acordo com ANA (2018). Como os parâmetros analisados estão dentro do limite máximo tolerável para corpos hídricos de Classe II, podem ser realizadas atividades recreativas de contato primário, tais como natação, irrigação de jardins, hortaliças e plantas frutíferas, como café e pimenta do reino existentes na região. Pescaria e aquicultura também são atividades que podem ser desempenhadas nos corpos hídricos analisados (BRASIL, 2005).

### **Caracterização do solo**

Os resultados das análises químicas dos solos coletados se encontram abaixo, na Tabela 4:

**Tabela 4.** Resultados obtidos por meio da técnica de fluorescência de raios x. Fonte: Autor, 2018.

Elementos	Valores Médios (%)	
	Amostra A	Amostra B
	Média ± DP	Média ± DP
Si	15,34 ± 0,02	14,84 ± 0,01
Al	12,73 ± 0,10	12,71 ± 0,04
Fe	9,77 ± 0,28	13,37 ± 0,18
Ti	1,13 ± 0,01	1,35 ± 0,01
K	0,48 ± 0,00	0,19 ± 0,01
Zr	0,44 ± 0,01	0,22 ± 0,01
S	0,05 ± 0,01	0,07 ± 0,01
Mg	0,05 ± 0,01	Não detectado
Ca	0,02 ± 0,00	0,03 ± 0,01
Zn	0,02 ± 0,00	0,02 ± 0,00
Cu	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,00
Pb	0,02 ± 0,00	Não detectado
Rb	0,02 ± 0,01	Não detectado
Cr	0,02 ± 0,00	0,02 ± 0,00
P	0,02 ± 0,00	0,03 ± 0,00
Mn	0,01 ± 0,00	0,03 ± 0,01
Sc	Não detectado	0,01 ± 0,00
Ga (ppm)	59 ± 3	83 ± 5

Os resultados foram obtidos com uma porcentagem baixa de fechamento para as amostras, isto é, elas não foram completamente lidas pelo espectrofotômetro. As amostras apresentaram fechamento em torno de 40%, o que não significa que seja necessariamente um problema na análise, já que segundo BROUWER, (2003), caso todos os componentes sejam analisados, as concentrações podem ser normalizadas para 100%, entretanto isto modificaria, mesmo que pouco, no cálculo do desvio médio das variáveis (neste caso, os elementos analisados). Portanto, as análises foram tomadas com o fechamento de 40 % e os resultados podem ser observados na Tabela 5.

Como os valores de qualidade são expostos em mg.Kg<sup>-1</sup>, tornou-se necessário recalculá-los a concentração dos elementos por meio de técnicas de proporcionalidade, já que foram analisadas apenas 8 gramas das amostras. O Estado do Espírito Santo dispõe de referência de qualidade para apenas 4 elementos que foram detectados pela técnica de fluorescência. Os resultados encontram-se na Tabela 5.

**Tabela 5.** Valores encontrados e de referência para elementos químicos encontrados para as amostras A e B. Fonte: Autor, 2018; Fonte dos valores de referência: SÁ PAYE et al., 2010.

Elementos	Valores Médios (%)	Amostra A (mg.Kg <sup>-1</sup> )	Amostra B (mg.Kg <sup>-1</sup> )	Limite aceitável (mg.Kg <sup>-1</sup> )
Zn		0,2	0,2	88
Cu		0,2	0,2	40
Pb		0,2	Não detectado	71
Cr		0,2	0,2	104

## **Análise da qualidade do solo e da água nas proximidades do antigo lixão em São Gabriel da Palha - ES**

Por meio da Tabela 4, é possível observar que não há uma variação grande entre os elementos encontrados nos diferentes pontos de amostragem, bem como não há uma diferença significativa na concentração destes. Os elementos encontrados em maiores concentrações se referem ao Si, Al e Fe, oriundos do intemperismo das rochas da região (geralmente granitoides ricos em granada). Por outro lado, elementos como Mn, Ca, Mg e Ga possuem concentrações muito baixas, especialmente Ga, analisado em partes por milhão (ppm). Este último ocorre naturalmente associado com alumínio, o que explica a sua quantificação. Costuma ser utilizado em equipamentos eletrônicos na confecção de micro-chip (MARTINS, 2012). Desta forma, a sua maior quantificação na amostra B pode estar relacionada aos resíduos eletrônicos enterrados.

O que mais chama atenção entre os dois pontos de amostragem é o aumento no teor de Fe entre as amostras A e B. Isto pode estar relacionado com o fato de a amostra referente ao ponto B ter sido coletada sobre o aterro no qual se encontram enterrados os resíduos e rejeitos. MEDEIROS et al. (2008) também perceberam o aumento na concentração deste elemento em áreas próximas a um lixão, o que corrobora com a hipótese de que tal aumento provavelmente se deve aos resíduos em questão.

Tomando-se como base os valores referentes para Zn, Cu, Pb e Cr, observou-se que as concentrações destes elementos em solo estão muito abaixo do máximo aceitável para a qualidade de solos do Espírito Santo, proposta por SÁ PAYE et al. (2010). Isto mostra que a antiga área do lixão, de um modo geral, encontra-se atualmente livre de contaminação por metais pesados, mas não significa que não virá a estar contaminada um dia, já que segundo BOSCOV (2008), a contaminação ocorre entre décadas e séculos, e o lixão funcionou por “apenas” 13 anos, estando os resíduos sólidos e rejeitos enterrados há quatro anos.

## **CONCLUSÃO**

Foi possível, com a técnica de fluorescência de raios X, quantificar os elementos químicos presentes no solo e por meio desta técnica, pôde-se observar que o solo sobre o aterro possui concentrações de metais pesados dentro do limite máximo aceitável para solos do Estado do Espírito Santo.

Como há todo tipo de resíduo enterrado, há a possibilidade de o solo vir a estar contaminado após alguns anos. Para evitar que tal contaminação atinja o nível freático ou mesmo corpos hídricos existentes na região, aconselha-se que a provável fonte de contaminação seja encapsulada geotecnicamente.

O IQA das amostras mostrou que elas são de boa qualidade, de acordo com o que estabelece a Agência Nacional das Águas para o Estado do Espírito Santo. Os parâmetros quantificados revelaram que os corpos hídricos analisados estão de acordo com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas pertencentes à Classe II, isto é, seu uso é permitido para atividades de pesca e outras que envolvam contato primário. Além disto, não há restrição para a utilização das águas como fonte de irrigação para culturas como café e pimenta do reino, existentes na região.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO EMBRAPA. **Latossolos**. Disponível em:<[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01\\_96\\_10112005101956.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html)>. Acesso em: 30 abr. 2018.

AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA (AGEITEC). **Argissolos vermelho-amarelos**. Disponível em:

<[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio\\_mata\\_sul\\_pernambucana/arvore/CONT000gt7eon7k02wx7ha087apz2axe8nfr.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CONT000gt7eon7k02wx7ha087apz2axe8nfr.html)>. Acesso em: 03 mai. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Portal de qualidade das águas**. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acesso em: 21 mai. 2018.

AGRIZZI, D. V. **Índice de qualidade da água de nascentes no Assentamento Paraíso, Alegre, ES**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre- ES.

ALBUQUERQUE, C G de *et. al.* **Relação entre os valores de DQO e DBO da estação de tratamento de esgoto de Peixinhos em Olinda - PE**. In: IX JORNADA DE ENSINO PESQUISA E EXTENSÃO, 2009, Recife. Anais da IX Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão. Recife: UFPRE, 2009.

ALMEIDA, F.F.M. 1977. **O Cráton do São Francisco**. Revista Brasileira de Geociências, 24 (7): 349-364.

BALTAZAR et al. 2010. **Programa Geologia do Brasil, Projeto São Gabriel da Palha-Linhares, Folhas São Gabriel da Palha- Linhares (SE.24-Y-C-III/SE.24-Y-D-I)**. Escala 1:100000-Belo Horizonte: CPRM.

BARROS, R. V. G.; SOUZA, H. M. de L.; SOUZA, C. A. **Determinação do Índice de Qualidade da Água (IQA) na sub-bacia do Córrego André em Mirassol D' oeste, Mato Grosso**. Eng. Sanit. Ambient., Espírito Santo do Pinhal, v.6, n.3, p.138-153, jul./set.2011.

BIZZI, L. A., SCHOBENHAUS, C., VIDOTTI, R. M. 2003. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas e SIG**. CPRM, Brasília, 674p.

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia Ambiental**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 63-91 p.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicado no Diário Oficial da União- DOU de 28/03/2005.

BROWER, P. **The theory of XRF: getting acquainted with the principles**. 3.ed. Almelo: Analytical, 2003.

CHAPMAN, D.; KIMSTACK, V. **The selection of water quality variables**. CHAPMAN D. (Ed.) In: Water quality assessment. London: Chapman & Hall Ltd., 1992. p. 51-117.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo**. Apêndice A. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas de amostragem. São Paulo: CETESB. 2009. (Série Relatórios).

CUNHA, A. de M. et al. **Atualização da legenda do mapa de reconhecimento de solos do Estado do Espírito Santo e implementação de interface no GEOBASES para uso dos dados em SIG**. *GeografarES*, Vitória, v.2, n.2, p. 32-65, dez.2016.

## **Análise da qualidade do solo e da água nas proximidades do antigo lixão em São Gabriel da Palha - ES**

DIAS, D. L. "**Demanda Bioquímica de Oxigênio**"; *Brasil Escola*. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/demanda-bioquimica-oxigenio.htm>>. Acesso em 22 de fevereiro de 2018.

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. E. (Eds.). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. Washington, DC: APHA/AWWA/WEF, 2005.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

HEILBRON, M.L., PEDROSA-SOARES, A.C., CAMPOS NETO, M.C., SILVA, L.C., TROUW, R. & JANASI, V.A. 2004. **Província Mantiqueira**. In: V.M. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro & Brito Neves, B.B. (orgs.). **Geologia do Continente Sul-Americano**. São Paulo, 203-234.

MARTINS, P. de A. **Desenvolvimento de método para separação química de gálio-67 pela técnica de difusão térmica**. 2012. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.

MEDEIROS, G. A. de et al. **Diagnóstico de Qualidade da água e do solo no lixão de Engenheiro Coelho, no Estado de São Paulo**. Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v.5, n.2, p. 169-186, maio./ago. 2008.

PEDROSA-SOARES, A. C., NOCE, C. M., WIEDEMANN C. M., PINTO, C. P. 2001. **The Araçuaí–West Congo orogen in Brazil: An overview of a confined orogen formed during Gondwanland assembly**. *Precambrian Research*, 110: 307-323.

PEDROSA-SOARES, A. C., WIEDEMANN-LEONARDOS C. M. 2000. **Evolution of the Araçuaí Belt and its connection to the Ribeira Belt, Eastern Brazil**. In: U. Cordani, E. Milani, A. Thomaz-Filho & D. A. Campos (eds). **Tectonic Evolution of South America**. São Paulo, 265-285.

PENA, R. F. A. **Solo**. *Brasil Escola*. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/o-solo.htm>>. Acesso em 30 de maio de 2018.

RONCATO JÚNIOR, J. G. **As Suítes Graníticas Tipo - S do Norte do Espírito Santo na região das Folhas Ecoporanga, Mantena, Montanha e Nova Venécia**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geologia)- Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SÁ PAYE, H. de et al. **Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no Estado do Espírito Santo**, *Viçosa*, v.34, n°6, nov./dez.2010.

SEDURB. 2015. **Programa ES sem Lixão**. Disponível em: <<https://sedurb.es.gov.br/programa-es-sem-lixao>> Acesso em: 13 jul. 2020

SILVA et al. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Livraria Varela, 2007. 552 p.

UCKER, F. E.; FOLETTTO, C.; KEMERICH, P. D. C. **Índice de qualidade da água em Bacia-Escola urbana na cidade Santa Maria - RS**. Engenharia Ambiental: pesquisa e tecnologia. v.6.n.3.p.660-670. 2009.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2007. 588 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.7).



## Capítulo 2

### **Estação de Tratamento de Água (ETA) e a atenuação dos teores de Ferro, Manganês e Matéria Orgânica na água subterrânea de um aquífero fraturado em Itaperuna (RJ)**

*Daniel de Castro Braga Dias<sup>1</sup>; Mirna Aparecida Neves<sup>2</sup>*

**RESUMO.** Este trabalho traz um estudo a respeito de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) de pequeno porte localizada no município de Itaperuna – RJ, construída com o objetivo de atenuar as concentrações de ferro (Fe), manganês (Mn) e matéria orgânica complexada em água subterrânea. O estudo aborda a tecnologia de tratamento, enfatizando o tratamento convencional e suas etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Após a descrição do funcionamento da ETA, apresenta-se a análise dos parâmetros de qualidade e a eficiência do tratamento para o enquadramento do Ferro (Fe), Manganês (Mn), coliformes totais, *Escherichia coli*. Foram observados também os parâmetros pH, cloro residual livre, dureza total e alcalinidade total. Os valores foram confrontados com os padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde, com a finalidade de verificar se a ETA estudada funciona de forma satisfatória para atendimento ao consumo por humanos. Ao final, são propostas ações que contribuirão com o incremento na eficiência do sistema.

**PALAVRAS-CHAVE.** ETA; Potabilidade; Qualidade da Água; Água Subterrânea.

## **INTRODUÇÃO**

As Estações de Tratamento de Água (ETA) são ferramentas essenciais para garantir água com padrões de qualidade seguros à população, buscando o enquadramento de parâmetros aos limites determinados pela Legislação. Os sistemas de tratamento de água devem ser monitorados pelos responsáveis e utilizam técnicas de tratamento para a adequação do produto ofertado, dentro dos limites estabelecidos. Embora a água subterrânea geralmente apresente boa qualidade natural, concentrações anômalas podem ocorrer, inviabilizando seu uso caso não seja aplicado um tratamento eficiente. Esse é o caso da água estudada nesse trabalho.

O objetivo principal do estudo foi descrever os processos utilizados para melhoria da qualidade de água subterrânea rica em ferro, manganês e matéria orgânica complexada, extraída por poço tubular profundo em terreno de rochas cristalinas no município de Itaperuna (RJ). Além da descrição do funcionamento da ETA, apresenta-se os parâmetros de qualidade da água bruta e tratada para verificação da eficiência dos processos físicos e químicos utilizados no tratamento de água.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

A NBR 12216 (ABNT, 1992) fornece instruções para o dimensionamento de estações de tratamento de água potável (ETA) para abastecimento público. A norma recomenda a realização de ensaios laboratoriais que comprovem que os resultados encontrados são eficientes, buscando definir valores específicos para cada ETA (BRAGA, 2014). Segundo

<sup>1</sup>Geólogo formado pela Universidade Federal do Espírito Santo – [danielcbdias@gmail.com](mailto:danielcbdias@gmail.com);

<sup>2</sup>Professora do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Espírito Santo - [mirna.neves@ufes.br](mailto:mirna.neves@ufes.br)

## **Estação de Tratamento de Água (ETA) e a atenuação dos teores de Ferro, Manganês e Matéria Orgânica na água subterrânea de um aquífero fraturado em Itaperuna (RJ)**

Libânio (2010), o tratamento de água tem o propósito de ajustar a água bruta aos padrões estabelecidos, buscando os menores custos de implantação, manutenção e operação.

As tecnologias mais relevantes de tratamento de água para o consumo humano são: filtração em múltiplas etapas, filtração direta ascendente, filtração direta descendente, dupla filtração, floto-filtração e ciclo completo (BERNARDO e PAZ, 2010; BRAGA, 2014). A tecnologia de ciclo completo é o procedimento utilizado na ETA estudada. As cinco etapas para a realização do tratamento de ciclo completo são: coagulação; floculação; decantação; filtração e ajustes finais, com desinfecção e ajuste de pH (ANDREOLI et al., 2017).

### **Coagulação e mistura rápida**

A coagulação representa a desestabilização de partículas coloidais e suspensas por meio de fenômenos químicos e físicos. Os coagulantes reagem com a água, formando espécies hidrolisadas com carga positiva ou precipitado de metal do coagulante usado. Os produtos colidem com as impurezas da água, fazendo que elas fiquem desestabilizadas, através do processo de mistura rápida, onde há o incremento do fornecimento de energia e agitação (BERNARDO e PAZ, 2010; LIBÂNIO, 2010). A condição ótima de coagulação, ou seja, a melhor proporção entre dosagem de coagulante e pH para cada tecnologia de tratamento, é definida em experimentos laboratoriais, por exemplo o Jar Test, um equipamento que determina as dosagens ótimas dos reagentes por meio de tentativa e comparação. Os principais produtos químicos utilizados como coagulantes são: sulfato de alumínio ( $Al_2[SO_4]_3$ ), sulfato férrico ( $Fe_2[SO_4]_3$ ), sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ), sulfato ferroso clorado ( $FeSO_4 \cdot 7 H_2O \cdot [1/2 Cl_2]$ ), hidroxicloreto de alumínio ( $Al[OH]Cl_2$ ), e cloreto férrico ( $FeCl_3$ ). Muitas vezes, são adicionados auxiliares de coagulação, que são os alcalinizantes, tal como o óxido de cálcio (CaO) (BERNARDO e PAZ, 2010; BRAGA, 2014; LIBÂNIO, 2010; SECKLER, 2017). A mistura rápida busca fornecer à água uma agitação capaz de dispersar o coagulante de forma eficiente, buscando o maior aproveitamento possível, sendo também capaz de provocar o choque entre o coagulante e as partículas coloidais na água.

### **Floculação e mistura lenta**

A floculação ocorre após a coagulação, onde as partículas desestabilizadas vão se agregar, formando flóculos e possibilitando a remoção nas etapas seguintes por meio de decantação ou floculação. Para tal, é necessário fornecer condições ótimas (gradiente de velocidade e tempo de mistura) para que as partículas se choquem (BRAGA, 2014). É uma operação unitária de clarificação, constituída por um conjunto de atividades físicas, que objetiva reduzir a quantidade de partículas suspensas e coloidais presentes no volume líquido, através da formação de flóculos maiores que serão removidos com mais facilidade posteriormente (LIBÂNIO, 2010). Nessa etapa, a energia promovida à água é menor quando comparada à energia fornecida durante o período de mistura rápida, por isso, a floculação é denominada fase de mistura lenta (BERNARDO e PAZ, 2010; BRAGA, 2014; LIBÂNIO, 2010). De semelhante modo à coagulação, a NBR 12216 (ABNT, 1992) decide que a duração da mistura e o gradiente de velocidade devem ser definidos em ensaios laboratoriais.

### **Decantação**

A decantação ou sedimentação, assim como a floculação, consiste em uma operação unitária bastante comum na remoção de partículas sólidas em um sistema de tratamento de água. Esse processo promove a separação das partículas utilizando as forças gravitacionais (CARVALHO, 2008). Assim, partículas com densidade inferior à da água irão para a parte

superficial, formando a espuma ou nata, e o restante, com o auxílio da força gravitacional, irá em direção ao fundo, formando o precipitado ou lodo de fundo (SANTOS et al., 2005).

### Filtração

Segundo Braga (2014), a etapa de filtração tem a função de reter as partículas que não foram removidas nos processos anteriores. Os filtros podem ter características lentas ou rápidas, sendo que o último está presente no sistema convencional de tratamento. Os filtros rápidos têm: canal de alimentação da água; calhas de distribuição da água decantada; meio filtrante; camada suporte; sistema de drenagem e calhas de coleta da água de lavagem. ETA's de pequeno porte podem ter tanques de filtração pressurizados, fazendo com que o permeado passe pelas mídias filtrantes e promova a retenção das impurezas. A quantidade de tanques de filtração varia com a qualidade da água a ser tratada (BERNARDO e PAZ, 2010; BRAGA, 2014; LIBÂNIO, 2010; SECKLER, 2017). De acordo com Braga (2014), o critério que define se o filtro é rápido ou lento é a taxa de filtração, conforme a NBR 12216 (ABNT, 1992), assim como a coagulação/mistura rápida e floculação/mistura lenta, também deve ser adotada a partir de ensaios laboratoriais de filtração.

### Ajustes finais

Os ajustes finais do tratamento de água correspondem à desinfecção e correção de pH, podendo também ser incluída a etapa de fluoretação. Quando há presença de ferro na água de distribuição, podem ser utilizados complexantes previamente à desinfecção (LIBÂNIO, 2010).

A desinfecção pode ser realizada através de agentes físicos e químicos. A eficiência de desinfecção está relacionada com: as características da água; do microrganismo a ser inativado, pois cada grupo possui uma resistência à desinfecção e das características do desinfetante, tal como o potencial de oxidação (BRAGA, 2014; LIBÂNIO, 2010; PÁDUA e FERREIRA, 2006). Dentre os diversos compostos disponíveis para a desinfecção, os compostos de cloro são largamente utilizados, isso ocorre devido ao seu baixo custo e à possibilidade de conferir à água uma concentração residual segura (LIBÂNIO, 2010; PÁDUA e FERREIRA, 2006). Porém existem outros métodos mais onerosos e não convencionais, como: cloraminas, dióxido de cloro e ozônio (SECKLER, 2017). Na cloração, a reação de cloro gasoso com a água gera o ácido hipocloroso (HClO) e este, posteriormente, se dissocia em íon hipoclorito (ClO<sup>-</sup>). A soma da concentração desses dois compostos é denominada de cloro residual livre e a prevalência de uma espécie ou outra depende do pH (LIBÂNIO, 2010).

Segundo Libânio (2010), a correção do pH, quando necessária, se apresenta como a última etapa do tratamento de água, sendo responsável pela adição de álcalis que tem o objetivo de ajustar os valores do pH da água aos padrões recomendados pela Portaria 2914 (BRASIL, 2011). Os produtos mais comumente utilizados nesse processo são: hidróxido de cálcio (CaO) e hidróxido de cálcio hidratado (Ca[OH]<sub>2</sub>), carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) e hidróxido de sódio (NaOH). Dentre os produtos citados, o hidróxido de cálcio (CaO) é o mais largamente utilizado para o processo de correção.

### METODOLOGIA

Os dados da água bruta e tratada foram obtidos por meio da empresa ECO Dedetizadora e Serviços Ambientais, com sede no município de Itaperuna (RJ), responsável pela realização das análises frequentes da ETA estudada. A coleta de amostras foi realizada pelo técnico e biólogo Ed Carlos Moreira Dias durante os meses de 2018, sendo coletados 500 ml de água por amostragem. Foram disponibilizadas as análises de água bruta e água tratada entre os meses de

## **Estação de Tratamento de Água (ETA) e a atenuação dos teores de Ferro, Manganês e Matéria Orgânica na água subterrânea de um aquífero fraturado em Itaperuna (RJ)**

fevereiro a outubro. Ao todo foram realizadas 11 coletas e análises, sendo 3 referentes à água bruta e 8 referentes à água tratada.

As análises da água foram realizadas com o objetivo de verificar os valores de pH, presença de coliformes totais e *Escherichia coli* e as concentrações de ferro total e manganês, para que as etapas de tratamento fossem condicionadas às concentrações encontradas. Foram também medidos o pH, dureza total, alcalinidade total e cloro livre. Foram seguidas as recomendações de Baird et al. (2012): para o ferro total (Fe) e manganês foi utilizada a espectrometria (colorimetria ou fotometria); para os parâmetros coliformes totais e *Escherichia coli*, os resultados foram obtidos por meio de filtração por membranas; o potencial hidrogeniônico (pH) foi medido por medidor de pH; o cloro residual livre, a dureza total e a alcalinidade foram obtidos por titulometria.

Os dados foram comparados com os valores indicadores de potabilidade presentes na Portaria 2914 (BRASIL, 2011), que era a normativa vigente à época do desenvolvimento desse trabalho. Importante citar que, atualmente, o padrão de potabilidade é fixado pela Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 (BRASIL, 2017), mas de forma geral os níveis dos parâmetros monitorados nesse trabalho não sofreram alterações. Por meio desses dados comparativos foi possível observar a eficiência da ETA estudada e sugerir possíveis recomendações para seu melhor funcionamento.

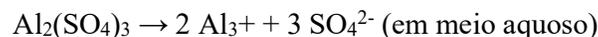
## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Sistema de tratamento da água estudada**

Para o cumprimento das normas qualitativas da Portaria 2914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), são seguidas as etapas de coagulação química, floculação, sedimentação e filtração. Esses processos são utilizados no sistema de tratamento estudado, descrito a seguir.

### ***Coagulação e oxidação***

Como parte inicial do tratamento, após o bombeamento por bomba elétrica de controle inteligente da água subterrânea do poço tubular profundo (Figura 1a), realiza-se a adição de três produtos químicos: hipoclorito de sódio (NaClO), sulfato de alumínio ( $Al_2[SO_4]_3$ ) e óxido de cálcio (CaO). São utilizados dois tanques com capacidade de 240 litros cada (Figura 1b), em um tanque há a proporção de 30% de hipoclorito de sódio (NaClO), 72 litros, e 70% de água tratada, 168 litros. No outro tanque há 220 litros de água tratada somados a 7 kg de sulfato de alumínio ( $Al_2[SO_4]_3$ ) e 7 kg de óxido de cálcio (CaO). Tendo em vista a dificuldade de solubilização em água dos produtos adicionados, é necessária a instalação de um agitador por hélice acoplado a um motor. O sulfato de alumínio é utilizado como coagulante, possibilitando que as fases sólida e líquida se separem por meio da formação de coágulos, seguindo a reação química a seguir:

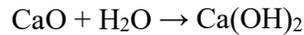


Os íons  $Al^{3+}$  passam a atuar de duas formas: uma parte menor desses cátions neutraliza as cargas negativas das impurezas presentes na água, e uma parte maior interage com os íons hidroxila ( $OH^-$ ) da água, formando o hidróxido de alumínio por meio da reação química:



O hidróxido de alumínio ( $Al[OH]_3$ ) está carregado positivamente e, por essa razão, consegue neutralizar as impurezas coloidais carregadas negativamente que estão na água. O

resultado é que as partículas de sujeira sofrem uma aglutinação e se juntam ao hidróxido de alumínio, formando os floculos. Seckler (2017) recomenda que junto ao sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2[\text{SO}_4]_3$ ), seja também adicionado o óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ), isso ocorre pois como o primeiro químico adicionado apresenta caráter ácido em meio aquoso ( $6 \text{ H}^+$ ), é necessário realizar a correção do pH de coagulação, pois caso a correção não ocorra, a formação do hidróxido de alumínio ( $\text{Al}[\text{OH}]_3$ ) é impossibilitada. A reação química sofrida pelo óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) é a seguinte:



dando origem assim a uma base, o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}[\text{OH}]_2$ ), o que promove a elevação do pH de coagulação.

Como a água a ser tratada apresenta altas concentrações de ferro e manganês solúvel, é necessária a adição de agentes oxidantes para remoção de elementos solubilizados por precipitação química, esse é o motivo da adição do hipoclorito de sódio ( $\text{NaClO}$ ), funcionando como um pré-oxidante. Essa etapa é denominada como pré-cloração. Após a produção dos concentrados químicos a serem utilizados no início do tratamento, a água bombeada do poço adentra uma tubulação específica, onde é misturada aos químicos por meio de bombas dosadoras que dispersam as substâncias em uma unidade de mistura rápida do tipo hidráulica, denominada turbilhoador (Figura 1c). Sua finalidade é possibilitar a entrada de água bruta, garantir condições ótimas para a dispersão do coagulante, alcalinizante e oxidante no meio aquoso, e permitir a saída de água coagulada para a próxima etapa do tratamento. Também é instalado um manômetro (Figura 1d) para monitoramento de pressão e volume da água oriunda do poço.



**Figura 1.** (A) Controle inteligente da bomba elétrica do poço tubular profundo; (B) tanques com hipoclorito de sódio (cor laranja, a esquerda) e com sulfato de alumínio e óxido de cálcio (cor laranja, a direita) com seu agitador por hélice (dispositivo de cor bege localizado na parte superior do tanque); (C) bombas dosadoras dos concentrados químicos e, ao fundo, o turbilhoador com ângulos de  $90^\circ$  e (D) manômetro para controle de pressão da água bombeada do poço tubular profundo.

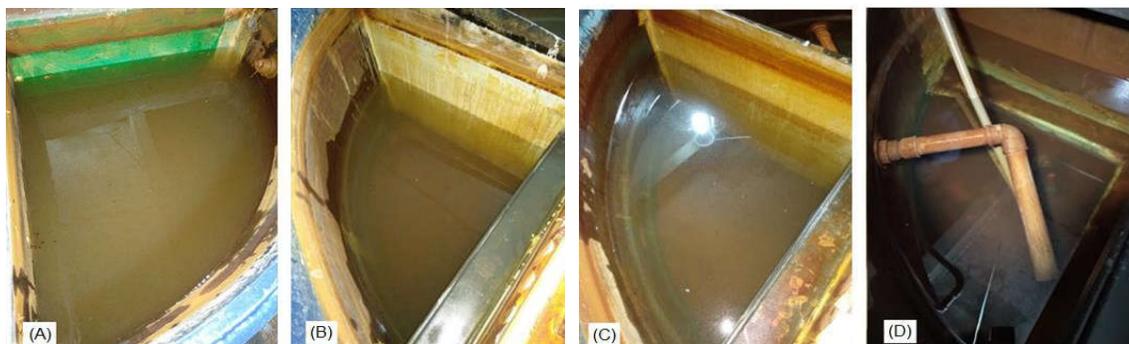
### ***Floculação e sedimentação***

A água coagulada adentra uma caixa d'água em PVC de 2000 litros, com quatro divisões iguais separadas em ACM (*Aluminium Composite Material*), composto de duas chapas externas de alumínio em núcleo polietileno. A entrada da água ocorre pela base da caixa em umas das divisórias, apresentando ainda um fluxo turbulento. Como a água agora possui em sua composição elementos coagulantes, as partículas começam a se agregar, dando origem aos floculos. A pressão com que a água é lançada na primeira divisória proporciona um movimento

## Estação de Tratamento de Água (ETA) e a atenuação dos teores de Ferro, Manganês e Matéria Orgânica na água subterrânea de um aquífero fraturado em Itaperuna (RJ)

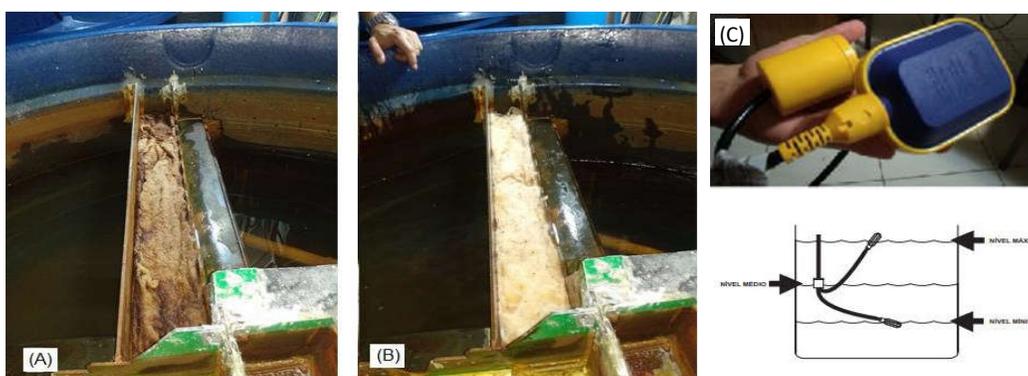
circular e elevatório, o que possibilita a decantação dos flóculos e a primeira separação de sólidos-líquidos. Nessa etapa inicia-se a sedimentação.

Nesse processo de oxidação, diferentemente do ferro que precipita, o manganês flutua. Neste momento, adiciona-se manualmente o óxido de cálcio (CaO) para proporcionar ainda mais alcalinidade à solução, o que provoca a precipitação do manganês também, que se agrega à cal. Além disso, essa adição favorece a retenção do manganês na próxima etapa de filtragem, com a utilização da zeólita. As divisórias instaladas na caixa d'água estabilizam o movimento do líquido, facilitando a precipitação e a retenção dos flóculos por sedimentação gravitacional (Figura 2).



**Figura 2.** (A) Primeira divisória da caixa d'água com turbidez elevada e flóculos de tamanho grande; (B) segunda divisória apresentando água com turbidez moderada e flóculos de tamanho médio a grande; (C) terceira divisória apresentando turbidez baixa e flóculos de tamanho pequeno e (D) quarta divisória apresentando água transparente e sedimentação no fundo.

No último tombamento, utiliza-se uma camada em fibra de polipropileno que auxilia na retenção de flóculos de menor tamanho antes do bombeamento para o primeiro estágio de filtração, essa camada é lavada periodicamente (Figuras 3A e 3B). Na quarta e última divisória há uma boia elétrica de nível máximo e mínimo (Figura 3C), responsável pelo acionamento e suspensão da bomba elétrica para exploração da água subterrânea do poço.



**Figura 3.** (A) Camada de fibra de polipropileno com enorme quantidade de sedimento retido, (B) camada de fibra de polipropileno após lavagem, (C) boia elétrica de nível máximo e mínimo com esquema de seu funcionamento, com destaque para o contrapeso responsável pela determinação do nível médio (Fonte: TRON – Controles Eletrônicos LTDA).

### *Primeiro estágio de filtração*

O processo ocorre por bombeamento pressurizado, onde a água é conduzida da quarta divisória até o topo do primeiro tanque, entrando em seu interior por meio de um cabeçote de controle, o qual pressuriza o fluxo através das mídias filtrantes que compõem o primeiro estágio de filtração.

A zeólita promove a retenção de ferro, manganês e matéria orgânica que não foram decantados durante os tombamentos ou interceptados pela fibra de polipropileno. A remoção de manganês é mais eficiente em pH superior a 8,5, enquanto o cenário ótimo para a remoção do ferro apresenta pH variando entre 6,8 a 7,5. Sendo assim, a mídia filtrante zeólita no primeiro estágio de filtração funciona perfeitamente na retenção do manganês e parcialmente na retenção do ferro. Abaixo do nível de zeólita há uma areia específica para filtração com grãos entre 0,25 e 0,35 mm, que auxilia na retirada de turbidez e particulado. Na base do tanque, envolvendo a crepina inferior, encontra-se o cascalho. Seu objetivo é impedir o entupimento das raiais de filtração pela areia, além de possibilitar a percolação do permeado já filtrado até sua penetração no tubo central.

O processo de regeneração ou recuperação das mídias filtrantes ocorre por movimento rotacional do cabeçote, acionado automaticamente por programação de tempo. Ocorre a modificação no sentido de fluxo, ora pressionando no sentido descendente, ora pressionando no sentido ascendente, expulsando assim o material retido pelo filtro, sendo então direcionado para a válvula de descarte.

Esse processo pode ser programado por diversas vezes de acordo com a necessidade e volume de trabalho ou pela qualidade da água filtrada. Por tratar-se de uma água com qualidade ruim e quantidade de ferro e manganês elevados, o processo de recuperação da mídia ocorre a cada 5 horas de trabalho, repetindo-se 3 vezes os processos de limpeza, sendo 15 min em processo ascendente e 10 min em processo descendente, com descarte até o retorno do processo de produção.

### *Segundo estágio de filtração*

O processo desse estágio está diretamente relacionado ao funcionamento do primeiro estágio de filtração, visto que utiliza a mesma bomba pressurizadora. A mídia desse processo é a mais comumente utilizada nos sistemas de filtração, trata-se do carvão ativado, que, nesse caso, é o carvão ativado granulado.

O objetivo dessa etapa é a retenção da matéria orgânica coloidal complexada, sendo essa uma das impurezas mais difíceis de serem tratadas, pois refere-se a uma partícula extremamente pequena e complexada com ferro e manganês. Sabendo que é o caso desse tratamento, faz-se necessário a instalação desse segundo estágio. O carvão ativado possui milhares de pequenos poros em sua estrutura, o que lhe dá uma grande capacidade de adsorção, dessa forma é capaz de reter inúmeras moléculas física ou quimicamente, funcionando assim de forma extremamente eficiente na retenção dos complexos de matéria orgânica, ferro e manganês. Além da matéria orgânica, o carvão ativado é fundamental na retenção do cloro residual adicionado durante o processo de coagulação e oxidação.

A recuperação dessa mídia ocorre de igual modo ao informado no primeiro estágio, contudo a realização do processo, diferentemente da contagem por tempo, se dá por volume processado. Um fluxostato monitora o volume até atingir 3,3 m<sup>3</sup> de água processada, ao chegar a esse valor, o sistema paralisa o processo de filtração e inicia o processo de retrolavagem e recuperação das mídias.

## **Estação de Tratamento de Água (ETA) e a atenuação dos teores de Ferro, Manganês e Matéria Orgânica na água subterrânea de um aquífero fraturado em Itaperuna (RJ)**

### ***Terceiro estágio de filtração***

O terceiro estágio de filtração tem por finalidade o polimento final do permeado, tendo em vista que quando o primeiro e segundo estágios estão próximos do seu ponto de saturação, moléculas com presença de ferro, especificamente o ferro (III), que necessita de maior tempo de contato com os oxidantes, ainda encontra-se presente, em proporção muito abaixo da inicial.

Primeiramente, por meio de uma outra bomba dosadora, há uma nova dispersão de uma solução com hipoclorito de sódio (NaClO) no líquido permeado, apresentando agora 80% de água tratada (40 litros) e 20% de hipoclorito de sódio (10 litros). A utilização novamente do hipoclorito de sódio tem como objetivo a oxidação do ferro e a desinfecção. São utilizadas duas caixas d'água em PVC com 1000 litros cada uma, havendo um tombamento entre elas. Esse processo faz com que o permeado tenha um tempo maior de contato com o hipoclorito de sódio (NaClO), possibilitando uma desinfecção mais eficiente e a oxidação do ferro, proporcionando sua decantação, antes que seja bombeado para o último tanque de filtração. Após o contato entre a água e o hipoclorito de sódio (NaClO), a água é bombeada da segunda caixa d'água por bombeamento pressurizado, sendo conduzida até o topo do terceiro tanque, entrando em seu interior por meio de um cabeçote de controle, o qual pressuriza o fluxo através das mídias filtrantes que compõem o terceiro estágio de filtração. O processo dá-se por filtração descendente como no primeiro e segundo estágios, contudo, utilizando unicamente mídia zeólita específica. O processo ocorre de semelhante modo ao explicado quanto à zeólita, contudo como o pH nesse momento apresenta em média o valor de 7,5, não mais os 8,5 do primeiro estágio, tem-se um cenário ideal para a retenção do ferro nesse tipo de mídia.

A segunda caixa d'água apresenta também uma boia elétrica de nível máximo e mínimo, porém ela não é responsável pelo acionamento ou paralisação da bomba elétrica inteligente. Quando atinge o nível mínimo, a água oriunda do segundo estágio de filtração passa a cair na primeira caixa d'água e posteriormente é tombada para a segunda caixa d'água. Quando atinge o nível máximo, ocorre a paralisação dessa ação. A recuperação dessa mídia ocorre de igual modo ao informado no primeiro e segundo estágios, mas tendo como base o tempo de trabalho, sendo programada para que a cada 6 horas a mesma se recupere por processo de retrolavagem, com descarte pela purga. É sabido que além da limpeza da mídia por processo de expulsão do material retido nela pelo fluxo ascendente, o hipoclorito de sódio (NaClO) dosado no permeado oriundo do segundo estágio recupera ou ativa esse elemento filtrante.

### ***Filtração final***

No último estágio, visando maior segurança no processo de filtração, observando que o bombeamento oriundo dos tanques de contato não cessa quando ocorre a rotação do cabeçote de controle para realizar a recuperação da mídia, podendo assim enviar para a cisterna volume do processo de regeneração, foi instalado um filtro de polipropileno em filtração mecânica com elemento filtrante plissado, sendo substituído periodicamente conforme a necessidade.

### ***Disponibilização para os moradores***

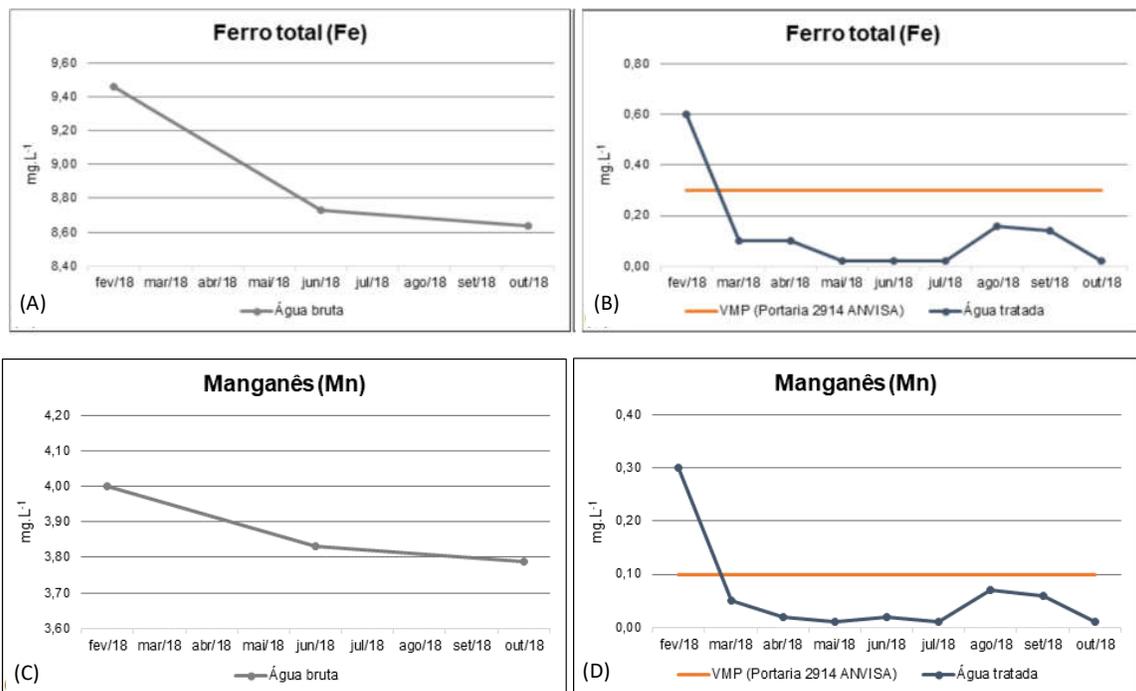
Ao fim, após a passagem pelo filtro de polipropileno, a água segue para a cisterna, sendo então bombeada para a caixa d'água do edifício, onde posteriormente é distribuída por gravidade para a utilização dos moradores. A cisterna também apresenta uma boia elétrica de nível máximo e mínimo. Quando ela se localiza em posição de nível mínimo, a água oriunda do terceiro estágio de filtração e, após passar pela filtração final, passa a cair na cisterna, caso esteja em posição de nível máximo, essa ação é interrompida.

**Parâmetros de qualidade da água bruta e tratada**

Neste item apresenta-se a qualidade da água bruta extraída do poço, cujos parâmetros estão, em sua maioria, fora dos padrões permissíveis, confrontando-os com os níveis medidos após o tratamento para verificação da eficiência do método de tratamento empregado. A matéria orgânica aparece de forma complexada, onde trata-se da formação de compostos coordenados entre matéria orgânica, ferro e manganês. A formação de complexos orgânicos e quelatos aumentam a solubilidade do ferro e manganês, dificultando sua remoção.

**Concentrações de Ferro e Manganês**

Os gráficos da Figura 4 mostram as concentrações de ferro total medidas na água bruta e na água tratada, junto ao VMP pela Portaria 2914 (BRASIL, 2011). Os resultados obtidos nas análises demonstraram que a água bruta estava fora dos padrões de potabilidade para águas destinadas ao consumo, possuindo concentrações de ferro total muito acima do VMP, sendo necessário realizar sua correção por meio da ETA estudada. Após o tratamento da água, as concentrações de ferro total atingiram níveis satisfatórios a partir do mês de março. É importante destacar que mesmo estando fora dos padrões de potabilidade no mês de fevereiro, a eficiência do tratamento ainda foi muito alta (93,66%), o que demonstra que a remoção do ferro total ocorreu em grande quantidade, mas ainda não de forma satisfatória. Essa inadequação pode estar relacionada ao volume de hipoclorito de sódio (NaClO) disseminado no início do processo de tratamento (coagulação e oxidação) e responsável pela oxidação do ferro.



**Figura 4.** (A) Concentração de ferro total na água bruta extraída do poço tubular profundo nos meses de fevereiro, junho e outubro de 2018 e (B) na água tratada; (C) concentração de manganês na água nos mesmos meses e (D) concentração de manganês na água tratada.

É também interessante destacar a queda na concentração de ferro total nas análises da água bruta, essa diminuição pode estar relacionada com a aeração da água do aquífero cristalino, o que propicia a oxidação do ferro e até mesmo, segundo Silva e Almeida (1979), a proliferação

## **Estação de Tratamento de Água (ETA) e a atenuação dos teores de Ferro, Manganês e Matéria Orgânica na água subterrânea de um aquífero fraturado em Itaperuna (RJ)**

de bactérias ferruginosas, como as dos gêneros *Gallionella* e *Leptothrix*. A diminuição da disponibilidade na água pode também estar relacionada com a queda no volume de chuva na região entre os meses de abril até o começo de outubro, isso diminui a lixiviação dos constituintes químicos das rochas ou solo, o que tem como consequência a diminuição de sua disponibilidade na água subterrânea.

Os gráficos da Figura 4 também mostram as concentrações de manganês medidas na água bruta e na água tratada, junto ao VMP pela Portaria 2914 (BRASIL, 2011). Os resultados obtidos nas análises demonstraram que a água bruta estava fora dos padrões de potabilidade definidos pela Portaria 2914 (BRASIL, 2011) para águas destinadas ao consumo, possuindo concentrações de manganês muito acima do Valor Máximo Permitido, sendo necessário realizar sua correção por meio da ETA estudada.

Após o tratamento da água, as análises demonstraram que as concentrações de manganês atingiram níveis satisfatórios a partir do mês de março. É importante ressaltar que mesmo estando fora dos padrões de potabilidade no mês de fevereiro, a eficiência do tratamento ainda foi muito alta (92,50%), o que comprova que a remoção do manganês ocorreu em grande quantidade, mas ainda não de forma satisfatória. Assim como o ferro total, essa inadequação pode estar relacionada ao volume de hipoclorito de sódio (NaClO) disseminado no início do processo de tratamento (coagulação e oxidação) e responsável pela oxidação do ferro e do manganês.

De modo semelhante ao ferro total, é possível observar uma queda na concentração de manganês nas análises realizadas na água bruta, esse decréscimo provavelmente também está relacionado com a aeração da água do aquífero cristalino, o que propicia a oxidação do manganês e, segundo Silva e Almeida (1979), a proliferação de bactérias ferruginosas. A lixiviação dos constituintes químicos das rochas ou solo conforme a variação dos índices pluviométricos também interfere diretamente na disponibilidade do manganês na água.

### ***Coliformes totais e Escherichia coli***

O Quadro 1 mostra a presença ou não de coliformes totais e *Escherichia coli*, analisados na água bruta e na água tratada, junto ao VMP pela Portaria 2914 e a eficiência do sistema de tratamento.

Os resultados obtidos nas análises demonstraram que a água bruta estava fora dos padrões de potabilidade definidos pela Portaria 2914 (BRASIL, 2011) para águas destinadas ao consumo, para o parâmetro coliformes totais, sendo necessário realizar sua correção por meio da ETA estudada. Já o parâmetro *Escherichia coli* estava dentro dos padrões de potabilidade, não sendo necessário realizar qualquer tipo de correção. Após o tratamento da água, as análises demonstraram que o parâmetro coliformes totais atingiu níveis satisfatórios a partir do mês de março.

De semelhante modo ao ferro total e o manganês, o valor encontrado no mês de fevereiro é justificado pelo período de adaptação da ETA, provavelmente estando também relacionado ao hipoclorito de sódio (NaClO), responsável não só pela oxidação e coagulação, como também pela desinfecção. Como já previsto, o parâmetro *Escherichia coli* permaneceu ausente em todas as análises realizadas.

### ***Potencial hidrogeniônico***

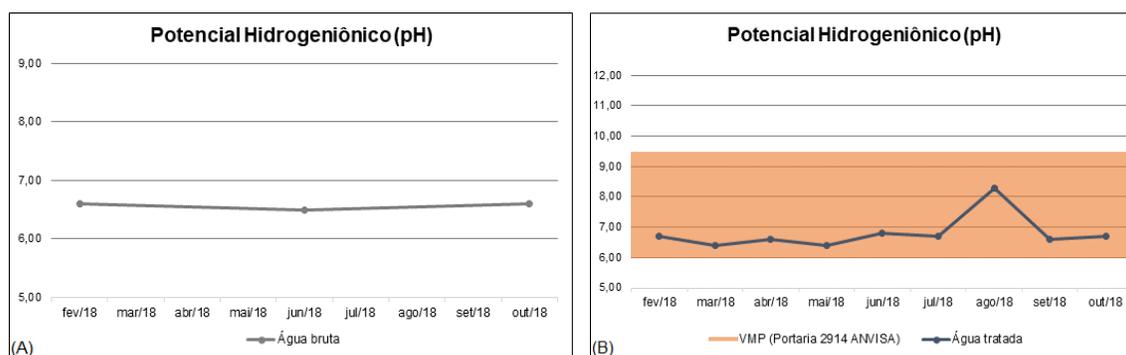
Os gráficos da Figura 5 mostram os valores do potencial hidrogeniônico medidos na água bruta e na água tratada, junto ao VMP pela Portaria 2914 (BRASIL, 2011).

**Quadro 1.** Coliformes totais e *Escherichia coli* na água bruta e água tratada, coletas realizadas entre os meses de fevereiro e outubro de 2018, em comparação ao Valor Máximo Permitido (VMP) pela Portaria 2914 (BRASIL, 2011) e a eficiência do tratamento.

Coliformes totais e <i>Escherichia coli</i>						
Mês	Coliformes totais		<i>Escherichia coli</i>		VMP <sup>1</sup>	Eficiência <sup>2</sup> (%)
	Água bruta	Água tratada	Água bruta	Água tratada		
Fevereiro/2018	PRES.	PRES.	AUS.	AUS.	Ausência em 100 mL	0%
Março/2018	---	AUS.	---	AUS.	Ausência em 100 mL	---
Abril/2018	---	AUS.	---	AUS.	Ausência em 100 mL	---
Mai/2018	---	AUS.	---	AUS.	Ausência em 100 mL	---
Junho/2018	PRES.	AUS.	AUS.	AUS.	Ausência em 100 mL	100%
Julho/2018	---	AUS.	---	AUS.	Ausência em 100 mL	---
Agosto/2018	---	AUS.	---	AUS.	Ausência em 100 mL	---
Setembro/2018	---	AUS.	---	AUS.	Ausência em 100 mL	---
Outubro/2018	PRES.	AUS.	AUS.	AUS.	Ausência em 100 mL	100%

1 Valor Máximo Permitido;

2 Eficiência calculada apenas para o parâmetro coliformes totais, visto que foi o único presente nas análises da água bruta.



**Figura 5.** (A) Valores do pH na água bruta extraída do poço tubular profundo nos meses de fevereiro, junho e outubro de 2018 e (B) valores de pH na água tratada junto ao Valor Máximo Permitido (VMP) pela Portaria 2914 (BRASIL, 2011).

Os resultados obtidos nas análises demonstraram que a água bruta estava dentro dos padrões de potabilidade definidos pela Portaria 2914 (BRASIL, 2011) para águas destinadas ao consumo, não sendo necessário realizar qualquer tipo de correção.

Devido aos produtos químicos adicionados na água que podem torna-la muito ácida, como o sulfato de alumínio ( $Al_2[SO_4]_3$ ), ou muito alcalina, como o óxido de cálcio (CaO), é necessário que se atente a esse parâmetro na água após o tratamento, evitando que seja disponibilizada fora dos padrões permissíveis para os usuários.

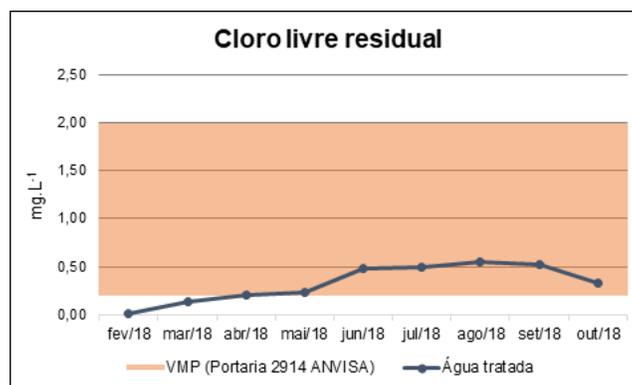
Após o tratamento da água, as análises demonstraram que os valores do potencial hidrogeniônico se mantiveram em níveis satisfatórios em todos os meses analisados, apresentando pequenas oscilações entre 6,4 e 6,8, com exceção do mês de agosto, quando a água apresentou-se alcalina com valor de 8,3, porém ainda dentro dos padrões de potabilidade da Portaria 2914 (BRASIL, 2011).

## Estação de Tratamento de Água (ETA) e a atenuação dos teores de Ferro, Manganês e Matéria Orgânica na água subterrânea de um aquífero fraturado em Itaperuna (RJ)

Essa variação positiva registrada no mês de agosto pode ser explicada devido a uma adição manual de óxido de cálcio (CaO), como exemplificado no item 4.1.2, em volume maior que o habitual, o que tem como consequência o aumento do potencial hidrogeniônico da água tratada.

### *Cloro residual livre*

O gráfico da Figura 6 mostra as concentrações de cloro residual livre medidas na água tratada, junto ao VMP da Portaria 2914 (BRASIL, 2011). As análises da água bruta foram realizadas, porém de forma desnecessária, visto que os valores encontrados de cloro livre nas águas subterrâneas são frequentemente 0,00 mg.L<sup>-1</sup>, por esse motivo as análises foram descartadas.



**Figura 6.** Concentração de cloro livre residual na água tratada junto ao Valor Máximo Permitido (VMP) pela Portaria 2914 (BRASIL, 2011).

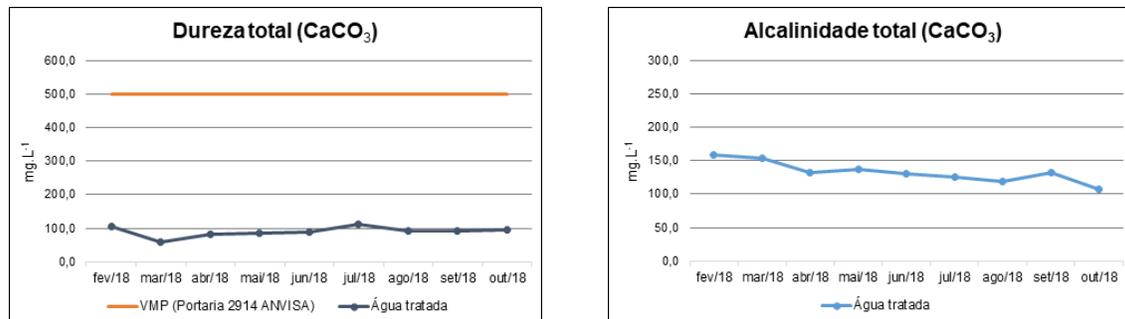
Após o tratamento da água, as análises demonstraram que as concentrações de cloro residual livre atingiram níveis satisfatórios a partir do mês de abril. É interessante observar que essa concentração de cloro residual livre em valores muito baixos se relaciona de forma inversamente proporcional às concentrações acima dos VMP's nos parâmetros ferro total, manganês e coliformes totais. Tal fato é completamente compreensível, visto que o hipoclorito de sódio (NaClO) é o responsável pela oxidação do ferro, do manganês e pela desinfecção de patógenos como os coliformes totais, se ele se encontra em concentrações muito pequenas, a eficiência do tratamento para atenuação dos outros parâmetros não será suficiente para enquadrá-los nos valores permissíveis.

No mês de março foi registrada uma concentração ainda abaixo do VMP, porém já 14 vezes superior ao observado no mês anterior. Nota-se então que foi necessária uma nova correção no volume de hipoclorito de sódio (NaClO), o que foi constatada nas análises dos meses posteriores, onde o parâmetro se adequou aos definidos pela Portaria 2914 (BRASIL, 2011).

### *Dureza total e alcalinidade total*

O gráfico da Figura 7 mostra as concentrações de dureza total medidas na água tratada, junto ao VMP pela Portaria 2914 (BRASIL, 2011). As análises da água bruta não foram realizadas devido às concentrações dos íons cálcio (Ca<sup>2+</sup>) e magnésio (Mg<sup>2+</sup>) encontrados na região, onde por meio de análises já realizadas em outros poços tubulares profundos é observado sempre em concentrações baixas, assumindo-se assim que essa também seria a realidade encontrada no poço do local de estudo.

Após o tratamento da água, as análises demonstraram que os valores de dureza total apresentaram níveis satisfatórios e, já esperados, em todos os meses analisados, variando entre 59 a 111 mg.L<sup>-1</sup>. Como dito anteriormente, a região comumente apresenta baixos valores de dureza total, com isso, o parâmetro não foi contemplado para que fosse tratado pela ETA estudada.



**Figura 7.** Valores de dureza total na água tratada junto ao Valor Máximo Permitido (VMP) pela Portaria 2914 (BRASIL, 2011) e alcalinidade total na água tratada.

Com relação à alcalinidade total (Figura 7), não há VMP na Portaria 2914 (BRASIL, 2011), porém os responsáveis técnicos pela operação de sistemas de tratamento recomendam valores entre 120 a 150 mg.L<sup>-1</sup>. A água após o tratamento apresentou variações entre 107 e 150 mg.L<sup>-1</sup>, estando inserida ou muito próxima dos valores recomendados, sendo assim o parâmetro se mostrou satisfatório nos meses observados.

## DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

A partir das análises físico-químicas e biológicas nos meses estudados, constatou-se que todos os parâmetros atingiram níveis satisfatórios de acordo com a legislação vigente brasileira, exceto no primeiro mês, quando o ferro total (Fe), o manganês (Mn), coliformes totais e cloro residual livre ficaram acima do VMP. O valor encontrado no mês de fevereiro é justificado pelo período de adaptação da ETA, onde as proporções dos concentrados químicos estavam sendo testadas, buscando verificar sua eficiência para a água a ser tratada, sendo assim, a água não estava sendo disponibilizada para os moradores.

A ETA como um todo se mostrou eficiente para o que ela foi construída, atendendo aos moradores de maneira adequada, segundo os parâmetros observados nas análises, porém ainda não opera em condições ótimas. Por meio de algumas alterações é possível que a ETA atinja níveis melhores na produção de água tratada e no consumo dos concentrados químicos. Verificou-se que outros parâmetros devem ser observados, não só para confirmar que a água distribuída possui qualidade aceitável para o consumo, mas também para auxiliar as etapas de tratamento.

É importante que as novas análises físico-químicas contemplem os parâmetros turbidez, cor e temperatura na água bruta e na água tratada. Os parâmetros alcalinidade total e cloretos devem ser observados na água bruta. A turbidez deve ser analisada pois os microrganismos podem utilizar partículas suspensas como escudo contra os agentes desinfetantes (BERNARDO e PAZ, 2010; LIBÂNIO, 2010; PÁDUA e FERREIRA, 2006). A cor pode estar relacionada com a matéria orgânica dissolvida na água, além da presença de ferro e manganês (BEZERRA, 2015; LIBÂNIO, 2010). A temperatura pode ocasionar alterações no potencial hidrogeniônico da água e na taxa de precipitação (BERNARDO e PAZ, 2010; BRAGA, 2014; LIBÂNIO, 2010). A alcalinidade deve ser observada buscando maior precisão nas dosagens dos agentes

## **Estação de Tratamento de Água (ETA) e a atenuação dos teores de Ferro, Manganês e Matéria Orgânica na água subterrânea de um aquífero fraturado em Itaperuna (RJ)**

coagulantes, pois refere-se à capacidade tampão da água resistir às mudanças de pH, além de oferecer características corrosivas ou incrustantes à água (LIBÂNIO, 2010).

Com relação ao início do processo de produção, na etapa de mistura dos concentrados químicos nos tanques de 240 litros, é recomendado que a mistura entre o hidróxido de alumínio ( $\text{Al}[\text{OH}]_3$ ), óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) e água não ocorra no mesmo tanque. Esse processo acarretaria a instalação de mais um tanque de mistura com agitador por hélice e uma nova bomba dosadora. Essa alteração permitiria que a diluição entre hidróxido de alumínio ( $\text{Al}[\text{OH}]_3$ ) e água e óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) e água ocorresse de modo mais eficiente.

Quanto às etapas de floculação e sedimentação, o fundo dos tanques de decantação deveria ser construído em “V” e com inclinação em  $45^\circ$  para uma abertura em sua porção inferior, ela seria responsável pela expulsão do lodo de fundo produzido, quando necessário. Também é recomendado que se aumente o número de tanques de decantação, isso permitiria o aumento no volume de água suportada por essa etapa e, conseqüentemente, um aumento no tempo de contato entre água e coagulante, possibilitando a formação de mais flóculos e promovendo assim uma água em melhores condições na saída desse processo.

Além disso, a nova bomba dosadora de óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) poderia ter duas ligações, uma ao turbilhonador e outra ao primeiro tanque de decantação, isso permitiria o aumento do pH quando necessário, auxiliando na não formação de nata com manganês (Mn). Sobre os tanques de filtração, recomenda-se a padronização no uso de cabeçotes eletrônicos para os modelos com fluxostato, permitindo o monitoramento do volume. Essa simples substituição teria como consequência a economia de milhares de litros de água tratada que são desperdiçados nos processos de recuperação das mídias filtrantes, devido aos cabeçotes eletrônicos de tempo. O descarte do resíduo oriundo da retrolavagem deve ser alterado, buscando menor dano ao meio ambiente, visto que tem sido destinado ao rio Muriaé sem nenhum tipo de tratamento, o que ocasiona riscos à saúde e à vida aquática.

Recomenda-se que a ETA funcione de maneira mais automatizada, o que seria possível por meio do controle por uma IHM (interface homem-máquina) com CLP (controlador lógico programável). Através dessa automação, inúmeros problemas que surgem hoje desapareceriam. Hoje os tanques são monitorados a cada 3 dias pelos responsáveis técnicos, porém conforme o volume de água produzido pela ETA, os concentrados químicos podem ser consumidos antes desse tempo. Devido a isso, é ideal que sejam instaladas boias elétricas de nível mínimo nos tanques de concentrados químicos, que ao atingir o nível definido, a ETA suspenderia o seu funcionamento até que os tanques sejam preenchidos novamente. É ainda possível programar a CLP para o envio de SMS para os responsáveis técnicos da empresa alertando que os níveis estão baixos e que os tanques devem ser preenchidos novamente. Isso dificultaria a produção de água fora dos padrões permissíveis, fato que hoje pode ocorrer na ETA caso os concentrados químicos acabem e não sejam repostos. Por meio de um medidor de pH eletrônico instalado no primeiro tanque de decantação, a bomba dosadora do óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) poderia dispersar esse concentrado químico na água por meio da programação do CLP, evitando que o pH se distanciasse do ideal de 8,5 tornando o tratamento mais eficiente para remoção do manganês.

## **REFERÊNCIAS**

- ANDREOLI, F. C.; BONI, D. M.; SOBOGAL-PAZ, L. P. **Remoção de cor e turbidez utilizando ciclo completo com flotação: estudo em escala de bancada**. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2018/01/I-027.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público*. Rio de Janeiro, 1992. 18 p.

BAIRD, R. B.; EATON, A. D.; RICE, E. W. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington, DC: Pharmabooks, 2012. 1504 p.

BERNARDO, L. DI; PAZ, L. P. S. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. São Carlos: LDiBe, 2010. 868 p.

BRAGA, F. P. **Avaliação de Desempenho de uma Estação de Tratamento de Água do Município de Juiz de fora – MG**. 2014. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011**. Disponível em [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html). Acesso em 17 jul 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 5 de 28 de setembro de 2017**. Disponível em [http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005\\_03\\_10\\_2017.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html). Acesso em 17 jul 2020.

CARVALHO, M. J. H. **Uso de Coagulantes Naturais no Processo de Obtenção de Água Potável**. 2008. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. Campinas: Átomo, 2010. 489 p.

PÁDUA, V. L. DE; FERREIRA, A. C. S. **Qualidade da água para consumo humano**. In: PÁDUA, V. L.; HELLER, L. (eds.) **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: UFMG, 2006. 153-221 p.

SANTOS, R. C. O.; FILHO, O. B.; GIORDANO, G. **Proposta de um Método de Cálculo do Tempo de Sedimentação no Tratamento de Esgoto por Lodos Ativado em Bateladas**. Engenharia Sanitária Ambiental, vol. 10, n 3, 2005. 185-193 p.

SECLKER, S. F. F. **Tratamento de água: concepção, projeto e operação de estações de tratamento**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. 463 p.

SILVA, M. O.; ALMEIDA, C. **Incrustações ferruginosas em captações. Um caso de recuperação espetacular**. Bol. do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Fac. de Ciências de Lisboa, vol. 16(1), p. 219-227. 1979.



## Capítulo 3

**Carta de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio - MG  
utilizando lógica *fuzzy***

*Álvaro Costa Figueiredo<sup>1</sup>; Eduardo Baudson Duarte<sup>2</sup>; José Luiz de Souza Louzada<sup>3</sup>;  
Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira<sup>4</sup>; Fabricia Benda de Oliveira<sup>5</sup>*

**RESUMO.** Estudos relacionados à fragilidade ambiental são de extrema importância devido a possibilidade da identificação de áreas naturalmente fragilizadas e modificadas pelas atividades antrópicas. O atual sistema econômico de produção, distribuição e consumo de bens e serviços, faz com que seja necessário a ocupação de grandes áreas, o que geralmente acontece de forma irregular. Este fato por sua vez pode potencializar agentes degradantes, como erosão e desertificação, causando grandes prejuízos ao meio ambiente e conseqüentemente, à sociedade. A utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG) aliada à lógica *fuzzy*, métodos de análise multicritério de processo analítico hierárquico (AHP) e combinação linear ponderada, é capaz de produzir um recurso eficaz e de baixo custo para identificação de áreas susceptíveis a erosão do solo e degradação dos recursos hídricos em bacias hidrográficas. Este trabalho tem como objetivo principal elaborar um mapa de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio, para a delimitação dos diferentes graus de fragilidade associados a esta. Para geração deste produto cartográfico, foi necessário a utilização de dados pedológicos, de declividade, uso e ocupação do solo e Erosividade, sendo realizada uma padronização de dados em critérios utilizados na lógica *fuzzy* e método AHP. As áreas de maior grau de fragilidade encontram-se na porção leste da bacia devido a ocorrência frequente de cambissolos associados à cobertura de pastagens. Nas localidades em que ocorrem neossolos em vertentes com inclinação maior que 45° o grau de fragilidade também é alto. Por fim, nas áreas de latossolos e declividade menor que 45° a fragilidade foi classificada como baixa. Dessa forma, pode-se considerar que o SIG, juntamente com o método de análise multicritério, são ferramentas essenciais para trabalhos de planejamento e identificação de áreas potencialmente fragilizadas.

**PALAVRAS-CHAVE.** SIG; Análise Multicritério; Análise Ambiental; Planejamento Urbano.

## INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas têm causado inúmeras alterações na dinâmica do nosso planeta. O atual sistema econômico de produção, distribuição e consumo de bens e serviços, faz com que seja necessário a ocupação de grandes áreas, que muitas das vezes ocorrem de forma

<sup>1</sup>Geólogo na empresa MDGEO Hidrogeologia e Meio Ambiente - [alvaro.costaf@gmail.com](mailto:alvaro.costaf@gmail.com);

<sup>2</sup>Mestre em Agroquímica, Universidade Federal do Espírito Santo - [eduardo\\_duarte\\_12@hotmail.com](mailto:eduardo_duarte_12@hotmail.com);

<sup>3</sup>Graduando em Geologia, Universidade Federal do Espírito Santo - [jlslouzada@gmail.com](mailto:jlslouzada@gmail.com);

<sup>4</sup>Professor no Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Alegre - [carlos.oliveira@ifes.edu.br](mailto:carlos.oliveira@ifes.edu.br);

<sup>5</sup>Professora no Departamento de Geologia, Universidade Federal do Espírito Santo - [fabriabenda@gmail.com](mailto:fabriabenda@gmail.com)

## **Carta de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio - MG utilizando lógica *fuzzy***

irregular, para suprir a demanda da população, fazendo com que cada vez mais áreas sejam desmatadas e modificadas para darem lugar às indústrias, zonas de cultivo e a pecuária. A ocupação destas áreas sem um estudo prévio propicia o aumento da fragilidade ambiental, podendo gerar grandes desastres ambientais. Os recursos hídricos geralmente são os mais afetados por esses desastres ambientais. Por isso, é de extrema importância o estudo ambiental das bacias hidrográficas para tentar mitigar os impactos causados pelas atividades antrópicas (ROSS, 1994; SILVA et al., 2016).

Identificar áreas de maior fragilidade ambiental e de ocupação irregular é de suma importância para a gestão territorial, podendo utilizar estes resultados como subsídio para o planejamento e adequação do uso da terra.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) tem se tornado indispensável para planejamento e zoneamento ambiental, principalmente quando relacionados às bacias hidrográficas. De maneira geral, o SIG oferece várias ferramentas para análise e processamento dos dados, possibilitando a integração de todos os componentes físicos do meio ambiente.

Associado a isto, a técnica de inferência *fuzzy* tem sido utilizada em inúmeros trabalhos, principalmente onde é preciso definir classes que por várias razões não podem ou não apresentam limites rígidos de contato entre elas. Tem grande importância pois gradua uma escala de 256 valores, que variam de “0” a “1”, onde o valor “0” representa a classe que não pertence ao conjunto e “1” a classe que pertence totalmente ao conjunto, sendo que os valores entre “0” e “1” apresentam as classes intermediárias (MOREIRA et al., 2001).

A análise multicritério, por sua vez, tem se tornado essencial como ferramenta para o suporte a decisão, tornando-se instrumento na organização e estabelecimento de modelos racionais de combinação de dados. A técnica de utilização da análise multicritério mais difundida e usual é o processo analítico hierárquico (AHP) desenvolvido por Saaty (1977), em conjunto com a combinação linear pareada. Essa técnica é baseada em um modelo matemático que permite a organização e avaliação da importância relativa entre critérios, sendo estes comparados de forma pareada dentro de uma matriz. Para cada par é avaliado seu grau de importância, conforme a escala definida pelo autor supracitado.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo a criação de uma carta de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio, localizada em Minas Gerais.

### **LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO**

A bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio está localizada na região centro-leste de Minas Gerais, inserida na mesorregião do Vale do Rio Doce e na microrregião de Itabira (IBGE, 1990) (Figura 1). As principais vias de acesso da área são a BR-381, BR-120, BR-259, MG-232, MG-10, MG-120 e MG-129.

O rio Santo Antônio nasce na Serra do Espinhaço, no município de Congonhas do Norte-MG, e percorre cerca de 280 km até chegar ao rio Doce, no município do Naque - MG. Os principais cursos d'água da bacia, além do rio Santo Antônio, são: os rios Ganhães e do Peixe, localizados na margem esquerda; e os rios Tanque e Preto do Itambé localizados na margem direita (Figura 2). A utilização dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Santo Antônio consiste atualmente no abastecimento residencial, agricultura e pecuária, e na utilização da água para abastecimento e operação das atividades minerárias e industriais de menor expressão (PARH, 2010).

Os maiores problemas recorrentes na bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, de acordo com o PIRH (2010), estão relacionados com a grande susceptibilidade à erosão da bacia, sendo que 56% da sua área está inserida na zona de forte susceptibilidade. Isso acontece devido as condições naturais da bacia como fortes chuvas e solos sensíveis a erosão, que associados com o desmatamento e mau uso dos solos, principalmente agricultura, monocultura de eucalipto e

pastagem, fazem com que haja um aumento significativo dos processos erosivos que desencadeiam o assoreamento dos cursos d'água.



Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

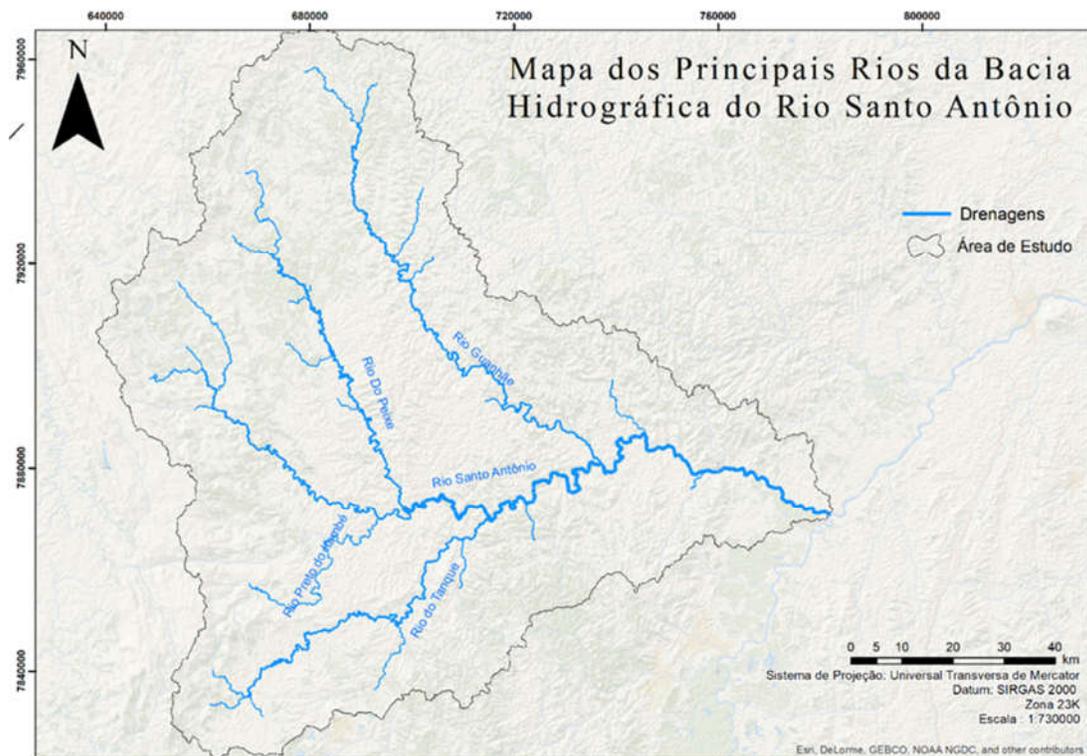


Figura 2. Localização dos principais cursos d'água da bacia do Rio Santo Antônio.

# Carta de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio - MG utilizando lógica *fuzzy*

## METODOLOGIA

Os materiais utilizados para a realização deste trabalho foram os softwares ArcGIS (ESRI, 2014), NetErosividade (MOREIRA et al., 2008), Priest (SIRAJ et al., 2013), Google Earth Pro e os dados cartográficos apresentados a seguir:

- Mapa Pedológico do estado de Minas Gerais com escala 1:650.000 (FEAM, 2010);
- Modelo Digital de Elevação com resolução de 30 metros (TOPODATA, 2011);
- Mapa de Uso do Solo com escala de 1:10000 (ANA, 2016);
- Dados pontuais de erosividade do Estado de Minas Gerais (MOREIRA et al., 2008).

A metodologia adotada neste trabalho foi dividida em 2 etapas: a primeira se baseou na pesquisa bibliográfica e na aquisição e tratamento dos dados cartográficos; e a segunda consistiu na elaboração do mapa de fragilidade ambiental.

A carta de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio teve, como principal objetivo, a avaliação de forma integrada das áreas com maior potencial a riscos de erosão e comprometimento da qualidade e quantidade dos recursos hídricos da bacia.

Primeiramente, foi realizada a atribuição de valores para cada atributo dentro das condicionantes de uso do solo, erosividade, pedologia e declividade. Os valores foram definidos de acordo com o grau de fragilidade que cada atributo representa para o risco a erosão. Após a atribuição desses valores, foi necessário padronizar os dados utilizando a lógica *fuzzy*, de modo a transformar cada mapa em fatores, onde estes fatores apresentam uma escala de variação onde o valor de cada pixel pode variar entre 0 a 1, sendo que o valor 1 representa o maior grau de fragilidade ambiental que decresce até 0, que representa o menor grau de fragilidade.

Abaixo será descrito como foi realizada a padronização dos seguintes produtos cartográficos: mapas pedológico, de uso e ocupação do solo, declividade e Erosividade.

- Mapa Pedológico

Os valores dos atributos referentes a cada tipo de solo dentro do mapa pedológico foram definidos através de informações sobre a fragilidade e a susceptibilidade erosiva de cada solo, disponibilizados nos estudos de Ruhoff et al. (2005), Loures (2008), Santos et al. (2015) e Rezende et al. (2017). Estas informações passaram por uma avaliação criteriosa, sendo comparadas com os tipos de solo presentes na bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio. Através dessa avaliação, foi elaborada a classificação de cada tipo de solo segundo seu grau de fragilidade.

Como o mapa pedológico é composto por classes, não foi possível realizar a aplicação direta da função de pertinência *fuzzy*. Para a padronização deste, foi necessária a reclassificação de cada tipo de solo dentro da escala de 0 a 1. Os valores de cada classe foram determinados, considerando que os Neossolos Litólicos apresentam fragilidade muito alta e, devido sua baixa profundidade, estarem associados a relevos mais declivosos. Os Cambissolos foram classificados como de alta fragilidade, visto que são pouco desenvolvidos, pouco mais que os Neossolos, e também por se encontrarem em áreas declivosas. Os Argissolos foram classificados como de média fragilidade por conta da sua menor susceptibilidade erosiva em comparação com os Cambissolos. Os Latossolos foram divididos entre as classes de baixa fragilidade e muito baixa fragilidade, a depender de sua composição e textura que aumentam ou diminuem a sua susceptibilidade a erosão. O Quadro 1 apresenta as classes de padronização dos valores de fragilidade utilizados.

- Mapa de Declividade

Para o mapa de declividade, foi utilizada a metodologia proposta por Loures (2008), onde valores acima de 45° representam alto grau de fragilidade e, para valores menores de 45°, o grau de fragilidade decresce gradualmente, de acordo com os valores de declividade.

**Quadro 1.** Classes de padronização dos valores de fragilidade para o mapa pedológico.

<b>Classes de Solos</b>	<b>Padronização</b>
Afloramento de Rocha	0
Argissolo Vermelho-Amarelo - Distrófico típico, A moderado, textura argilosa / Distrófico típico, A moderado, profundo, textura argilosa/muito/ Eutrófico típico, A moderado, textura argilosa/muito argilosa	0,5
Cambissolo Háplico - Tb Eutrófico típico, A moderado, textura muito argilosa	0,7
Latossolo Vermelho-Amarelo - Distrófico típico, A moderado, textura argilosa/ Distrófico típico, A proeminente, textura argilosa	0,1
Latossolo Vermelho - Distroférico típico, A moderado, textura argilosa./ Distrófico típico, A moderado, textura média./ Distrófico típico, A moderado, textura muito argilosa	0,3
Neossolo Litólico - Distrófico Típico, textura arenosa	1

Fonte: Ruhoff et al. (2005), Loures (2008), Santos et al. (2015) e Rezende et al. (2017).

Da mesma forma que o mapa pedológico, o mapa de uso do solo está representado por classes e por isso não foi possível aplicar diretamente a função de pertinência *fuzzy*. Por isso, para a padronização, cada classe foi reclassificada de acordo com o grau de proteção que cada uma oferece ao solo, sendo que quanto maior o grau de proteção, consequentemente menor será o grau de fragilidade de cada uma.

As áreas de vegetação nativa e de afloramento rochoso foram classificadas como de alta proteção, visto que estas áreas apresentam baixa susceptibilidade a erosão devido a cobertura vegetal e ausência de solos não propiciar a ocorrência de processos erosivos. As áreas de reflorestamento foram classificadas como média proteção, já que apresenta uma susceptibilidade de manejo inadequado do solo, como observado por Loures (2008). Já as áreas urbanas foram classificadas como áreas de baixa proteção, devido a retirada total ou parcial da vegetação, além das alterações topográficas e de escoamento das águas que aumentam a possibilidade de ocorrência de processos erosivos. Por fim, as áreas de pastagem e áreas sem cobertura vegetal foram definidas como de muito baixa proteção, devido ao manejo inadequado do solo, retirada total ou parcial da vegetação nativa e pisoteio de animais pela atividade pecuária. No Quadro 2 é possível observar como se deu a padronização dos valores de fragilidade para o mapa de uso e ocupação do solo.

**Quadro 2.** Classes de padronização dos valores de fragilidade para o mapa de uso do solo.

<b>Classes de Uso e Ocupação</b>	<b>Padronização</b>
Vegetação Nativa	0,1
Afloramento Rochoso	0,1
Áreas de Reflorestamento	0,5
Áreas Urbanas	0,7
Pastagem	1
Áreas sem cobertura vegetal	1

Fonte: Loures (2008).

## Carta de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio - MG utilizando lógica *fuzzy*

### •Mapa de Erosividade

Primeiramente, para a aquisição dos dados de erosividade, foi necessário distribuir uma malha de pontos que abrangesse toda a área de estudo. Após a confecção desta malha, inseriu-se a coordenada de cada ponto no software NetErosividade (2008), que forneceu os dados de erosividade para cada ponto. A interpolação destes dados pontuais se deu por meio do interpolador IDW, a partir dos dados de erosividade apresentados no Quadro 3. O resultado da interpolação foi um mapa com cinco classes que foram padronizadas seguindo a escala de 0 a 1. Os valores de cada classe foram definidos de acordo com o Quadro 4, sendo que quanto maior o valor de Erosividade, maior o grau de fragilidade definido.

**Quadro 3.** Valores de erosividade referentes a alguns municípios da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio.

Município	Valor de Erosividade (EI <sub>30</sub> )	Município	Valor de Erosividade (EI <sub>30</sub> )
Serro	5482	Mesquita	5629
Santana do Riacho	6694	S. do Paraíso	6097
Congonhas do Norte	6566	Belo Oriente	5570
Morro Pilar	6200	Naque (1)	4523
Jaboticatubas	7027	Naque (2)	4851
Conceição do Mato Dentro	6356	Açucena	5057
Itambé do Mato Dentro	6623	Braúnas	5228
Taquaraçu	7135	Virginópolis	4792
Nova União	7136	Guanhães	5223
B. J. Amparo	7162	Sabinópolis	5204
Itabira	6984	Matelândia	4977
Sta. Maria de Itabira	6195	Serra Azul	4787
Passabem	6173	S. Antônio Itambé	5108
S. S. do Rio Preto	6079	P. Kubitschek	6096
Ferros	6096	Senhora do porto	5566
Carmésia	6109	Dom Joaquim	5860
Dores de Guanhães	5825	Joanésia	5530

Fonte: Programa NetErosividade (MOREIRA et al., 2008).

**Quadro 4.** Classes de padronização dos valores de fragilidade para o fator Erosividade.

Classe de Fragilidade	Erosividade (EI <sub>30</sub> )
Muito Baixa (0,1)	4523 – 5407
Baixa (0,3)	5407 – 5746
Média (0,5)	5746 – 6075
Alta (0,7)	6075 – 6456
Muito Alta (1)	6456 – 7145

A aplicação do método AHP consistiu na construção de uma matriz de comparação pareada, onde para cada fator foi atribuído um valor de comparação relativo. Os valores de comparação foram definidos de acordo com a escala de Saaty (1977), adaptada por Rezende et al. (2017).

O fator uso e ocupação do solo foi definido como um dos fatores mais importantes, juntamente com o fator declividade, que apresentou o mesmo grau de importância que o primeiro, já que o uso e ocupação tem resposta direta sobre o escoamento superficial e a infiltração da água no solo, principalmente em locais onde a declividade do terreno é maior (SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002; TUCCI, 2006).

O fator pedologia foi classificado como menos importante quando comparado ao fator uso do solo e ocupação.

O fator Erosividade, por sua vez, foi definido como o de menor importância sobre os outros fatores. Loures (2008) não utilizou o fator erosividade em seus estudos, porém utilizou dados de precipitação, que tem relação direta com a erosividade de uma área. Em seu trabalho, os dados de precipitação também foram classificados como de menor importância em relação aos outros fatores. A menor importância desse fator se dá, pois o potencial de erosão da chuva só será efetivo se a área for declivosa, estiver sem cobertura vegetal apropriada e apresentar solos propensos a erosão.

A partir da definição dos valores de comparação (Quadro 5), utilizou-se o software Priest (2013) para cálculo e obtenção dos pesos da matriz de comparação. Ao final do cálculo, Saaty (1977) recomenda a verificação da razão de consistência (RC) que deve ser inferior a 0,10 para que os resultados apresentem um nível aceitável de confiabilidade.

**Quadro 5.** Matriz de Comparação Pareada obtida.

	Uso do Solo	Declividade	Pedologia	Erosividade
Uso do Solo	1			
Declividade	1	1		
Pedologia	1/2	1/2	1	
Erosividade	1/3	1/3	1/3	1

Utilizando os pesos calculados a partir da matriz de comparação pareada, é possível então, realizar o cálculo do mapa final de fragilidade ambiental, a partir da combinação linear ponderada que consiste na soma de cada fator multiplicado por seu respectivo peso. A equação a seguir mostra como foi calculado o mapa de fragilidade, onde as incógnitas “X”, “Y”, “Z” e “W” representam o peso que deverá ser adicionado à equação para cada fator:

[(Fator uso do solo \* X) + (Fator Declividade \* Y) + (Fator Pedologia \* Z) + (Fator Erosividade \* W)].

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os mapas de fatores (Figura 3) apresentam uma prévia de como será o mapa final, visto que, a partir da combinação destes, foi gerado o mapa de fragilidade ambiental.

O fator uso do solo (C1) mostra que as áreas de maior susceptibilidade a fragilidade ambiental, apesar de ocorrerem de forma difusa por todo o mapa, se concentram mais nas porções leste e sudoeste da área de estudo. Isso se deve por conta de uma maior ocupação do solo nestas regiões, principalmente associadas com o uso indevido do solo.

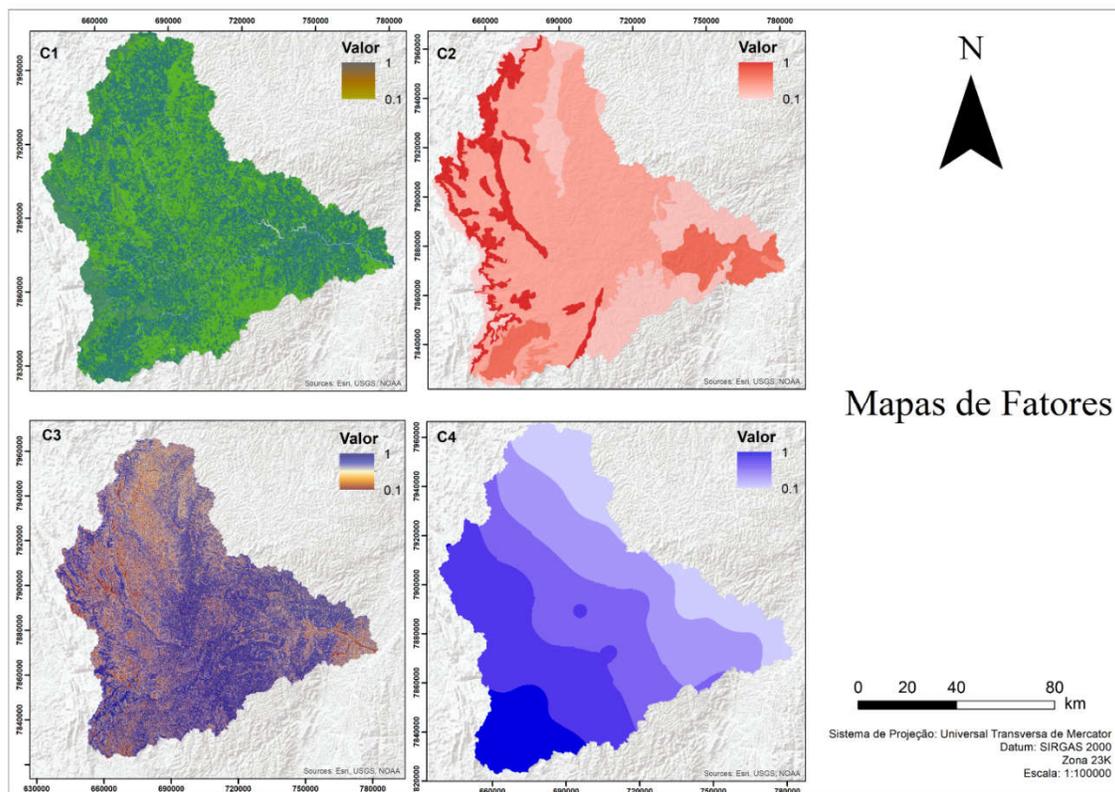
O fator pedologia (C2) mostra que os solos de maior susceptibilidade a fragilidade ambiental estão correlacionados em sua maioria com a Serra do Espinhaço, a oeste da área de estudo. As áreas de baixa a média susceptibilidade a fragilidade ambiental são dominantes, ocupando boa parte da área de estudo.

O fator declividade (C3) mostra que, do setor centro-leste a leste da bacia, concentraram-se as áreas com maior susceptibilidade a fragilidade ambiental, ou seja, áreas de maior declividade. O extremo leste da bacia, próximo ao encontro do rio Santo Antônio com o

## Carta de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio - MG utilizando lógica *fuzzy*

rio Doce, junto com algumas porções a noroeste, por sua vez, apresentam as áreas de menor declividade.

O fator erosividade (Apêndice C4) mostra que a susceptibilidade a fragilidade ambiental associada a erosividade cresce gradativamente em direção sudoeste da bacia, onde apresenta os maiores valores. Estes valores mais altos possivelmente ocorrem pelas características pluviométricas dessa região (precipitações mensais maiores).



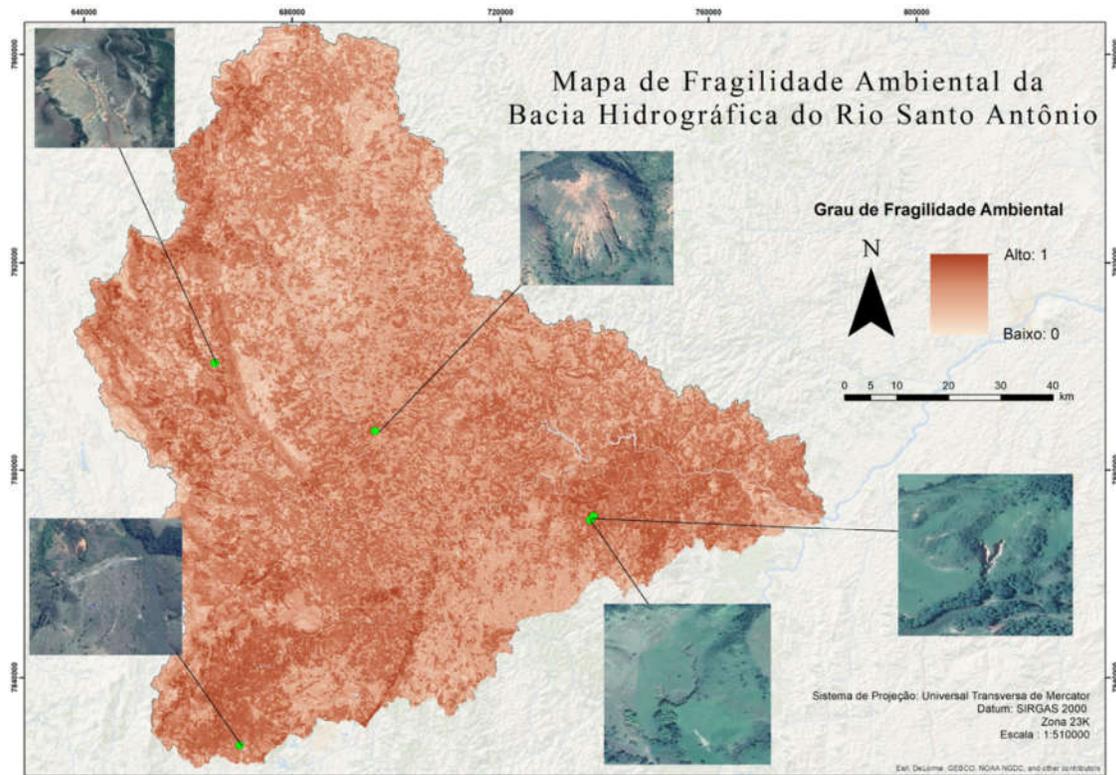
**Figura 3.** Mapas de Fatores: C1 – Fator Uso e Ocupação do Solo; C2 – Fator Pedologia, C3 – Fator Declividade, C4 – Fator Erosividade.

Após a aplicação do método AHP, foi possível a obtenção dos pesos para cada fator. Os valores para os fatores uso e ocupação do solo, declividade, pedologia e erosividade foram respectivamente: 0,348, 0,348, 0,207 e 0,097. O valor de RC calculado foi de 0,022, estando dentro da faixa de erro aceitável. Após a aplicação da combinação linear ponderada, obtivemos o mapa de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio (Figura 4), com os valores dos pixels variando entre 0 e 1, onde os valores mais próximos a 1 representam áreas de maior fragilidade ambiental e mais próximos de 0 de menor fragilidade ambiental.

A partir do mapa de fragilidade ambiental foi possível analisar a área de estudo segundo o grau de fragilidade, onde observa-se que mais de um terço da área da bacia apresenta alto grau de fragilidade. A Figura 4 mostra alguns pontos amostrais obtidos a partir das imagens do Google Earth Pro que correspondem as áreas de maior fragilidade ambiental.

Como observado nos trabalhos de Loures (2008) e Ruhoff et. al (2005), as áreas de maior fragilidade ambiental corresponderam, em sua maioria, às áreas mais declivosas e as compreendidas dentro das classes pedológicas de maior fragilidade. No caso deste trabalho, estas foram as classes dos argissolos, cambissolos e neossolos. As áreas que apresentaram menor fragilidade, por sua vez, corresponderam em geral às áreas de menor declividade. O fator uso do solo teve também grande influência na determinação das áreas de maior ou menor

fragilidade, sendo que em locais onde houve a presença de pastagem ou a ausência de cobertura vegetal, o grau de fragilidade foi muito maior, enquanto os locais que apresentaram presença de cobertura vegetal, principalmente relacionada às matas nativas, o grau de fragilidade foi minimizado.



**Figura 4.** Mapa de Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio com os pontos amostrados a partir do Google Earth.

Foi possível observar que o peso atribuído a cada fator foi determinante para o resultado final do mapa de fragilidade ambiental, onde o fator erosividade que teve o menor valor de ponderação, pouco influenciou nos resultados, sendo perceptível apenas na região sudoeste do mapa. O fator uso do solo apresentou grande influência, principalmente potencializando os valores de fragilidade nas áreas de maior declividade e em unidades pedológicas mais susceptíveis à erosão.

Os pontos amostrais da Figura 5 corroboram com o estudo proposto por Ross (1994), que caracterizou os ambientes fragilizados como áreas com alta susceptibilidade a processos erosivos. É possível observar que nessas áreas, quando não há cobertura vegetal nativa, a susceptibilidade a ocorrência de processos erosivos é muito maior, acarretando em ravinas, voçorocas e escorregamento de massas.

No trabalho de Loures (2008), as classes de fragilidade foram divididas em muito baixa (50), baixa (100) média (180), alta (230) e muito alta fragilidade (255), sendo considerado uma escala dos fatores variando de 0 a 255, no lugar de 0 a 1 utilizado aqui. Embora a classificação tenha sido realizada de modo diferente, os valores predominantes neste estudo, em sua maioria, apresentaram uma relação proporcional às classes propostas por este autor.

A análise multicritério foi utilizada por diversos autores para o zoneamento e planejamento ambiental, principalmente na identificação de zonas fragilizadas ou de risco alcançando resultados semelhantes a este trabalho, como por exemplo: Ruhoff et al. (2005), que

## **Carta de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio - MG utilizando lógica *fuzzy***

realizou um zoneamento na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande, identificando áreas de instabilidade natural; Rezende et al. (2017), que utilizaram o método AHP para o zoneamento de áreas com risco a inundação; e Ranieri et al. (1998), que avaliaram a adequabilidade da aplicação de índice comparativo para a avaliação do risco a degradação das terras, sendo possível comparar quantitativamente o risco a degradação para diferentes usos da terra.

### **CONCLUSÃO**

A criação do mapa de Fragilidade Ambiental da bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio atingiu os resultados esperados de acordo com os objetivos do trabalho, sendo possível a partir deste, quantificar as áreas segundo o grau de fragilidade, que mostrou que mais de um terço da bacia está em zonas de alta fragilidade.

Estes resultados nos permitem avaliar como as atividades antrópicas refletem sobre a fragilidade do meio ambiente, possibilitando utilizar este mapa como subsídio para o planejamento e adequação do uso do solo.

### **REFERÊNCIAS**

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Uso e Ocupação do Solo em moderada resolução espacial (10m) da Bacia do Rio Doce**. 2016. Disponível em: <<https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadatos.show?uuid=49a3aa22-fff4-4527-a17b-64b6ad31d8cb>>. Acesso em: 14 out. 2017.

ESRI. **ArcGIS**. Versão 10.3. Redlands: ESRI, 2014. 1 CD-ROM.

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte**. 2010. Disponível em: <<http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>>. Acesso em: 15 out. 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Divisão Regional do Brasil em Mesorregiões e Microrregiões Geográficas**. 1990. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=22269>>. Acesso em: 12 out. 2017.

LOURES, S. S. A. **Ambientes, Uso e Ocupação do Solo e Zoneamento Estratégico para as Sub-bacias dos Rios Jacupiranga e Pariquera - Açú, Vale do Ribeira, SP**. 2008. 199 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

MOREIRA, F. R.; ALMEIDA FILHO, R.; CÂMARA, G. **Técnicas de Suporte a Decisão para Modelagem Geográfica por Álgebra de Mapas**. Relatório Técnico - Programa de Ciência e Tecnologia para Gestão de Ecossistemas, Ação “Métodos, modelos e geoinformação para gestão ambiental”. INPE, 2001.

MOREIRA, C. M.; PRUSKI, F. F.; OLIVEIRA, T. E. C.; PINTO, F. A. C.; SILVA, D. D. **NetErosividade: Erosividade da Chuva em Minas Gerais**. 2008. Disponível em: <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>. Acesso em: 17 out. 2017.

PARH. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Santo Antônio**. 2010. Disponível em: <[http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PARH\\_Santo\\_Antonio.pdf](http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PARH_Santo_Antonio.pdf)>. Acesso em: 26 out. 2017.

PIRH. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce**. 2010. Disponível em: <<http://www.cbhdoce.org.br/pirh-parh-pap/pirh>>. Acesso em: 26 out. 2017.

RANIERI, S.B. L.; SPAROVEK, G.; SOUZA, M. P.; DOURADO NETO, D. **Aplicação de Índice Comparativo na Avaliação do Risco de Degradação das Terras**. Revista Brasileira Ciência do Solo, v. 22, n. 4, p. 751-760, 1998.

REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V.; OLIVEIRA, L. A. **Construção de Modelo e Utilização do Método de Processamento Analítico Hierárquico - AHP para Mapeamento de Risco a Inundação da Área Urbana**. Revista Caminhos de Geografia, v. 18, n. 61, p. 1-18, 2017.

ROSS, J. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados**. Revista do Departamento de Geografia, n. 8, p. 63-74, 1994.

RUHOFF, A. L.; SOUZA, B. S. P.; GIOTTO, E.; PEREIRA, R. S. **Lógica Fuzzy e zoneamento ambiental da Bacia do Arroio Grande**. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Goiânia (GO), p. 2355-2362, 2005.

SAATY, T. L. A. **Scaling Method for Priorities in Hierarchical Siruchical**. Journal of Mathematical Psychology, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SANTOS, J. R. N.; SILVA JUNIOR, C. H. L.; PEREIRA, D. C. A. **Zoneamento da Fragilidade Ambiental Utilizando Lógica Fuzzy e Processo Analítico Hierárquico – AHP: o Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Anil, em São Luiz – MA**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, São José dos Campos (SP), p. 83-90, 2015.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus. 293p. 2002.

SILVA, R. F.; SANTOS, V. A.; GALDINO, S. M. G. **Análise dos Impactos Ambientais da Urbanização sobre os Recursos Hídricos na Sub-bacia do Córrego Vargem Grande em Montes Claros-MG**. Revista Caderno de Geografia, v. 26, n. 47, p. 966-976, 2016.

SIRAJ, S.; MIKHAILOV, L.; KEANE, J. A. **PRIEST: Priority Estimation Tool (AHP)**. 2013. Disponível em: <<https://sourceforge.net/projects/priority/>>. Acesso em: 21 set. 2017.

TOPODATA. **Banco de dados geomorfométricos do Brasil**. 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 10 out. 2017.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: UFRGS/ABRH. 678p. 2006.



## Capítulo 4

**Ensaio em colunas de solo para estudo da influência ambiental dos resíduos finos do beneficiamento de rochas ornamentais**

*Lorainy Viana Domingues<sup>1</sup>; Mirna Aparecida Neves<sup>2</sup>; Arthur Dias Pessoa<sup>3</sup>; Diego Lang Burak<sup>4</sup>; Juliana Di Giorgio Giannotti<sup>5</sup>*

**RESUMO.** O estado do Espírito Santo é o principal polo de beneficiamento de rochas ornamentais do Brasil e tem projeção como importante exportador deste bem mineral. A geração de resíduos no processo industrial é significativa, com destaque para o material de granulação fina, proveniente do descarte da chamada “lama abrasiva” ou lama de beneficiamento de rochas ornamentais (LBRO). Tem sido grande a preocupação quanto aos possíveis impactos ambientais que poderiam ser provocados com o descarte desses resíduos. Este trabalho tem como objetivo avaliar, por meio de ensaios laboratoriais, as possíveis influências que esses materiais podem provocar na qualidade do solo. Foi montado um experimento com colunas de solo recoberto por uma camada de resíduos de diferentes tipos: resíduos da saída do tear (TE), resíduos que passaram pelo filtro-prensa (FP) e resíduos dispostos no leito de secagem (LS); também foi considerado um tratamento testemunha ou branco, com solo puro. As médias obtidas para os parâmetros analisados não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, com exceção dos teores de Cu, que foram mais elevados no tratamento com resíduos do tear, onde a umidade é maior. Apenas o Cr superou o valor máximo permitido de referência determinado pela Resolução CONAMA 420/2009, mas isso ocorreu em todos os tratamentos, inclusive no solo puro.

**PALAVRAS-CHAVE.** lama abrasiva; umidade; rejeito; permeâmetro.

**INTRODUÇÃO**

Durante o processo de beneficiamento de rochas ornamentais são geradas grandes quantidades de resíduos a partir do descarte da chamada “lama abrasiva” ou lama de beneficiamento de rochas ornamentais (LBRO), conforme nomenclatura do IEMA (ESPÍRITO SANTO, 2016). Estes resíduos são, muitas vezes, dispostos inadequadamente no meio ambiente, resultando em impactos ambientais (MANHÃES; HOLANDA, 2008). No estado do Espírito Santo, principal produtor brasileiro de rochas ornamentais, estima-se que a produção de cerca de 4.000 toneladas desses resíduos por mês. O município de Cachoeiro de Itapemirim,

<sup>1</sup>Geóloga formada pela Universidade Federal do Espírito Santo - [lorainyviana@gmail.com](mailto:lorainyviana@gmail.com);

<sup>2</sup>Professora do Dep<sup>to</sup> de Geologia da Universidade Federal do Espírito Santo - [mirna.neves@ufes.br](mailto:mirna.neves@ufes.br)

<sup>3</sup>Geólogo formado pela Universidade Federal do Espírito Santo - [arthurpessoa2010@hotmail.com](mailto:arthurpessoa2010@hotmail.com);

<sup>4</sup>Professor do Dep<sup>to</sup> de Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo - [dlburak@hotmail.com](mailto:dlburak@hotmail.com);

<sup>5</sup>Professora do Dep<sup>to</sup> de Engenharia Rural da Universidade Federal do Espírito Santo - [jggiannotti@gmail.com](mailto:jggiannotti@gmail.com)

## **Ensaio em colunas de solo para estudo da influência ambiental dos resíduos finos do beneficiamento de rochas ornamentais**

por concentrar o maior número de empresas do setor no estado, é responsável pela maior parcela de produção destes resíduos (SOUSA, 2007).

A Instrução Normativa nº 11/2016 do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo – IEMA (ESPÍRITO SANTO, 2016) determina as normas para disposição da lama abrasiva, que deve ser isolada do meio ambiente para evitar a degradação ambiental. Mas existem muitos locais de disposição antigos e outros clandestinos, que constituem passivos ambientais da indústria, existentes há décadas.

Este trabalho teve como objetivo analisar a influência desses resíduos na qualidade do solo por meio de simulações em laboratório. Os resíduos estudados foram coletados em diferentes etapas da produção e com diferentes taxas de umidade buscando simular as diversas possibilidades de disposição destes rejeitos em contato direto com o solo.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste item serão abordados assuntos relacionados ao beneficiamento de rochas ornamentais, bem como a geração e classificação dos resíduos gerados a partir do descarte da LBRO e os possíveis impactos ambientais que podem ocorrer por sua disposição inadequada.

### **Beneficiamento de Rochas Ornamentais**

As rochas ornamentais beneficiadas no Espírito Santo podem ser divididas em três grupos principais, conforme sua classificação comercial: mármore, granitos e quartzitos. Granito é um termo utilizado para designar as rochas silicáticas, abrangendo os próprios granitos, mas também monzonitos, granodioritos, charnockitos, sienitos, dioritos, gabros e basaltos. Já o termo mármore engloba as rochas carbonáticas, como calcários, dolomitos e o mármore, correspondente metamórfico destas rochas. O termo quartzito abrange as rochas silicáticas formadas essencialmente por quartzo e/ou sílica amorfa. Essas rochas podem apresentar quantidades pequenas de minerais silicáticos e/ou carbonáticos, abrangendo os materiais comercialmente classificados como quartzitos, metaconglomerados e quartzo. (ABIROCHAS, 2019). Ardósias, gnaisses e serpentinitos também são comercializados como rochas ornamentais, mas são considerados tipos secundários (CHIODI FILHO; CHIODI, 2009).

Para serem comercializadas, as rochas ornamentais passam pelas seguintes etapas de processamento: extração, desdobramento e beneficiamento.

A fase de extração envolve a lavra ou extração do bloco da pedreira. Um planejamento de lavra bem feito auxilia na escolha do melhor método de lavra, ou seja, com um custo/benefício ideal (GIACONI, 1998). Alguns métodos de lavra utilizados são por desabamento, de matacões, por bancadas e subterrâneas.

A etapa de desdobramento, também chamada por alguns autores de beneficiamento primário, consiste na serragem dos blocos com dimensões entre 5 e 10 m<sup>3</sup> extraídos das jazidas em chapas de espessuras variadas, de acordo com o que é exigido no mercado. A serragem pode ser feita em teares, para produzir chapas de 2 a 3 cm de espessura ou em talha blocos, para chapas e tiras de 1 cm. O talha blocos utiliza discos diamantados e de diâmetros variados. O tear convencional é um equipamento composto por quatro colunas que sustentam um quadro dotado de várias lâminas de aço carbono dispostas paralelamente entre si que desenvolvem movimentos pendulares sobre o bloco; para o resfriamento dessas lâminas e otimização do corte, utiliza-se uma mistura de cal, granalha de aço e água (ABIROCHAS, 2012). Essa mistura é chamada de lama abrasiva, a qual é distribuída por chuveiros sobre os blocos por meio de bombeamento. A ela fica agregado o pó da rocha serrada e essa mistura, ao ser descartada, compõe o rejeito dessa fase do beneficiamento. Atualmente, os teares convencionais vêm sendo

substituídos por teares de fios diamantados ou multifios, que na etapa de desdobramento utilizam apenas água como insumo (BRAGA et al., 2010), gerando menos resíduos.

A etapa de beneficiamento ou beneficiamento final trata do polimento das placas ou chapas provenientes da serragem. O polimento compreende o levigamento, apicoamento e flameamento, polimento e lustro (ABIROCHAS, 2012). O levigamento é o processo primário onde se cria uma superfície plana, retirando as irregularidades mais grosseiras das placas. O apicoamento e flameamento produzem superfícies ásperas, não derrapantes, obtidas pela ação de marteletes e por choques de temperatura (ROCHA; SOUSA, 2010). O polimento realiza um desbaste mais fino e o fechamento dos grãos minerais, deixando a superfície mais lisa e uniforme. Por fim, o lustro concede o brilho às chapas (ABIROCHAS, 2012). Para que esses processos sejam realizados, são utilizadas pastilhas abrasivas à base de carbetto de silício e diamante, de granulação mais grossa para o processo de levigamento e cada vez mais fina nos processos seguintes. As pastilhas se movimentam em toda a superfície da chapa, através de cabeçotes rotativos. Adiciona-se água para eliminar os resíduos do processo e para refrigeração da chapa (ABIROCHAS; 2012).

### **Geração e Classificação dos Resíduos Finos de Rochas Ornamentais**

Na etapa de desdobramento de blocos, os resíduos gerados são os restos e fragmentos de rochas, plástico, papel e papelão, provenientes das embalagens dos insumos utilizados, óleos e graxas decorrentes da manutenção dos teares, metálicos, oriundos das lâminas gastas e peças substituídas, e a lama abrasiva (ou LBRO), o mais volumoso de todos (SILVA, 2011).

Na etapa de polimento de chapas, os resíduos gerados são os fragmentos de rocha, papel, plástico e papelão, também das embalagens dos insumos, restos de abrasivos do polimento e pó de rocha. Nesta fase, o resíduo fino é gerado em menor quantidade, a partir da decantação da água utilizada no polimento, quando da limpeza dos tanques de decantação (SILVA, 2011). Vale ressaltar que em alguns tipos de rocha utiliza-se resina e por vezes corantes, para melhorar o aspecto da chapa polida. Estes constituintes também alteram consideravelmente as características da lama gerada (SILVA, 2011).

Os resíduos da LBRO são misturados aos resíduos finos do polimento, recolhido nos tanques de decantação e conduzidos ao filtro-prensa ou a leitos de secagem para se adequar à normativa do IEMA antes de serem encaminhados aos depósitos ou aterros industriais. Esses depósitos devem armazenar resíduos com umidade inferior a 30% e deverão estar sobre o solo com permeabilidade inferior a  $10^{-6}$  cm/s, sobre zona não saturada do solo de espessura superior a 3 metros, com sistema de drenagem pluvial e de águas residuárias e medidas de proteção contra erosão, excetuando-se os casos de disposição sobre piso impermeabilizado.

Os resíduos podem ser classificados em função de seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, de forma que eles possam ter manuseio e destinos apropriados. A periculosidade de resíduos poluentes é função das propriedades físicas e químicas ou infecto-contagiosas que possam apresentar. Sendo assim, os resíduos foram classificados pela NBR 10004 (ABNT, 2004) da seguinte forma:

- Classe I – Perigosos;
- Classe II A – Não-Perigosos (Não-Inertes);
- Classe II B – Não-Perigosos (Inertes).

Os resíduos sólidos considerados Classe I ou Perigosos são aqueles que apresentam em sua composição características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podendo ocasionar riscos à saúde pública contribuindo para um aumento da letalidade ou surgimento de doenças e danos ao meio ambiente. Os resíduos que não são considerados Perigosos nem Inertes são denominados Não-Inertes (Classe II A). Estes podem ser potencialmente biodegradáveis, combustíveis ou apresentar solubilidade em água, e sua

## Ensaio em colunas de solo para estudo da influência ambiental dos resíduos finos do beneficiamento de rochas ornamentais

disposição é relativamente simples. A classe dos Inertes (Classe II B) enquadra os resíduos que, submetidos ao teste de solubilização, não têm nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões citados no Anexo G da norma.

Alguns trabalhos classificam a LBRO como Classe II A – Não Inerte. Manhães e Holanda (2008) encontraram Pb, Cr, Fe e Mn acima do permitido para resíduos Inertes; enquanto Braga et al. (2010) mediram também Al, Na, Hg, Cl<sup>-</sup>, Cr, F<sup>-</sup>, fenóis e SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> acima do limite no teste de solubilização da ABNT. Neves et al. (2018) estudaram a água percolada através de colunas de solos recoberto com esses resíduos e observaram que eles fornecem Ca, Mg, K, Fe e Mn para o percolado que simula, nesse tipo de estudo, a água que infiltra no solo após percolar uma camada de resíduo.

### METODOLOGIA

A realização desta pesquisa envolveu trabalhos de campo para coleta de amostras de resíduos de rochas ornamentais e de solos típicos da região sul do Estado do Espírito Santo, montagem do experimento de percolação em permeâmetro, testes laboratoriais para análise das amostras de solo, tratamento e interpretação dos dados.

Os resíduos foram coletados em duas empresas de Cachoeiro de Itapemirim. As amostras foram armazenadas em galões de polietileno de alta resistência, sendo coletadas em três locais diferentes: diretamente da boca do tear (TE), logo após passar pelo filtro-prensa (FP) e também do leito de secagem (LS) (Figura 1).

De acordo com Neves et al. (2013), os resíduos que apresentam maior teor de umidade são os do tear, com cerca de 40% de umidade, enquanto os resíduos que passaram pelo filtro prensa, apresentam teores de umidade próximos de 25%. Já os resíduos que se encontram no leito de secagem, essa umidade varia entre 32 e 36%.



**Figura 1.** Locais de coleta dos resíduos e do solo utilizados no experimento. (a) Resíduo da saída do tear (TE); (b) resíduo do filtro-prensa (FP); (c) resíduo do leito de secagem (LS) e (d) solo típico da região.

As amostras de solo deformadas foram coletadas no distrito de Rive, município de Alegre (ES). A Tabela 1 mostra os parâmetros de caracterização do solo conforme apresentado por Bertossi (2011).

**Tabela 1.** Caracterização química de solo semelhante ao utilizado no experimento

	pH <sub>H2O</sub>	P	K	Ca	Mg	Al
		—mg dm <sup>-3</sup> —		—cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> —		
<b>Solo</b>	5,8	1,9	73,6	2,54	0,28	0,04

Esse solo foi classificado conforme a Embrapa (2006) em Latossolo Vermelho Amarelo, sendo a rocha que lhe deu origem classificada como biotita gnaisse, de acordo com Silva (1993).

O permeâmetro montado para o experimento permitiu a execução simultânea de três repetições para cada tratamento, isto é, para cada tipo de resíduo (Figura 2). É composto por um apoio com espaço para três tubos de PVC com 10 centímetros de diâmetro e 40 centímetros de altura. Na parte inferior dos tubos são acoplados ralos para deixar passar a água de percolação e deter a amostra de solo. As paredes dos tubos são revestidas com uma camada de areia grossa (aderida às paredes com cola à prova d'água), buscando evitar a formação de caminhos preferenciais para o fluxo.



**Figura 2.** Permeâmetro montado em laboratório para realização do experimento de percolação.

## **Ensaio em colunas de solo para estudo da influência ambiental dos resíduos finos do beneficiamento de rochas ornamentais**

Na extremidade inferior do tubo (sobre o ralo), foi colocada uma manta de lã de vidro e, sobre ela, 30 centímetros de solo. Na parte superior (sobre o solo) foram colocados 10 centímetros de resíduo, e logo após, novamente a manta de lã de vidro para evitar a formação de depressões causadas pelo fluxo da água. Para obter uma densidade semelhante nos tratamentos e repetições, as amostras de solo, após peneiradas em malha de 2 mm, foram depositadas aos poucos nos tubos e compactadas com um determinado número de impactos. Esse procedimento é necessário para tornar o material o mais homogêneo possível e evitar formação de camadas.

Antes de colocar o resíduo sobre o solo, a coluna de solo foi saturada de baixo para cima para eliminar as bolhas de ar. A saturação é alcançada colocando-se a coluna dentro de um recipiente contendo água, por aproximadamente 72 horas. Finalizada a saturação, os tubos foram colocados no permeâmetro, e em seguida, água deionizada foi percolada durante outras 72 horas para retirar o excesso de material desagregado. Logo após os tubos foram deixados em repouso por cerca de 72 horas para o escoamento do excesso de água retida nos poros. Após o repouso do solo, depositou-se a quantidade de resíduo determinada. Iniciou-se, então, a contagem do tempo de percolação de determinado volume de água deionizada num período de sete dias. Essa água era colocada em frascos plásticos conta-gotas automático de 500 mL, que permitia controlar o fluxo da água até as amostras.

Foram feitos quatro tratamentos:

- Tratamento 01: resíduos retirados da boca do tear (TE);
- Tratamento 02: resíduos retirados do filtro prensa (FP);
- Tratamento 03: resíduos retirados do leito de secagem (LS);
- Tratamento 04: solo puro ou branco (B).

Ao final do experimento, o aparato foi desmontado e, com o auxílio de uma colher, a lã de vidro foi retirada, e em seguida, foram coletadas amostras de solo a 30 cm de profundidade dentro de cada coluna. Essas amostras foram secas em estufa a 40° C, trituradas e por fim, enviadas para o Laboratório de Mineralogia do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa para leitura dos parâmetros químicos.

Os dados foram tratados no *software* R 3.3.2. e aplicado o teste de Tukey com nível de confiança de 95% para verificação de diferenças significativas entre as médias dos valores de cada parâmetro nos diferentes tratamentos.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A Figura 3 mostra a distribuição dos teores de Ca, Mg, K e Na medidos no solo dos diversos tratamentos e na Figura 4 apresenta-se os teores de Al, Fe, Mn, Cu, Cr e Pb. A Tabela 2 mostra a comparação entre as médias dos parâmetros medidos no solo coletado nos diferentes tratamentos.

Conforme pode ser observado nos gráficos de distribuição de valores (Figuras 3 e 4) e no teste de média (Tabela 2), não há diferenças importantes entre os tratamentos, embora algumas tendências precisem ser destacadas conforme será feito abaixo.

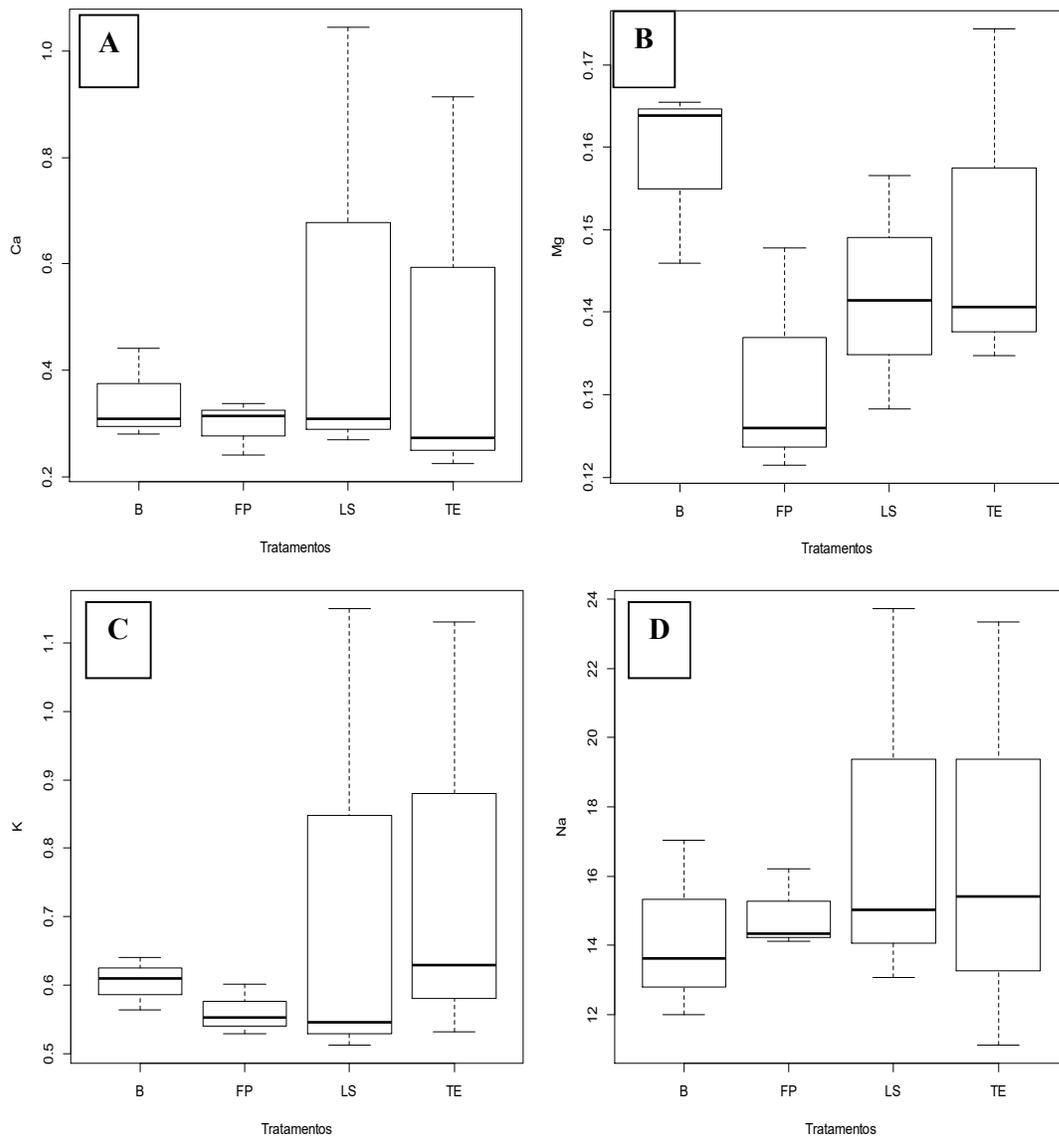
Embora a Tabela 2 não mostre diferença estatística entre os teores de Ca, Mg, K e Na dos diferentes tratamentos, na Figura 3 observa-se que os resíduos LS e TE forneceram mais Ca, K e Na para o solo. O Ca e o K constituem macronutrientes e sua presença é geralmente bem vinda no solo, mas o Na pode ser prejudicial pois tende a causar salinização em condições ambientais mais secas.

Os teores de Al, Fe e Mn não mostraram diferença significativa no tratamento estatístico (Tabela 2), confirmando as indicações dos gráficos de distribuição da Figura 4. O solo puro também apresenta teores desses elementos em níveis semelhantes a um ou mais tratamentos

com resíduos. O Cr e o Pb não mostram tendências divergentes entre nenhum tratamento, tampouco com relação ao solo puro.

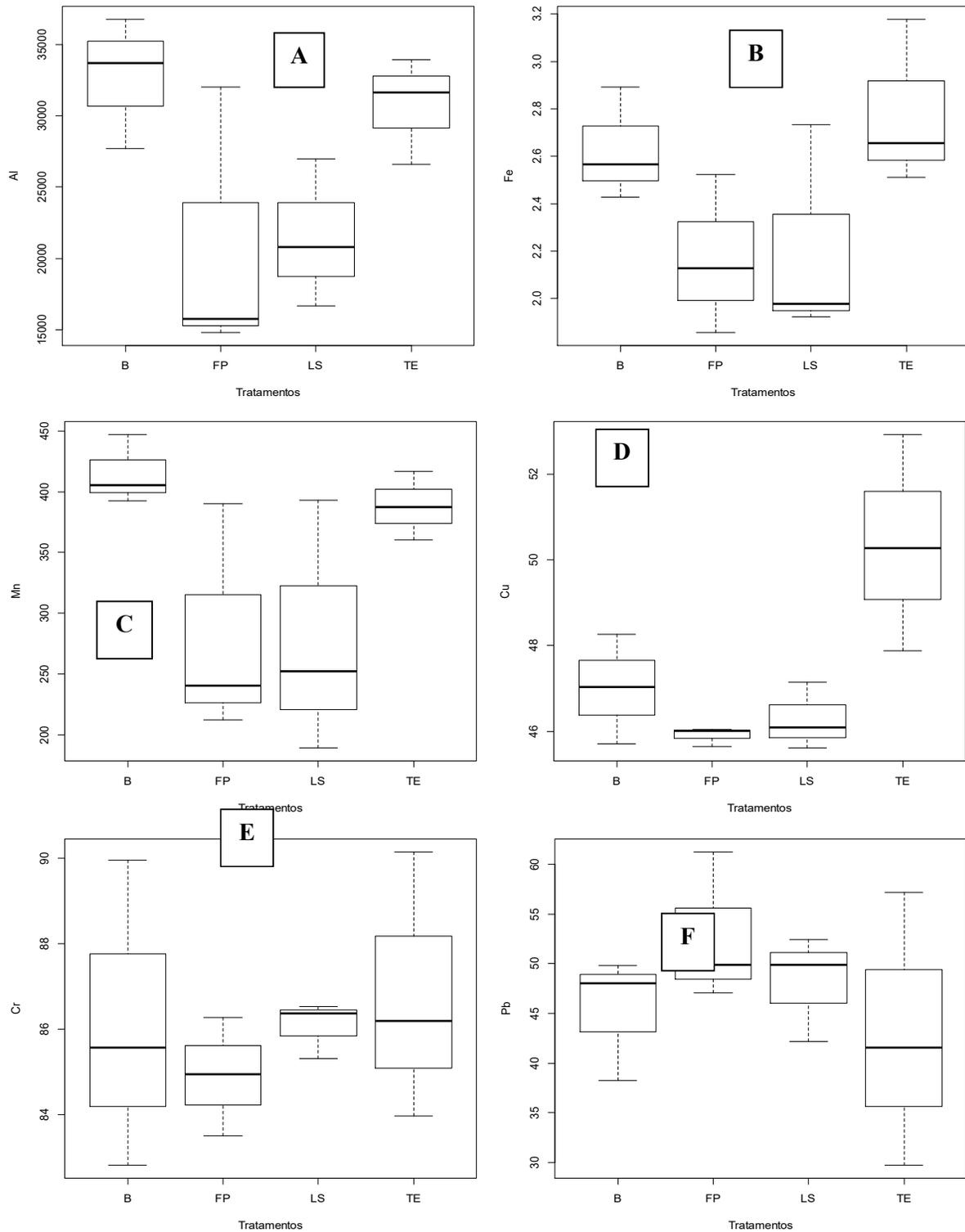
Apenas a concentração média de Cu apresentou diferença significativa, sendo superior no tratamento TE com relação ao LS e FP; porém, não foi estatisticamente diferente do branco (solo puro) (Tabela 2). Contudo, a Figura 4 mostra, de fato, tendência de valores superiores de Cu no solo do tratamento TE.

A Resolução CONAMA 420/2009 (Brasil 2009) estabelece limites ou valores máximos permitidos (VMPs) para os teores de metais potencialmente tóxicos. Dentre os que constam na normativa, estão os VMPs do Cu ( $60,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Cr ( $75,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e Pb ( $72,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Os teores de Cu e Pb medidos em todos os tratamentos ficaram abaixo dos VMPs, mas as concentrações de Cr estão acima do limite em todos os tratamentos, inclusive no solo puro.



**Figura 3.** Distribuição das concentrações de Ca, Mg, K e Na medidos no solo nos diferentes tratamentos (B: branco ou solo puro, LS: tratamento com amostra de resíduo do leite de secagem sobre o solo, FP: resíduo do filtro-prensa sobre o solo e TE: resíduo do tear sobre o solo) (valores em  $\text{dag kg}^{-1}$ ).

**Ensaio em colunas de solo para estudo da influência ambiental dos resíduos finos do beneficiamento de rochas ornamentais**



**Figura 4.** Distribuição das concentrações de Al (em g kg<sup>-1</sup>); Fe (em dag kg<sup>-1</sup>); Mn (em g kg<sup>-1</sup>); Cu, Cr e Pb (em mg kg<sup>-1</sup>) medidos no solo nos diferentes tratamentos (B: branco ou solo puro, LS: tratamento com amostra de resíduo do leito de secagem sobre o solo, FP: resíduo do filtro-prensa sobre o solo e TE: resíduo do tear sobre o solo) (unidades de medida).

**Tabela 2.** Valores médios da concentração de metais no solo na profundidade de 30 cm nas colunas do permeâmetro, ao fim do experimento (B: branco ou solo puro, LS: tratamento com amostra de resíduo do leito de secagem sobre o solo, FP: resíduo do filtro-prensa sobre o solo e TE: resíduo do tear sobre o solo)

Variável	Unidade	B	LS	FP	TE
Ca	<i>dag kg<sup>-1</sup></i>	0,34 <sup>a</sup>	0,54 <sup>a</sup>	0,30 <sup>a</sup>	0,47 <sup>a</sup>
Mg	<i>dag kg<sup>-1</sup></i>	0,16 <sup>a</sup>	0,14 <sup>a</sup>	0,13 <sup>a</sup>	0,15 <sup>a</sup>
K	<i>dag kg<sup>-1</sup></i>	0,60 <sup>a</sup>	0,74 <sup>a</sup>	0,56 <sup>a</sup>	0,76 <sup>a</sup>
Na	<i>mg kg<sup>-1</sup></i>	14,22 <sup>a</sup>	17,28 <sup>a</sup>	14,89 <sup>a</sup>	16,62 <sup>a</sup>
Fe	<i>dag kg<sup>-1</sup></i>	2,63 <sup>a</sup>	2,21 <sup>a</sup>	2,17 <sup>a</sup>	2,78 <sup>a</sup>
Al	<i>g kg<sup>-1</sup></i>	32,75 <sup>a</sup>	21,49 <sup>a</sup>	20,86 <sup>a</sup>	30,75 <sup>a</sup>
Mn	<i>g kg<sup>-1</sup></i>	0,41 <sup>a</sup>	0,28 <sup>a</sup>	0,28 <sup>a</sup>	0,39 <sup>a</sup>
Cu	<i>mg kg<sup>-1</sup></i>	47,00 <sup>a, b</sup>	46,28 <sup>a</sup>	45,90 <sup>a</sup>	50,36 <sup>b</sup>
Cr	<i>mg kg<sup>-1</sup></i>	86,11 <sup>a</sup>	86,07 <sup>a</sup>	84,90 <sup>a</sup>	86,77 <sup>a</sup>
Pb	<i>mg kg<sup>-1</sup></i>	45,34 <sup>a</sup>	48,13 <sup>a</sup>	52,73 <sup>a</sup>	42,82 <sup>a</sup>

Letras iguais nas linhas indicam que os valores não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

## CONCLUSÃO

As concentrações de metais no solo após a realização dos tratamentos com os diferentes tipos de resíduo não apresentaram diferença significativa entre si, com exceção dos teores de Cu, que foram mais elevados no tratamento com resíduo do tear (TE), onde a umidade é consideravelmente maior.

Com relação aos metais cuja concentração máxima permitida é determinada pela Resolução CONAMA 420/2009, apenas o Cr superou o valor máximo permitido, o que ocorreu em todos os tratamentos, inclusive naquele que utiliza o solo puro. Portanto, não é possível vincular a origem desse metal aos resíduos utilizados no experimento.

Vale ressaltar que o tempo de duração do experimento pode ter influência nos resultados. Por exemplo, um experimento com duração de um ano ou mais poderá apresentar teores mais elevados de metais no solo e, conseqüentemente, possibilidade de contaminação ambiental. Portanto, a realização de experimentos com maior tempo de duração é recomendada para trabalhos futuros.

## **Ensaio em colunas de solo para estudo da influência ambiental dos resíduos finos do beneficiamento de rochas ornamentais**

### **REFERÊNCIAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS - ABIROCHAS. **Conheça as rochas ornamentais**. Brasília, 2012. Disponível em: <[http://www.abirochas.com.br/rochas\\_ornamentais.php](http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais.php)>. Acesso em: 11 jan. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS – ABIROCHAS. **Tipologia das Rochas Ornamentais**. Brasília, 2019. Disponível em: <[http://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/06/SobreRochas/Tipologia\\_das\\_Rochas\\_Ornamentais.pdf](http://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/06/SobreRochas/Tipologia_das_Rochas_Ornamentais.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004a. 71p.

BERTOSSI, A. P. **Índice de qualidade da água em microbacias hidrográficas com diferentes coberturas vegetais, no sul do estado do Espírito Santo**. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Departamento de Ciências Florestais e Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2011.

BRAGA, F. S.; BUZZI, D. C.; COUTO, M. C. L.; LANGE, L. C. **Caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 15, n. 3, p. 237-244, 2010.

CALMON, J.L.; SILVA, S.A.C. **Mármore e Granito no Espírito Santo: problemas ambientais e soluções**. In: DOMINGUES, A.F.; BOSON, P.H.G.; ALÍPAZ, S. (Orgs.), **A gestão de Recursos Hídricos e a Mineração**. Brasília: Agência Nacional de Águas – ANA, Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM, p. 199-231, 2006. Disponível em <[http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/CatalogoPublicacoes\\_2006.asp](http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/CatalogoPublicacoes_2006.asp)>. Acesso em: 31 mai. 2020.

CHIODI C. F.; CHIODI D. K. **Rochas Ornamentais e de Revestimentos**. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Relatório Técnico 33. 2009. 101 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA 420/2009**: Resolução Nº 420, de 28 de dezembro de 2009: Dispõe sobre critérios e valores orientadores 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. 2009. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 10 set. 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMPRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 316 p.

GIACONI W. J. **Perfil atual da indústria de rochas ornamentais no município de Cachoeiro do Itapemirim (ES)**. Dissertação (Mestrado em Geociências e Administração e

Políticas de Recursos Minerais Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1998.

INSTITUTO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - IEMA. **IN Nº 11/2016: Instrução Normativa Nº 11 de 11 de outubro de 2016:** Dispõe sobre critérios e procedimentos técnicos para licenciamento da atividade de disposição de Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais. Vitória, 2016. Disponível em: <[https://iema.es.gov.br/residuos\\_solidos/in\\_iema](https://iema.es.gov.br/residuos_solidos/in_iema)> Acesso em 30 mai. 2020.

MANHÃES J.P.V.T.; HOLANDA J.N.F. **Caracterização e classificação de resíduo sólido "pó de rocha granítica" gerado na indústria de rochas ornamentais.** Química Nova, v.31, nº6. p.1301-1304, 2008.

NEVES, M. A.; NADAI, C.P.D.; FONSECA, A. B.; PRADO, A. C. A.; GIANNOTTI, J. G.; RAYMUNDO, V. **PH e umidade dos resíduos finos de beneficiamento de rochas ornamentais.** Revista Escola de Minas, v. 66, p. 239-244, 2013.

NEVES, M. A.; DOMINGUES, L. V.; PESSOA, A. D.; BURAK, D. L.; GIANNOTTI, J. D.G. **Ensaio em colunas de solo para estudo da influência dos resíduos finos de rochas ornamentais na qualidade da água.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 23, n. 6, p. 1111-1119, 2018.

ROCHA, C. H. B.; SOUSA, J. G. **Análise Ambiental do Processo de Extração e Beneficiamento de Rochas Ornamentais com Vistas a uma Produção Mais Limpa: Aplicação Cachoeiro de Itapemirim-ES.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer. Goiânia, v. 6, n. 9, p. 1, 2010.

SILVA, A. A. A. **Gestão de Resíduos nas Indústria de Rochas Ornamentais com Enfoque para a Lama Abrasiva.** In: VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Rio de Janeiro, 2011.

SILVA, J. N. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Cachoeiro de Itapemirim. **Folha SF.24-V-A-V.** Estado do Espírito Santo. Escala 1:100.000. Brasília: DNPM/CPRM. 1993. 176 p.

SOUSA J. G. **Análise ambiental do processo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais com vistas a uma produção mais limpa: aplicação em Cachoeiro de Itapemirim – ES. 2007.** Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Análise Ambiental) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Viçosa, 2007.



## Capítulo 5

**Favorabilidade para prospecção de água subterrânea na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, município de Cachoeiro de Itapemirim, ES, utilizando geoprocessamento**

*Wellington de Oliveira Silva<sup>1</sup>; Fabricia Benda de Oliveira<sup>2</sup>; Letícia Guarnier<sup>3</sup>;  
Reinaldo Baldotto Ribeiro Filho<sup>4</sup>; Mirna Neves Aparecida<sup>5</sup>*

**RESUMO.** A água é considerada um recurso natural essencial para a sobrevivência e devido crescente consumo dos recursos hídricos ela vem se tornando um produto passível de uma crise no futuro. A região de estudo compreende a Bacia do Rio Itapemirim, uma importante área de recarga de aquíferos localizada no Sul do Estado do Espírito Santo. O objetivo do presente trabalho foi identificar as áreas mais favoráveis à exploração de água subterrânea utilizando técnicas de geoprocessamento envolvendo análise multicritério, um método que tem auxiliado na identificação de áreas alvo na exploração do bem mineral de interesse. Desenvolveu-se através do processamento computacional dos mapas de declividade, precipitação, densidade de lineamentos, pedologia, litologia, proximidade de cursos d'água e proximidade das interseções de lineamentos para a geração dos fatores. Realizou-se normalizações desses mapas através da utilização das funções de pertinência fuzzy, padronizando-os numa escala de adequabilidade que variam de menos apto (0) a mais apto (255), posteriormente executou-se a comparação destes seguindo a escala de Saaty e combinando-os através do método de Combinação Linear Ponderada (AHP). Como resultado as áreas mais favoráveis estão em menor área e localizadas a Leste e Nordeste, próximo ao litoral, a oeste próximo à região do Caparaó e no centro este do mapa e as de menor favorabilidade se encontram a noroeste, na região do Caparaó, e ao centro do mapa, que coincide com áreas de maior declive. A utilização do método se mostrou eficaz para o tipo de análise realizada, permitindo a integração de dados fisiográficos que influenciam na disponibilidade de água subterrânea evidenciando áreas mais favoráveis a esse tipo de prospecção.

**PALAVRAS-CHAVE.** Análise Multicritério, Aquífero Cristalino, Fuzzy, AHP, Processo de Hierarquia Analítica

**INTRODUÇÃO**

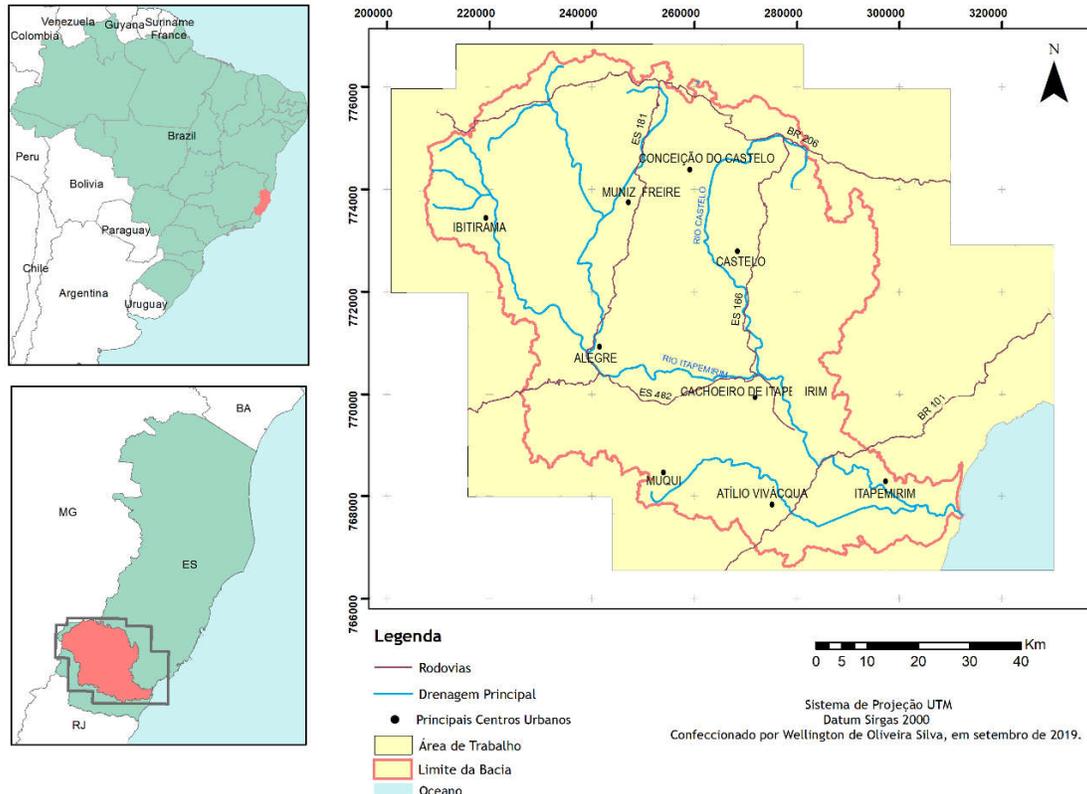
A maior demanda por água no Espírito Santo tem predominância no setor agrícola, na irrigação de culturas, seguido pelo abastecimento público e em terceiro o setor da indústria (AGERH, 2018), o que gera uma demanda de água crescente e a necessidade dos estudos de prospecção de água subterrânea na região.

Nesse sentido, cria-se a necessidade de realizar pesquisas que investiguem as variáveis físicas que condicionam tanto a favorabilidade quanto a vulnerabilidade de aquíferos fraturados. Considera-se a melhor condição vinculada a formação de aquífero ocorre devido aos fatores geológicos, como permeabilidade e porosidade da rocha, presença de falhas e fraturas, conectividade dos corpos arenosos, entre outros. Dessa forma, devido ao grande número de variáveis envolvidos na indicação de aquíferos, torna-se necessário o uso de métodos estatísticos que possibilitem avaliar o peso de cada variável e assim obter uma melhor previsão de seu comportamento (VIDAL et al., 2006).

## Favorabilidade para prospecção de água subterrânea na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, município de Cachoeiro de Itapemirim, ES, utilizando geoprocessamento

A análise de multicritério é um método que reduz os custos no processo de prospecção de água, prevendo a distribuição espacial desta, o que proporciona uma otimização e gerenciamento dos recursos hídricos mais eficientes (OH et al., 2011). Além de ser um método necessário e útil para se aplicar o desenvolvimento sustentável na região, considerando uma perspectiva futura de pressões hídricas, frente às mudanças climáticas globais (YOUSIF, 2019). O objetivo geral deste trabalho é distinguir áreas mais favoráveis à exploração de água subterrânea na Bacia do Rio Itapemirim no sul do Estado do Espírito Santo, utilizando técnicas de geoprocessamento.

### LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



**Figura 1.** Localização da área de estudo no Brasil e no Estado do Espírito Santo. Fonte de dados cartográficos: GEOBASES (2019).

### METODOLOGIA

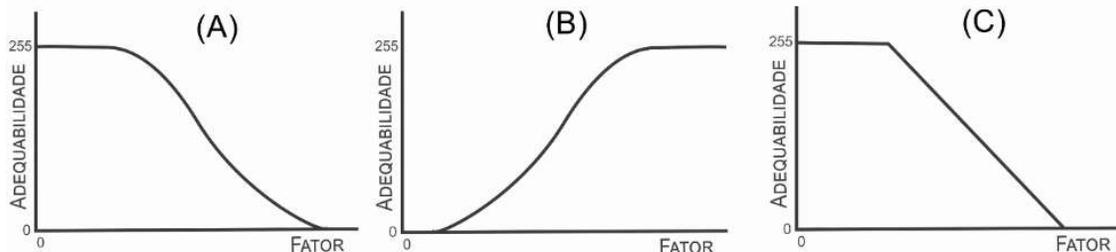
A primeira etapa do trabalho consistiu no levantamento bibliográfico sobre a análise multicritério e determinação dos fatores relevantes para a favorabilidade hidrogeológica na área, a partir disso foi escolhido os seguintes fatores: Declividade, Precipitação, Pedologia, Litologia, Densidade de Lineamentos, Proximidade de cursos d'água e Proximidade das interseções dos lineamentos.

Foram feitas normalizações dos mapas temáticos a fim de gerar os fatores através da utilização das funções de pertinência *fuzzy*. Os fatores foram padronizados numa escala de adequabilidade que variam de menos apto (0) a mais apto (255).

O fator Declividade, tem como principal finalidade a identificação de áreas íngremes, as quais foram consideradas como não favoráveis à infiltração, pois dificultam o acúmulo de

água, conseqüentemente, áreas com maior declividade foram consideradas menos propícias (MADRUCCI; TAIOLI; DE ARAUJO, 2008).

A normalização do mapa de Declividade foi feita utilizando a função de pertinência *fuzzy* sigmoidal monotônica decrescente (Figura 2A), onde as áreas planas com até 5 graus de inclinação foram consideradas com adequabilidade máxima (255) e a partir de 5 graus de inclinação essa adequabilidade decresce até chegar o valor mínimo (0).



**Figura 2.** Funções de pertinência utilizadas A) Função de pertinência fuzzy sigmoidal monotônica Decrescente, B) Função de pertinência fuzzy sigmoidal monotônica Crescente e C) Função de pertinência fuzzy sigmoidal Linear Crescente.

Com relação ao fator Precipitação, a distribuição das chuvas junto com o gradiente de declive afeta a taxa de infiltração e, portanto, aumenta a possibilidade de zonas potenciais de águas subterrâneas (PINTO et al., 2017). A normalização do mapa foi feita utilizando a função de pertinência *fuzzy* sigmoidal monotônica crescente (Figura 2B). A partir do valor mínimo (850 mm) com adequabilidade mínima, a adequabilidade foi crescente até atingir o valor máximo (1749 mm).

Para o fator Pedologia e o fator Litologia, em ambos as classes pedológicas e litológicas foram reclassificadas para posteriormente ser aplicada a função fuzzy. No mapa pedológico são encontradas as classes de solo descritas na Tabela 1. A presença de uma cobertura de solos ou sedimentar sobre as rochas cristalinas favorece o processo de infiltração das águas meteóricas. Quanto mais espessas e permeáveis, melhores as condições de infiltração (BARRETO; MONSORES; PIMENTEL (2000). As classes pedológicas foram separadas em três grupos (Tabela 1). Para isso foi considerado as características de cada classe de solos como a permeabilidade segundo Santos et al. (2018).

**Tabela 1** Normalização das classes pedológicas.

Grupo	Solos	Valor atribuído
1	Latossolo, Gleissolo, Organossolo	200
2	Neossolo Flúvico, Neossolo Lítico, Espodossolo, Cambissolo	100
3	Chernossolo Argilúvico, Argilosso	50

No que se refere a Litologia, a existência de água nas rochas é condicionada pela presença de descontinuidades tais como bandamento/xistosidade, facilidade de intemperização, maior suscetibilidade a fraturamento, entre outros. Dessa forma rochas como gnaisse serão mais susceptíveis à geração de planos de fraqueza, esses planos aumentam a porosidade e permeabilidade destas.

As litologias foram separadas em três grupos: o grupo 1 de maior adequabilidade atribuída a coberturas sedimentares; o grupo 2 com valor intermediário, atribuída a rochas

## Favorabilidade para prospecção de água subterrânea na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, município de Cachoeiro de Itapemirim, ES, utilizando geoprocessamento

metamórficas devido a presença de feições estruturais, e o grupo 3 de menor valor de adequabilidade, referente a rochas mais maciças (Tabela 2).

**Tabela 2** Normalização das classes litológicas.

<b>Grupo</b>	<b>Litologias</b>	<b>Valor atribuído</b>
1	Cobertura Sedimentar	255
2	Ortognaisse, Paragnaisse, Milonito	130
3	Granito, Granitoides, Diorito, Migmatito	60

O fator Densidade de Lineamentos pode expor indiretamente o potencial da água subterrânea, uma vez que a presença de lineamentos geralmente indica uma zona permeável. Áreas com alta densidade de lineamentos são consideradas excelentes para zonas potenciais de águas subterrâneas (HARIDAS; ARAVINDAN; GIRISH, 1998 citado por PINTO et al., 2017). A normalização foi feita utilizando uma função de pertinência *fuzzy* sigmoidal monotônica crescente (Figura 2B).

Quanto ao fator Proximidade de Cursos d'água, a cobertura vegetal que fica às margens de rios é de fundamental importância no processo de recepção da água precipitada sobre o solo. A matéria orgânica incorporada ao solo permite maior agregação e coesão entre as partículas, tornando o solo mais poroso e com maior poder de retenção de água, o que favorece o aumento de sua capacidade de infiltração (SANTOS; PEREIRA, 2013).

De acordo com Botelho e Silva (2004), o processo de infiltração no ambiente rural é próximo, ou mesmo semelhante, ao das áreas florestadas e de gramíneas, não havendo grande redução na entrada de água no solo, predominando assim a infiltração. Assim foi considerada a distância de 50 metros das drenagens como de maior à adequabilidade a infiltração devido à presença de vegetação, na medida em que a distância aumenta a adequabilidade diminui. A normalização foi feita utilizando uma função de pertinência *fuzzy* sigmoidal monotônica decrescente (Figura 2A).

Quanto ao fator Proximidade das interseções dos lineamentos, Madrucci, Taioli e Araujo, (2008) estudaram a influência da distância das interseções de lineamentos e produtividade de poços na região leste do estado de São Paulo e confirmaram a influência da presença destes na produtividade. Assim segue-se a premissa de que quanto mais próximo dos pontos de interseção de lineamentos melhor é a adequabilidade, e à medida que se afasta ou não existe interseção de lineamentos menor é a adequabilidade. A normalização foi feita utilizando uma função de pertinência *fuzzy* sigmoidal monotônica decrescente (Figura 2A).

Depois da padronização dos mapas, foi feita a comparação par-a-par entre os fatores usando a escala de comparação proposta por Saaty, seguindo uma ordem de prioridade que foi definida a partir do Processo Analítico Hierárquico (AHP), sendo considerados na ordem de maior para menor importância respectivamente: Declividade, Precipitação, Pedologia, Litologia, Densidade de Lineamentos, Proximidade de cursos d'água e Proximidade das interseções. A seguir é apresentada a matriz de comparação (Tabela 3), onde tem-se os fatores e as comparações par-a-par.

**Tabela 3.** Pesos calculados pelo método AHP.

Fatores	Declividade	Precipitação	Pedologia	Litologia	Densidade de Lineamentos	Proximidade de cursos d'água	Proximidade das Interseções
Declividade	1	-	-	-	-	-	-
Precipitação	1/2	1	-	-	-	-	-
Pedologia	1/3	1/2	1	-	-	-	-
Litologia	1/3	1/3	1/2	1	-	-	-
Densidade de Lineamentos	1/5	1/3	1/3	1/2	1	-	-
Proximidade de cursos d'água	1/9	1/7	1/5	1/3	1/2	1	-
Proximidade das interseções	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1/2	1
Índice de Consistência RC = 1,7 %							

Com as notas e pesos estabelecidos, esses dados foram tabulados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e realizou-se a sobreposição dos fatores, usando a seguinte expressão:  $\sum = F * P$  (Somatório de todos fatores, onde F é cada fator e P o respectivo peso). A metodologia utilizada teve como base os trabalhos de Benda (2008) e Ribeiro Filho (2014).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os pesos calculados na Tabela 3 demonstram a influência de cada fator no mapa final de adequabilidade. O índice de consistência é um valor que mostra a consistência obtidos no cálculo da matriz de comparação e neste caso, o erro foi de 1,7 % (aceitável).

Os resultados encontrados após a geração dos mapas de fatores (Figura 3) indicam como cada fator irá relacionar-se com o mapa final. Através desses mapas, é possível observar a influência de cada fator separadamente na análise final, todavia o cruzamento de todos os fatores na análise multicritério facilita a visualização integrada.

Considerando-se que as variáveis que interferem na escolha de uma área prospecção água subterrânea contribuem com pesos diferenciados no processo final de decisão, estabeleceu-se uma ponderação das variáveis de acordo com sua importância na decisão sobre a aptidão de uma área. É importante salientar que as comparações foram desenvolvidas de acordo com as ponderações definidas anteriormente (BENDA, 2008).

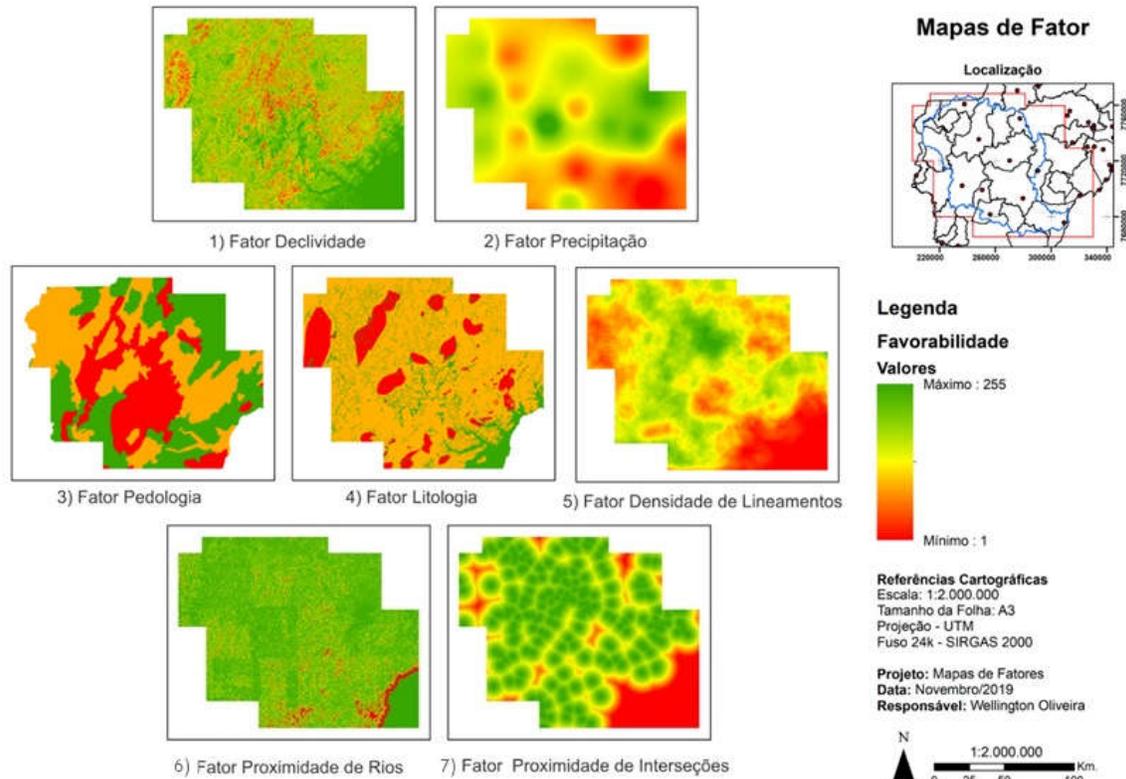
Os mapas de fatores não identificam áreas aptas e inaptas, eles apresentam uma superfície de adequabilidade, onde os pixels possuem valores que variam de 0 para áreas menos favoráveis a 255 para as mais favoráveis. (BENDA; ALVES; OLIVEIRA, 2012).

Madrucci, Taioli e De Araújo (2008) classificaram os fatores e atribuíram valores usando a escala de 0 a 255, entretanto não aplicaram a lógica *fuzzy*. Ayer, Garofalo e Pereira (2017) utilizaram os mapas geológico, fisiográficos, estrutural, de uso e cobertura do solo como fatores para determinar a favorabilidade hidrogeológica utilizando a lógica *fuzzy*, na região do Circuito das Águas Paulista, e concluíram que o uso de lógica *fuzzy* para avaliação da favorabilidade hidrogeológica apresentou resultados satisfatórios.

A declividade foi considerada como o fator principal neste trabalho, pois a inclinação dos terrenos controla o processo de escoamento superficial e, portanto, a disponibilidade de água para infiltração a sua superfície, ou seja, um nível mais alto de declive resulta em escoamento rápido e aumento da taxa de erosão com potencial de recarga insuficiente (MAGESH; CHANDRASEKAR, 2012 citado por PINTO et al., 2017).

## Favorabilidade para prospecção de água subterrânea na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, município de Cachoeiro de Itapemirim, ES, utilizando geoprocessamento

O fator declividade apresenta grandes áreas com alta favorabilidade. As porções com menor adequabilidade se encontram mais a noroeste, centro norte e próximo ao oceano no sentido Nordeste, nas áreas de maiores declives. À medida que a inclinação diminui, essas regiões com menores declives como na região próximo ao oceano e na região central da bacia do rio Itapemirim passam a ter maior adequabilidade.



**Figura 3.** Mosaico de Fatores utilizados. 1) Fator declividade, 2) Fator Precipitação, 3) Fator Pedologia, 4) Fator Litologia, 5) Fator Densidade de Lineamentos, 6) Fator Proximidade de Cursos d'água 7) Fator Proximidade de Interseções.

Madrucci et al., (2008) separaram os terrenos em duas classes de declividade, uma inferior a  $35^\circ$  de inclinação e outra superior. As classes com menor declividade tiveram adequabilidade máxima (255), enquanto a outra classe teve adequabilidade de 127,5. Nesse trabalho foram consideradas o gradiente da variação de 0 a 255 (da menor adequabilidade variando até a máxima).

Pimenta (2018) usou a avaliação por análise multicritério e utilizou o fator precipitação para identificação de áreas favoráveis à expansão da fronteira agrícola no Estado do Pará. A precipitação é um dos fatores considerados preponderantes no que diz respeito ao volume de recarga dos aquíferos nas bacias hidrográficas. (SANTOS; PEREIRA, 2013), assim foi atribuído ao fator Precipitação como o segundo de maior peso, assim como considerado neste trabalho.

Em toda a área de trabalho a região que apresenta maior adequabilidade com relação a precipitação foi na direção centro nordeste, e a noroeste do mapa, o que aumenta a possibilidade de zonas potenciais de águas subterrâneas nessa região, à medida que se aproxima do oceano, à sudeste, pode-se observar uma relevante diminuição dessa precipitação identificando zonas com menor potencial.

Benda (2008) utilizou a Pedologia como principal fator seu estudo para favorabilidade de áreas para implantação de aterros controlados, onde foi considerado a permeabilidade dos solos e sua capacidade de filtragem, ou seja, a capacidade de reter os contaminantes encontrados nos resíduos. Semelhante a este trabalho, no fator Pedologia também foi feita a reclassificação das classes dos solos considerando a permeabilidade dos solos, porém não foi considerada a capacidade de filtragem, já que a relação com contaminantes não é objetivo de estudo deste trabalho.

No fator Pedologia pode-se observar três classes determinantes, uma mais favorável nos limites da área, relacionada ao Latossolo, Gleissolo e Organossolo, que ao compará-la ao mapa de fator de declividade e de precipitação tem grande extensão das áreas sobrepostas com adequabilidade máxima. O Gleissolo e Organossolo são solos hidromórficos com presença de lençol freático a pequena profundidade, e com presença de matéria orgânica, que incorporada ao solo permite maior agregação e coesão entre as partículas, tornando o solo mais poroso e com maior poder de retenção de água, favorecendo o aumento de sua capacidade de infiltração (SANTOS; PEREIRA, 2013; REATTO et al., 2004). Os Latossolos são, em geral, muito permeáveis, sendo associada a textura e a mineralogia (KER, 1997).

As áreas consideradas intermediárias (Neossolo Flúvico, Neossolo Lítico, Espodossolo e Cambissolo) se concentram a Noroeste, próximo ao Alto Caparaó, a sudeste próximo ao litoral e a nordeste do mapa. Reginato e Strieder (2006) estudaram integração de dados geológicos na prospecção de aquíferos, e concluíram que solos do tipo Neossolo e Cambissolo tem maiores chances para ocorrência de aquíferos fraturados, e que a maior parte dos poços produtivos está localizado em áreas onde há a associação de Neossolos e Cambissolos. Espodossolos são solos minerais, tipicamente arenosos, não hidromórficos ou hidromórficos, por isso foram incluídos na categoria de adequabilidade intermediária.

Na parte central do mapa da área de estudos, as classes com menor adequabilidade (Chernossolo Argiluvico e Argilosso), também se sobrepõe ao fator declividade e precipitação, onde essas áreas também são de menor precipitação e maior declive, em maior parte da região. Foram considerados de menor permeabilidade os não hidromórficos e argilosos (REATTO et al., 2004).

Com relação ao Fator Litologia, Barreto (2000) determinou em seu trabalho que a litologia é o fator de menor importância devido a existência de água subterrânea ser condicionada pelas fraturas. Neste trabalho foi considerado o fator Litologia na quarta posição devido a presença de descontinuidades como foliação em rochas metamórficas, tendo profunda influência no movimento da água subterrânea, possuindo quase o mesmo papel do acamamento das rochas sedimentares (NEVES, 2005).

Por isso os litotipos foram determinados valores de 50% do valor máximo de adequabilidade, onde o valor atribuído para Ortognaisse, Paragnaisse e Milonito foi de 130, e Granito, Granitoides, Diorito e Migmatito, o valor de 60. O migmatito por ser encontrado em alto grau metamórfico e ter passado por um processo de fusão parcial e recristalização se encontra no grupo de menor adequabilidade. Foi ainda considerado o valor máximo de adequabilidade (255) para coberturas sedimentares (SOLA, 2009).

Quanto ao fator Densidade de Lineamentos, Reginato e Strieder (2006) o consideraram como principal fator na prospecção de aquíferos fraturados para Formação Serra Geral, concluindo que os condicionantes estruturais dos aquíferos fraturados da região estão intrinsecamente relacionados com as estruturas geológicas.

Analisando-se o mapa de fator Densidade de Lineamentos, as áreas mais favoráveis estão localizadas na porção centro sul do mapa, porém é possível encontrar áreas com alta adequabilidade por toda a área, e áreas com baixa favorabilidade na porção oeste do mapa, na região do Caparaó. Próximo ao Oceano Atlântico há uma área com adequabilidade média a alta,

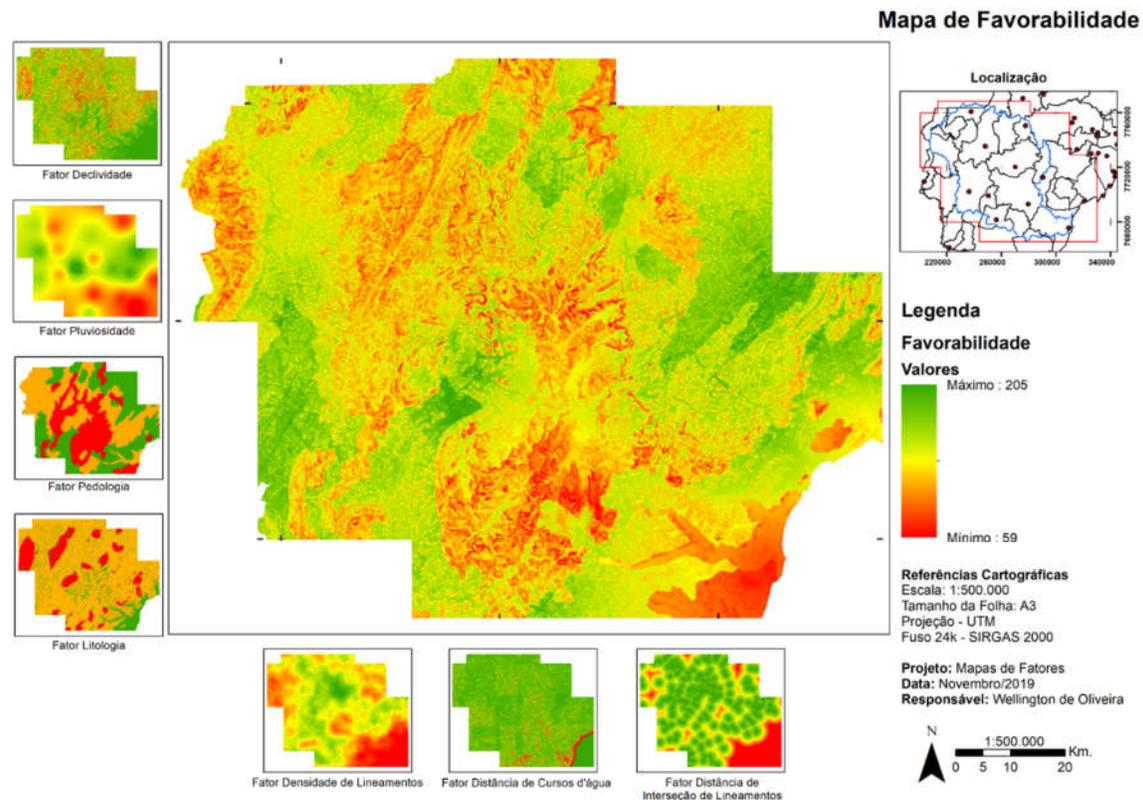
## Favorabilidade para prospecção de água subterrânea na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, município de Cachoeiro de Itapemirim, ES, utilizando geoprocessamento

que ocorre devido à baixa declividade e presença de cobertura sedimentar, porém, a falta de lineamentos faz com que a adequabilidade não seja ideal

Quanto ao fator Proximidade de Cursos d'água, foi considerado que a mata ciliar que fica às margens de rios é de fundamental importância no processo de recepção da água precipitada sobre o solo, facilitando o processo de infiltração (BRANDÃO; PRUSKI; SILVA, 2002). Quase todo mapa foi considerado com adequabilidade máxima devido à alta densidade de drenagens na região de estudo, com exceção de pequenas áreas ao sul do mapa e nas bordas do litoral. Quanto ao fator Proximidade das interseções dos lineamentos, Madrucci, Taioli e Araujo, (2008) estudaram a influência da distância das intersecções de lineamentos e produtividade de poços na região leste do estado de São Paulo e concluíram que existe a influência da presença destes na produtividade. O mapa de fator considerou praticamente toda a área de estudo com alta e média adequabilidade, somente algumas áreas mais a noroeste e no centro tiveram baixa adequabilidade. Por essa razão, esses últimos fatores tiveram menor peso neste trabalho.

Analisando o mapa final de favorabilidade (Figura 4) observa-se que as regiões com menor favorabilidade se encontram a noroeste, na região do Caparaó além de uma zona expressiva na região central do mapa, e sentido sul que coincide com áreas de maior declive, fator de maior peso na análise, assim como os solos de média a baixa adequabilidade. E a sudeste da área próximo ao litoral, coincidindo com áreas de menor precipitação.

As áreas mais favoráveis estão em menor área e localizadas a Leste e Nordeste, próximo ao litoral, a oeste próximo à região do Caparaó e no centro este do mapa. Onde ficam localizados os municípios de Guaçuí, Divisa entre Alegre e Castelo, Alfredo Chaves, Anchieta, Piúma, Conceição do Castelo e Venda Nova do Imigrante.



**Figura 4.** Mapa Final de Favorabilidade Hidrogeológica da área de estudo.

## CONCLUSÃO

A utilização do método se mostrou eficaz para o tipo de análise realizada, permitindo a integração de dados fisiográficos que influenciam na disponibilidade de água subterrânea evidenciando áreas mais favoráveis a esse tipo de prospecção.

No decorrer da composição do trabalho, diversos pontos de vista foram analisados para estabelecer a compreensão em relação à ordem de importância dos fatores. A declividade controla o processo de escoamento, onde áreas com menores declives têm maior taxa de infiltração. A intensidade da precipitação altera a quantidade de volume de água disponível para recarga dos aquíferos nas bacias. A presença de cobertura de solos que favorece o processo de infiltração das águas meteóricas. O litotipo condicionado pela presença de descontinuidades e a densidade de lineamentos que pode expor indiretamente o potencial de água subterrânea numa determinada área.

Para o mapa de precipitação foi utilizado a série histórica de 1997 a 2006, por isso é importante ressaltar que a média de pluviosidade desses anos pode variar, alguns anos podem ter maiores precipitações do que outros, assim como variar também a região de maior precipitação.

Apesar dos Lineamentos serem um fator importante para recarga de aquíferos, a escala utilizada assim como a cobertura vegetal podem mascarar esses dados influenciando o mapa final. Por isso o Mapa de Favorabilidade poderá ser refinado e aplicado em áreas menos extensas futuramente, adotando novos pesos para os fatores ou com a adição de outros fatores, como a cobertura vegetal. O fator pedologia pode ser reclassificado, numa escala de maior detalhe, assim se atribuiria novas classes de solo que poderiam influenciar na acurácia do resultado.

Recomenda-se o uso de técnicas de validação como mapa de produtividade de poços existentes, uso de ferramentas geofísicas, hidrogeoquímicas e isotópicas, para fins de refino da análise.

## REFERÊNCIAS

AGERH – Agência Estadual de Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do estado do Espírito Santo**. Caderno Diagnóstico, 2018. Disponível em: <<https://perh.es.gov.br/>>. Acesso em: 8 dez. 2019, 11:15.

AYER, J. E. B.; GAROFALO, D. F. T.; PEREIRA, S. Y. **Uso de geotecnologias na avaliação da favorabilidade hidrogeológica em aquíferos fraturados**. Águas Subterrâneas, v. 31, n. 3, p. 154-167, 2017.

BARRETO, A. B. C; MONSORES, A. L. M.; PIMENTEL, J. **Modelo de favorabilidade hidrogeológica em aquíferos fissurais -A utilização de técnicas de geoprocessamento no cristalino do estado do Rio de Janeiro**. Águas Subterrâneas, 2000.

BENDA, F. **Favorabilidade de áreas para implantação de aterros controlados no município de Campos dos Goytacazes/RJ utilizando sistemas de informação geográfica**. 2008. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia Civil, Campos dos Goytacazes, 2008.

BENDA, F.; ALVES, M. da G.; OLIVEIRA, C. H. R. de. **Favorabilidade de áreas para implantação de aterros controlados no município de Campos de Goytacazes/RJ utilizando**

**Favorabilidade para prospecção de água subterrânea na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, município de Cachoeiro de Itapemirim, ES, utilizando geoprocessamento**

**sistemas de informação geográfica.** Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, n. 64, p. 33-44, 2012.

BRANDÃO, V. S.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo.** Viçosa: UFV, 98 p., 2002.

HARIDAS V. R.; ARAVINDAN S.; GIRISH G. **Remote sensing and its applications for groundwater favorable area identification.** Quarterly Journal of GARC, 6 pp. 18-22 ,1998.

KER, J. C. **Latossolos do Brasil: uma revisão.** Revista Geonomos, v. 5, n. 1, 1997.

MADRUCCI, V.; TAIOLI, F.; ARAUJO, C. **Groundwater favorability map using GIS multicriteria data analysis on crystalline terrain.** São Paulo State, Brazil. Journal of Hydrology, Amsterdam, v. 357, p. 153-173, 2008.

MAGESH N.S; CHANDRASEKAR N, J. **Identification of groundwater recharge zones in Vaigai upper watershed, Tamil Nadu, using GIS-based analytical hierarch process (AHP) technique.** M. S. U. Centre for Geotechnology, Tirunelveli, Tamil Nadu 627012, India, Arabia Geosciences, 2012.

NEVES, M. A. **Análise integrada aplicada à exploração de água subterrânea na Bacia do Rio Jundiá (SP).** 2005. Xiv, 200 f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2005.

OH, H. J.; KIM, Y. S.; CHOI, J. K.; PARK, E.; LEE, S. E. **GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City, Korea.** Journal of Hydrology, v. 399, n. 3-4, p. 158-172, 2011.

PIMENTA, L. B. **Espacialização das áreas favoráveis à expansão da fronteira agrícola no Estado do Pará: uma avaliação multicritério apoiada por geoprocessamento.** Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) Universidade do Estado do Pará. Centro de Ciências Naturais e Tecnologia. Belém-PA, 2018.

PINTO, D.; SHRESTHA, S.; BABEL, M. S.; NINSAWAT, S. **Delineation of groundwater potential zones in the Comoro watershed, Timor Leste using GIS, remote sensing and analytic hierarchy process (AHP) technique.** Applied Water Science, v. 7, n. 1, p. 503-19, 2017.

REATTO, A.; MARTINS, E. D. S.; FARIAS, M. F. R.; DA SILVA A. V.; CARVALHO, O. A. J. **Mapa pedológico digital: SIG atualizado do Distrito Federal escala 1: 100.000 e uma síntese do texto explicativo.** Embrapa Cerrados-Documents (INFOTECA-E), 2004.

REGINATO, P. A. R.; STRIEDER, A. J. **Integração de dados geológicos na prospecção de aquíferos.** Águas Subterrâneas, v. 20, n. 1, 2006.

RIBEIRO FILHO, R. B.; **Utilização de Análise Multicritério para delimitação de áreas favoráveis a Prospecção de água subterrânea no Sul do estado do Espírito Santo.** Monografia. Universidade Federal do Espírito Santo, 2014.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P.K. T; ANJOS, L. H. C; OLIVEIRA, V. A. V; LUMBRERAS, J. F; COELHO, M. R; ALMEIDA, J. A; ARAUJO FILHO, J. C; OLIVEIRA, J. B; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** – 5. Ed., ver. e ampl. – Brasília, DF: EMBRAPA, 2018.

SANTOS, J, N; PEREIRA, E. D. Carta de susceptibilidade a infiltração da água no solo na sub-bacia do rio Maracanã-MA. **Cadernos de Pesquisa**, 2013.

SOLA, A. M. **Petrogênese dos migmatitos e leucogranitos da serra de Molinos, Salta, NW da Argentina: considerações com base na geocronologia U-Pb in situ (ICP-MS) em zircão, Isótopos Nd-Sr e modelagem geoquímica**. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília. Instituto de Geociências, 2009.

VIDAL, A. C.; ROSTIROLLA, S. P.; KIANG, C. H.; MARTINI, M. L. **Estudo da relação entre lineamentos estruturais e a exploração de água subterrânea por meio da análise de favorabilidade**. Águas Subterrâneas, v. 20, n. 2, 2006.

YOUSIF, M. **Hydrogeological inferences from remote sensing data and geoinformatic applications to assess the groundwater conditions: El-Kubanyia basin**. Western Desert, Egypt. Journal of African Earth Sciences, v. 152, p. 197-214, 2019.



## Capítulo 6

**Proposta de Roteiro Geoturístico na região do Parque Estadual da Pedra Azul –  
município de Domingos Martins (ES)**

*Deivison Roriz de Araújo<sup>1</sup>; Mirna Aparecida Neves<sup>2</sup>*

**RESUMO.** O Parque Estadual Pedra Azul (PEPAZ) é uma importante unidade de conservação da natureza do estado do Espírito Santo, localizada no município de Domingos Martins. Ali estão presentes os maciços rochosos da Pedra Azul, Pedra das Flores e Pedra do Lagarto. Atividades vinculadas ao Agroturismo e ao Ecoturismo já são de grande sucesso na comunidade capixaba, especialmente nessa região do Estado. Desta forma, a Pedra Azul tem grande potencial geoturístico, pois possui registros geológicos que podem ser amplamente explorados para atrair maior número de visitantes. O Geoturismo é uma atividade de grande potencial para a divulgação do conhecimento geológico e para a geoconservação. O Brasil possui alto potencial para a prática do Geoturismo, sendo que alguns estados já trabalham nesta vertente; porém, o estado do Espírito Santo, apesar da rica variedade de monumentos geológicos, não tem ainda a disseminação de atividades turísticas voltadas ao tema. Neste sentido, o objetivo desse trabalho foi realizar o levantamento de dados no Parque Estadual Pedra Azul e em parte da área de amortecimento delimitada em seu Plano de Manejo, registrando informações geológicas a serem transmitidas de maneira simples e didática aos turistas. Além da elaboração de trajetos e descrição de pontos de visitação, foi elaborado um folder informativo para ser distribuído aos visitantes. O maciço rochoso da Pedra Azul ou Complexo Pedra Azul é um maciço granitoide formado por mistura de magmas contrastantes, intrudido em rochas metamórficas que compõem o embasamento da crosta terrestre. Várias feições geológicas vinculadas ao processo de intrusão e evolução dessas rochas podem ser vistas ao longo dos trajetos propostos e explicadas de maneira simples ao visitante. As belezas paisagísticas podem ser usadas para introduzir conhecimentos quanto à ação do intemperismo, evolução do relevo, movimentos de massa etc., além de aspectos ligados às interações entre rocha, solo, água e o meio biótico. Esse tipo de atividade agrega valor ao turismo, principal atividade e fonte de renda dos moradores locais e estimula a conservação ambiental e da geodiversidade, promovendo a interação entre a Geologia e a Ecologia.

**PALAVRAS-CHAVE.** Geodiversidade, Geoturismo, Monumento Geológico, Turismo.

**INTRODUÇÃO**

O município de Domingos Martins detém uma importante unidade de conservação da natureza do estado do Espírito Santo conhecida como Parque Estadual Pedra Azul (PEPAZ), com 1240 hectares. Foi criada em 1991 para proteção do patrimônio natural da região, como citado pelo Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (IDAF, 2004). Destaque é dado à Pedra Azul, uma formação rochosa com 1822 m de altura, além da Pedra das Flores, Pedra do Lagarto e várias piscinas naturais que atraem turistas de vários locais. A Pedra Azul é o principal ponto turístico e motivo de encanto para os visitantes, com suas

<sup>1</sup>**Geólogo formado pela Universidade Federal do Espírito Santo, atualmente trabalha no Banco Safra, em Uberlândia (MG) - deivisonroriz@gmail.com;**

<sup>2</sup>**Professora do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Espírito Santo - mirna.neves@ufes.br**

## Proposta de Roteiro Geoturístico na região do Parque Estadual da Pedra Azul – município de Domingos Martins (ES)

variações de cor, quando há incidência de luz solar. O Agroturismo tornou-se realidade ao longo dos anos, viabilizando a criação da Associação Turística da Pedra Azul (ATPA, 2015).

O parque está situado no corredor central da Mata Atlântica, em uma área de relevante interesse para a conservação da biodiversidade (IDAF, 2004). É gerenciado pelo Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (IEMA) em parceria com o Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (IDAF). Apresenta riquezas quanto à fauna e flora, possuindo diversas espécies, tais como: macaco-prego, tatu, tamanduá de colete, jaguatirica, tucano, araponga, veado catingueiro, mão pelada, trinca ferro, sabiá, além de animais ameaçados de extinção como o sagui da serra, a onça pintada e o barbado. A vegetação é representada por orquídeas, bromélias, ingás, cedros, cássias, ipês, canjeranas, canela e representa a segunda maior cobertura de Mata Atlântica do país (ATPA, 2015). O Plano de Manejo do Parque Estadual da Pedra Azul busca orientar a conservação da biodiversidade e do patrimônio natural na região (IDAF, 2004).

É neste contexto que este trabalho foi conduzido, visando estudar parte da área de amortecimento do Plano de Manejo do Parque Estadual Pedra Azul, com o intuito de reunir informações geológicas que possam ser transmitidas de maneira simples e didática aos turistas. O objetivo geral do trabalho foi elaborar produtos para prática de geoturismo, buscando transmitir conhecimento geológico de forma simples e didática ao público e agregando valor à atividade turística da região. Para isso, foi elaborado um roteiro com pontos de visitação onde podem ser observadas feições de interesse geológico e um folder informativo para ser disponibilizado aos turistas.

### LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área de estudo localiza-se na região serrana do estado do Espírito Santo, compreendendo o maciço Pedra Azul, no município de Domingos Martins (Figura 1). Esta área envolve o Parque Estadual Pedra Azul, que dista, aproximadamente, 100 km de Vitória, capital do Espírito Santo. O acesso é realizado por meio de 8,5 km de uma estrada pavimentada, conhecida como Rota do Lagarto, que inicia no km 88 da rodovia BR-262, próximo a Casa do Turista, ligando-a à rodovia ES-164 (Figura 1).

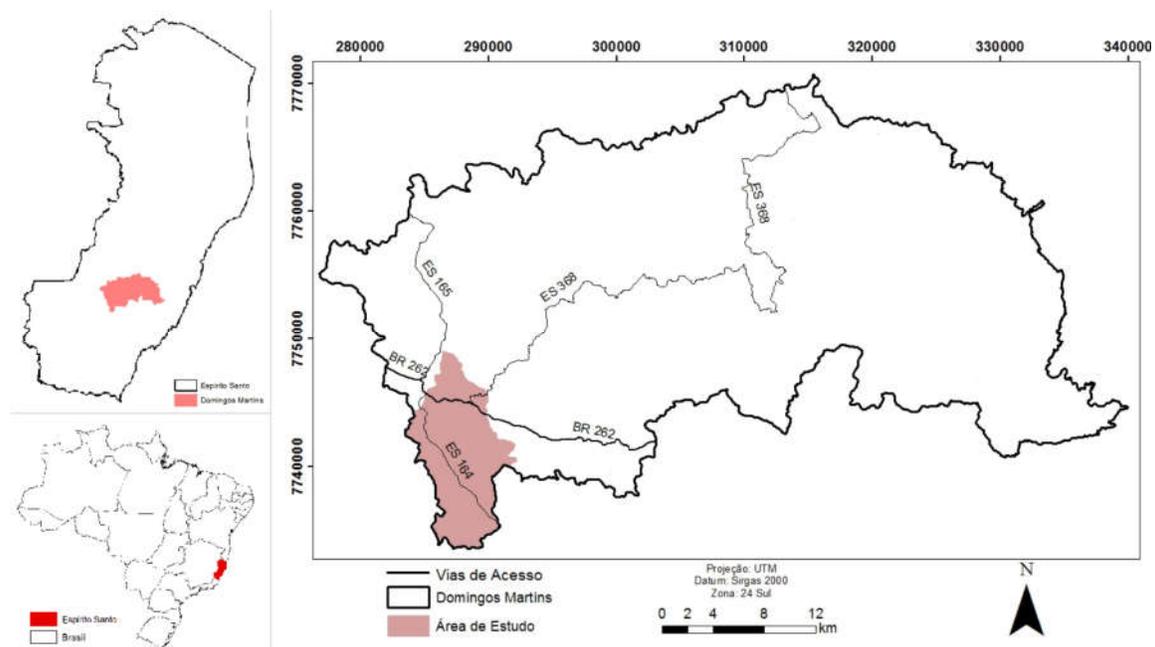


Figura 1. Localização e vias de acesso ao parque estadual Pedra Azul.

**REFERENCIAL TEÓRICO**

Segundo Moreira (2010), o Geoturismo é definido como um segmento de turismo em áreas naturais, com interesse em aspectos geológicos e geomorfológicos de determinados locais. O tema está relacionado ao fato de disponibilizar meios e serviços interpretativos com intuito de promover valores e benefícios sociais de sítios geológicos e geomorfológicos, garantindo a conservação, turismo e outras atividades (MANSUR, 2010). O conceito de Geoparque tem origem por volta do século XVII, quando visitas em cavernas e minas em Peak District, Reino Unido passaram a ser realizadas (MANSUR, 2010).

A geodiversidade deve ser conservada como elemento essencial do patrimônio natural e utilizada para fins científicos, culturais, didáticos e geoturísticos (GODOY et al., 2013 apud MOURA-FÉ, 2015). O Geoturismo tornou-se um segmento promissor das atividades turísticas, promovendo a conservação da geodiversidade em harmonia com valores: intrínseco, cultural, estético, econômico, funcional, científico e didático (MOCHIUTTI et al., 2012).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), os geoparques necessitam gerar atividades econômicas por meio do turismo, envolver sítios geológicos de importância científica e participar de um conceito integral de proteção, educação e desenvolvimento sustentável. No Brasil, o geoturismo teve início em 1997, por meio do Grupo de Trabalho Nacional de Sítios Geológicos e Paleobiológicos.

O estudo e definição da evolução geológica e geomorfológica da região tende a colaborar para a determinação de processos que, possivelmente, contribuíram para a origem de distintas formações geológicas ao longo do tempo. Assim, a exploração eficiente das informações a diferentes públicos, estimula o conhecimento geológico e consequentemente colabora com o desenvolvimento turístico da região.

O Brasil possui alto potencial para prática do Geoturismo. No estado do Rio de Janeiro esta atividade é reconhecida por meio do Projeto Caminhos Geológicos, realizado pelo Serviço Geológico do Rio de Janeiro (DRM/RJ). O estado do Paraná divulga e desenvolve o Geoturismo através da MINEROPAR, com o Projeto Sítios Geológicos e Paleontológicos do Paraná. Outros estados também caminham para o desenvolvimento desta prática, como o Rio Grande do Norte, Bahia, São Paulo e Mato Grosso do Sul.

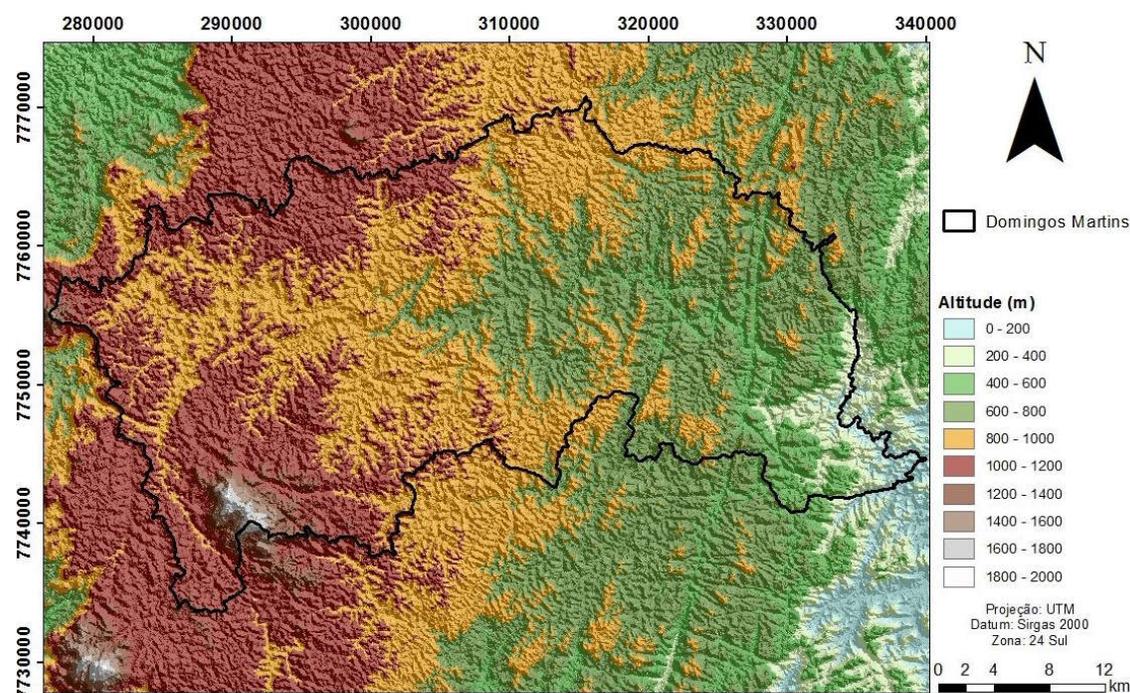
No estado do Espírito Santo, existem vários monumentos geológicos potenciais ao Geoturismo como o Alto Caparaó, Cachoeira da Fumaça, Cachoeira de Matilde, Dunas de Itaúnas, Monumento Natural de Pancas, Frade e a Freira, Pedra da Cebola, Pedra Roxa, Pico do Forno Grande dentre outros. Ainda assim, o Estado ainda precisa explorar, desenvolver e implementar atividades turísticas voltadas ao conhecimento geológico.

A região do Parque Estadual da Pedra Azul apresenta grande interesse geológico e foi descrito e denominado por Costa-de Moura et al. (1999, apud CAMPOS et al., 2004), como Complexo Pedra Azul. O autor atribui ao Complexo o fato de ser uma intrusão que cobre aproximadamente 200 km<sup>2</sup>, formada por mistura de magmas contrastantes. Ocorrem ali diorito a sienogranito de granulação média, além de quartzitos e silimanita gnaisses aluminosos. Uma zona de migmatização separa os litotipos ígneos das rochas envolventes, apresentando intrusões e fusão parcial das unidades metamórficas (CAMPOS et al., 2004). Nas regiões fronteiriças e no centro do Complexo, ocorre monzogranito de granulação média constituindo o envelope magmático externo da estrutura, que constitui os picos mais altos. As rochas de composição tonalítica a granodiorítica cortam o plúton ao centro e apresentam zonas de mistura marcando o contato entre o monzogranito e as rochas anteriormente citadas. Ainda segundo Campos et al. (2004), ocorre na fronteira norte próximo ao distrito Aracê, uma exposição de composição granítica com cerca de 6 km<sup>2</sup>. A mistura magmática de veios graníticos e xenólitos presentes é caracterizada pela ocorrência de rochas hospedeiras e pequenos xenólitos de quartzito silimanita e granada-biotita gnaiss, abrangendo uma zona de aproximadamente 1 km de

## Proposta de Roteiro Geoturístico na região do Parque Estadual da Pedra Azul – município de Domingos Martins (ES)

largura no interior do plúton. O último evento no Complexo Pedra Azul, é caracterizado pela intrusão de unidades de sienogranito ocellar, textura formada por quartzo e k-feldspato, além de porções com enriquecimento em titanita, biotita, magnetita e alanita em uma zona de fratura NW-SE (CAMPOS et al., 2004).

Um aspecto importante a ser abordado é a geomorfologia da área, de grande interesse geoturístico tendo em vista a beleza cênica da região. O Espírito Santo possui grandes variações altimétricas, que podem ser observadas em um percurso do litoral à região serrana, onde se situa o Parque Estadual da Pedra Azul. O município de Domingos Martins está inserido nas Unidades de Patamares escalonados do Sul Capixaba, Maciços do Caparaó I e II. Essas unidades geomorfológicas apresentam modelado intensamente dissecado, com altitudes médias de 600 m e grandes maciços rochosos (Figura 2).



**Figura 2.** Mapa hipsométrico do município de Domingos Martins (ES). O Parque Estadual da Pedra Azul situa-se na porção com altitudes mais elevadas, na porção sudoeste do município.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para definição do trajeto de campo e das áreas potenciais para o geoturismo na área foi realizado o processamento de imagens aéreas. Alguns dados utilizados nas confecções de mapas para os trabalhos de campo e relatório final foram adquiridos por meio do portal do Geobases (IJSN, 2015), como curvas de nível, drenagem, limites, vias de acesso e ortofotos. O mapa geológico em escala 1:400.000, disponibilizado pelo Serviço Geológico Brasileiro – CPRM (VIEIRA et al., 2013), assim como o mapa geológico do Complexo Intrusivo Pedra Azul (CAMPOS et al., 2004), foram utilizados para verificação dos tipos litológicos e estudo da evolução tectônica regional.

Por meio do *software* Spring 5.2.7 e com imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) do Estado do Espírito Santo, foi gerado um mapa hipsométrico. No ArcGis 10.3, foram confeccionados mapas de localização e vias de acesso, limites políticos, pontos de visitação e o roteiro geoturístico proposto para a área de estudo.

Foram realizadas visitas à área de estudo para o levantamento do potencial geoturístico, com observação dos afloramentos rochosos e das feições de relevo interessantes para a inclusão no roteiro geoturístico. As informações levantadas nos pontos visitados foram compiladas buscando feições atrativas do ponto de vista geoturístico, definindo-se qual seria a abordagem didática para melhor entendimento por parte do público leigo. Foram anotados e fotografados os atrativos de beleza cênica e de conteúdo didático, como as feições litológicas, estruturais, intempéricas, de relevo e relacionadas aos recursos hídricos.

Foram registrados 11 pontos de observação, agrupados em 4 trajetos propostos para serem percorridos durante a visita, sendo o primeiro com um ponto, o segundo 4 pontos, o terceiro 3 pontos e o quarto com 3 pontos. Para o registro de coordenadas foi utilizado o GPS (*Global Positioning System*) modelo Garmin Etrex no datum SIRGAS 2000 com projeção UTM (Universal Transversa de Mercator).

Os pontos selecionados para visita foram descritos buscando uma compreensão facilitada e didática para melhor interação com diferentes públicos. Por fim, foi elaborado um *folder* com orientações ao visitante do Parque.

### RESULTADOS

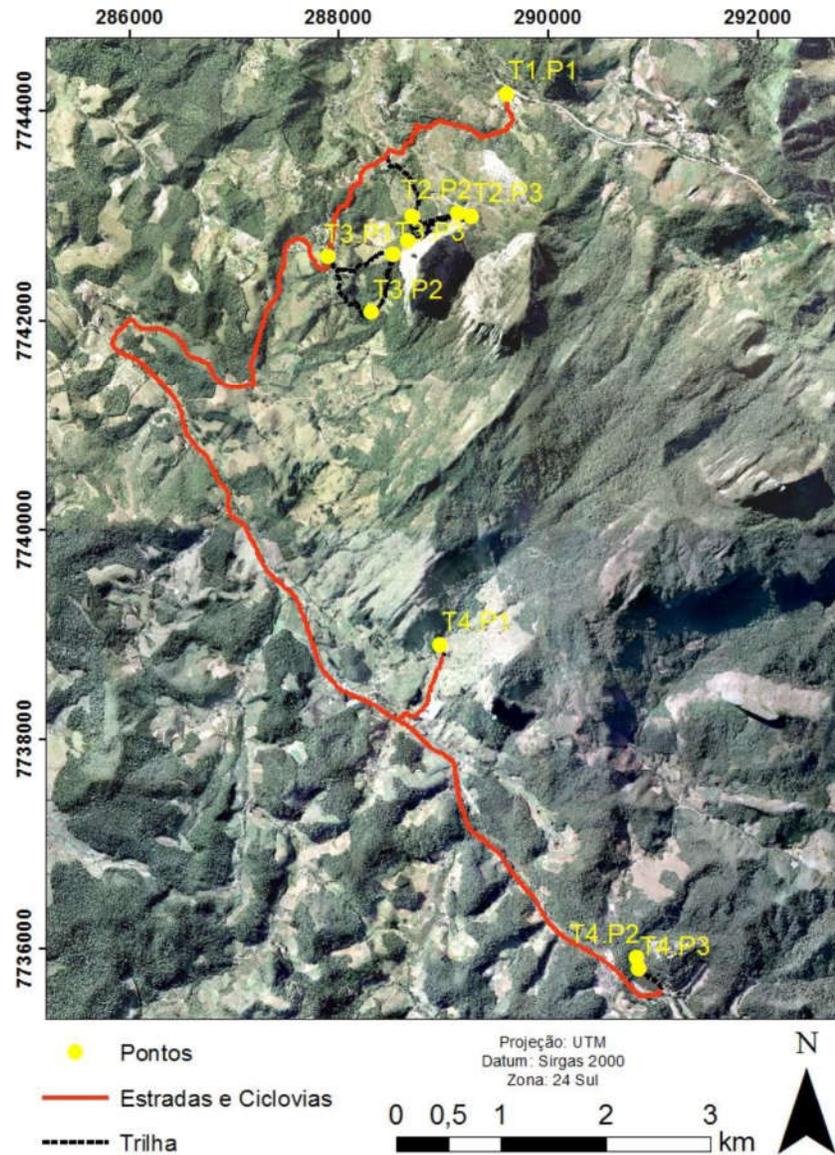
O reconhecimento da área e realização de todas as etapas propostas neste trabalho propiciaram a elaboração de um roteiro geoturístico. O roteiro apresenta quatro trajetos que representam diferentes formas de visita; esta divisão foi aplicada considerando a dificuldade do acesso e locomoção de diferentes tipos de público. Dentro de cada trajeto existem pontos, onde são abordadas algumas feições ou estruturas interessantes para a prática geoturística. Os trajetos propostos são: trajeto 1, trajeto 2, trajeto 3 e trajeto 4, os quais podem ser realizados em parte por automóveis, motos e a pé, seguindo os caminhos indicados no roteiro geoturístico (Figura 3).

No trajeto 1, o visitante tem acesso a informações referentes à região, ao geoturismo e ao roteiro geoturístico. O trajeto 2 compreende as trilhas no Parque Estadual da Pedra Azul, onde o visitante pode observar diferentes feições geológicas. Já no terceiro trajeto, o visitante tem acesso a trilhas no Ecoparque Pedra Azul Aventura, onde ocorrem outros tipos feições geológicas e belas paisagens. O último trajeto inclui passagem pela propriedade do Hotel Fazenda Monte Verde, dotada de quedas d'água e feições geológicas interessantes. Segue a descrição dos trajetos.

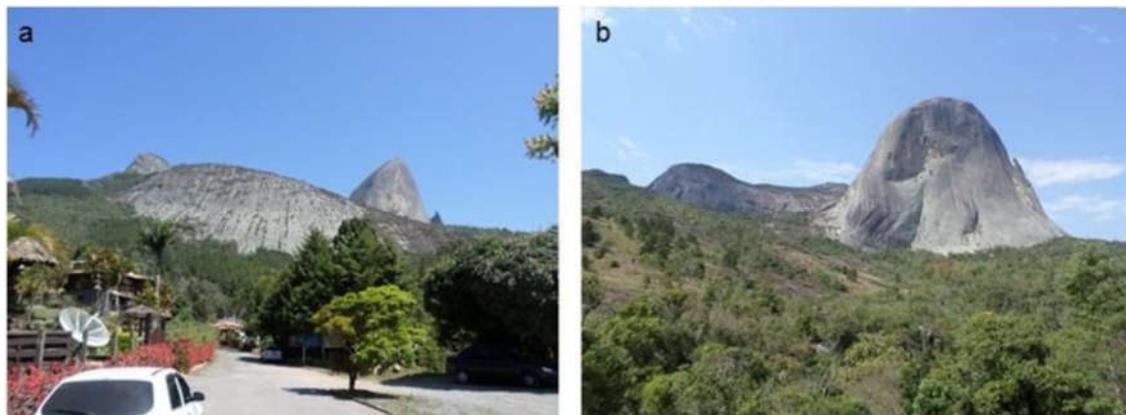
#### Trajeto 1

O primeiro trajeto representa o ponto inicial do roteiro, localiza-se no início da Rota do Lagarto e próximo à Casa do Turista. Esta etapa compreende um ponto de observação, onde pode-se avistar a Pedra Azul, Pedra das Flores e obter informações introdutórias sobre a geologia da região, o geoturismo, a localização dos pontos e roteiro de visita. Neste ponto atenta-se para a forma da Pedra Azul e Pedra das Flores que foram esculpidas ao longo de milhões de anos por ações intempéricas e erosivas. Estes processos resultaram em formas exóticas e de beleza singular, como a Pedra do Lagarto anexa à Pedra Azul e feições esculpidas na superfície da Pedra das Flores (Figura 4).

**Proposta de Roteiro Geoturístico na região do Parque Estadual da Pedra Azul – município de Domingos Martins (ES)**



**Figura 3.** Roteiro geoturístico proposto para a região do Parque Estadual da Pedra Azul no município de Domingos Martins (ES).



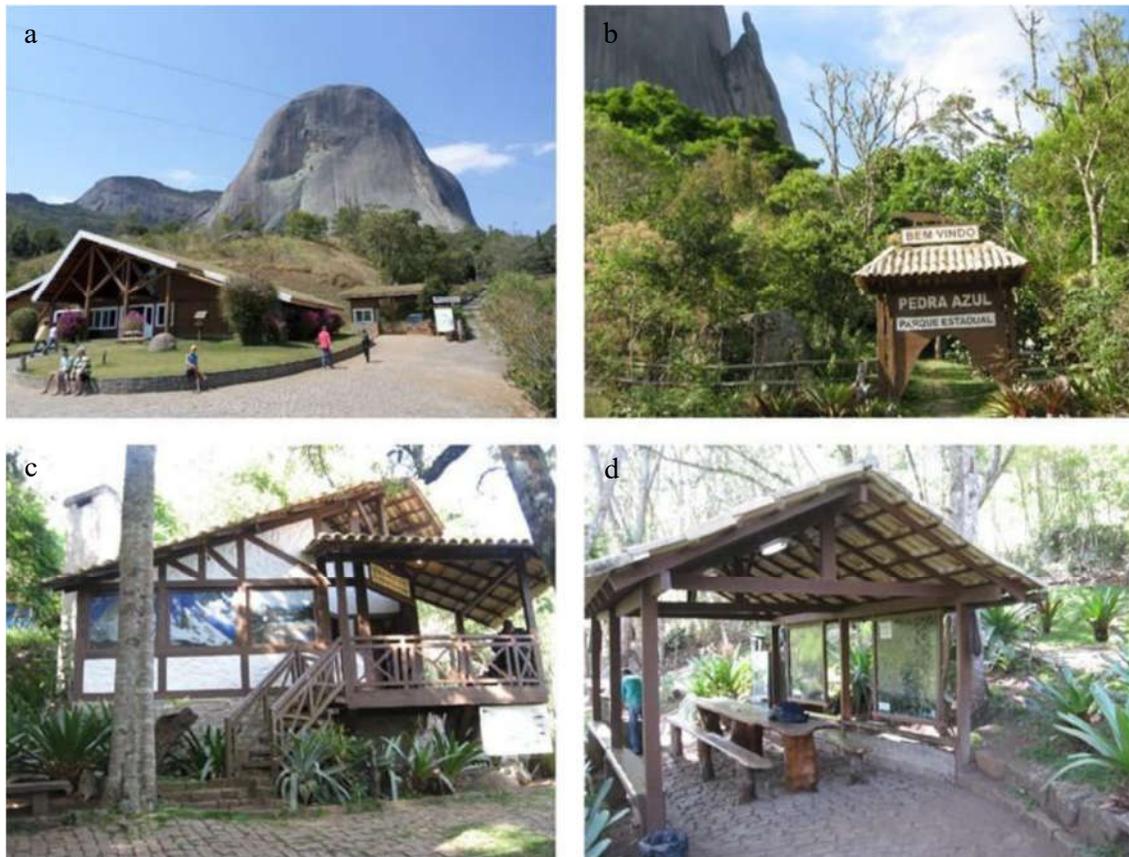
**Figura 4.** (a) Vista da Pedra Azul no início da Rota do Lagarto e (b) vista de outro ângulo da Pedra Azul e Pedra das Flores.

## Trajeto 2

O segundo trajeto fica dentro dos limites do Parque Estadual Pedra Azul (PEPAZ), compreendendo quatro pontos de visitação ao longo da trilha de acesso às piscinas naturais.

O Ponto 1, localizado no início da trilha, permite a observação, análise e diferenciação de amostras de rochas ígneas e metamórficas. As amostras de rochas podem ser apresentadas ao público por um monitor treinado, que poderá salientar suas principais diferenças, como características de formação, textura e estrutura. O local apresenta uma infraestrutura que proporciona bem estar e conforto para o público durante a prática (Figura 5).

Desta forma, pode-se informar aos visitantes que a rocha que compõem a Pedra Azul é granítica, portanto, de origem ígnea, formada cristalização lenta do magma. Este tipo de rocha ocorre em forma de intrusões, que se alojam abaixo da superfície da Terra a milhões ou até bilhões de anos atrás e com o passar do tempo tiveram as camadas rochosas que a envolviam intemperizadas e erodidas. A amostra de rocha metamórfica apresenta textura e composição diferente da amostra ígnea, além de ter linhas bem marcadas conhecidas como foliação gerada por grandes pressões dentro da crosta terrestre. Alguns minerais ressaltam a ocorrência de uma deformação ao longo do tempo geológico. Essa rocha é característica dos tipos litológicos que ocorrem no entorno da Pedra Azul.



**Figura 5.** Infraestrutura do Parque Estadual Pedra Azul: a) Acesso ao Parque, b) portal de recepção, c) casa de apoio e d) estrutura para realização de palestras e descanso.

Após um breve percurso ao longo das trilhas do Parque, chega-se ao Ponto 2. Neste ponto, há um afloramento do tipo lajedo inclinado onde pode-se observar a rocha com grãos de minerais maiores em relação a uma matriz e aparente mistura de magmas com porções claras e

## Proposta de Roteiro Geoturístico na região do Parque Estadual da Pedra Azul – município de Domingos Martins (ES)

outras escuras. Há vista para a Pedra Azul, onde há fraturas e feições esculpidas pela ação da água, além da vegetação que se desenvolve na superfície da rocha (Figura 6). A vegetação a partir deste ponto tende a ser rupestre e as bromélias e os líquens estão espalhados pela rocha evidenciando a interação da geologia com a flora da região, além de compor uma paisagem de rara beleza.



**Figura 6.** Afloramento do tipo lajedado, onde pode-se realizar escalada e visualizar: a) Pedra do Lagarto com coloração típica e feições esculpidas pela ação da água, b) vegetação predominante, c) rocha granítica com grãos de minerais maiores em relação à matriz e d) fraturas por intemperismo físico.

Após escalar o lajedado com auxílio de uma corda de segurança e com mais alguns metros de caminhada, pode-se acessar o Ponto 3. Neste, observa-se feições de intemperismo gerando esfoliação e marmitas, além de veios e fraturas na rocha (Figura 7). O magmatismo que deu origem às rochas da Pedra Azul, ocorreu com a ascensão do magma na litosfera em forma de plúton, a presença de veios na rocha remete a este tipo de fenômeno, mas teve origem posterior à formação da rocha granítica, que passou por processos de refusão e recristalização. As fraturas marcam a tendência deste tipo de rocha a romper-se quando submetida à deformação, após solidificada e em níveis crustais superiores. Já o intemperismo atua facilitando a desagregação de grandes blocos de rocha, assim como esculpindo buracos que na linha de drenagem são preenchidos por água e conhecidas como “marmitas”. Estas marmitas são conhecidas por moradores e turistas como piscinas naturais, um dos principais atrativos turísticos da região.



**Figura 7.** a) Feições erosivas, ação do intemperismo gerando esfoliação, b) e c) piscinas naturais do Parque Estadual Pedra Azul e d) dique félsico com presença do mineral magnetita na rocha encaixante.

O último ponto deste trajeto está localizado na trilha de retorno, onde pode-se caminhar lateralmente à base da Pedra Azul e observar feições intempéricas e erosivas. Também se observa a esfoliação esferoidal que acelera a desagregação da rocha, o contraste entre a vegetação característica de superfícies rochosas e a vegetação de maior porte estabilizada nas camadas de solo, além da vista da Pedra do Lagarto com fraturas que servem de abrigo para diversas aves. Um fato interessante e colaborador do intemperismo, principalmente na Pedra do Lagarto, é a grande quantidade dos dejetos de aves nas fraturas, estes por possuírem características ácidas podem acelerar o processo de intemperismo químico.

### Trajeto 3

O terceiro trajeto está em uma propriedade particular onde se desenvolve atividades de aventura. O local é conhecido como Ecoparque Pedra Azul Aventura, onde foram definidos três pontos de visitação abordando um perfil de alteração, depósito de tálus, acesso à Pedra do Lagarto e uma vista para os principais maciços rochosos da região sul do estado.

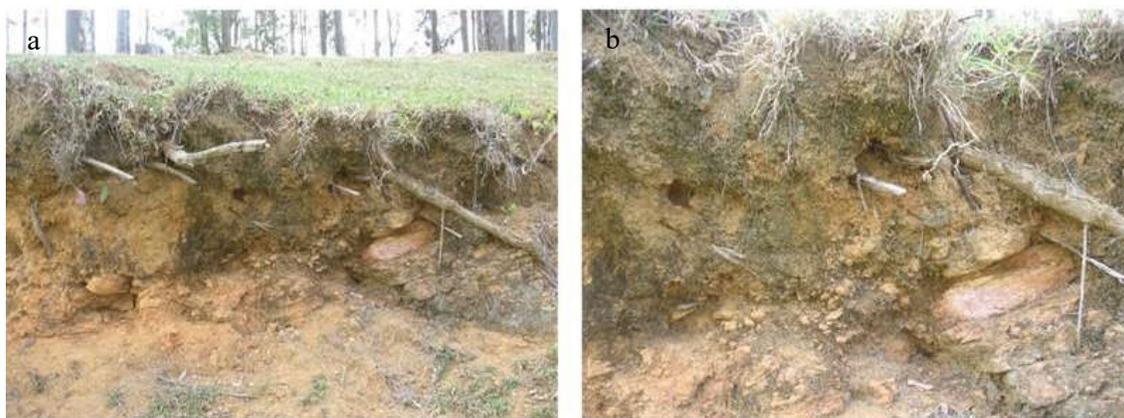
No primeiro ponto, situado na entrada do Ecoparque, há um afloramento em forma de lajedo que compõe a estrada principal (rota do Lagarto) e um corte no barranco às margens da estrada. O lajedo apresenta algumas feições que representam bolsões quartzosos, fraturas e alguns veios. Já no corte de estrada, pode-se observar um perfil de alteração da rocha onde pode-se chamar a atenção para o contraste entre a rocha sã, rocha alterada e o solo (Figura 8).

## Proposta de Roteiro Geoturístico na região do Parque Estadual da Pedra Azul – município de Domingos Martins (ES)



**Figura 8.** a) Vegetação típica, feições erosivas (esfoliação esferoidal) e contraste da relação entre solo e rocha, b) vista da Pedra do Lagarto com destaque para as ações intempéricas provocadas pela ação da água.

Após acessar os limites da propriedade e caminhar alguns metros, chega-se ao Ponto 2, onde é possível visualizar depósitos de tálus e canais de drenagem. Os depósitos de tálus são caracterizados por muitos blocos e matacões que foram intemperizados e deslocados pela ação da gravidade. Também ocorrem depósitos coluviais, que são depósitos de curto transporte com fragmentos menores de rocha. A água colabora para a movimentação de blocos encosta abaixo e pode ocasionar deslizamentos. Nas drenagens, observa-se uma concentração de blocos e matacões empilhados de maneira irregular, caracterizando a dimensão e capacidade de transporte proporcionado pela ação da água e gravidade (Figura 9).



**Figura 9.** Afloramento na Rota do Lagarto, Fazenda Girardi, com depósitos coluviais e de tálus, para visualização de feições relacionadas ao intemperismo e movimentos de massa.

No terceiro e último ponto deste trajeto, há uma bela paisagem com vista para a Pedra Azul, Pedra do Lagarto, Forno Grande, região do Caparaó e Pico da Bandeira. Observa-se a coloração acinzentada da rocha granítica, alguns bolsões quartzosos, zonas que aparentam maior grau de intemperismo, assim como o formato da Pedra do Lagarto, esculpido por ações intempéricas. Destaca-se a ocorrência de líquens na superfície da rocha, que proporcionam uma coloração azulada ao maciço sob incidência de luz solar e atestam a pureza do ar (Figura 10).



**Figura 10.** a) Pedra Azul e Pedra do Lagarto, b) coloração acinzentada e presença de veios, c) vegetação composta por bromélias e d) líquens fixados na superfície rochosa.

No mesmo ponto, há vista para o Pico do Forno Grande, no município de Castelo, com cerca de 2.039 m de altitude, para a região do Caparaó onde há o Pico da Bandeira de cerca de 2.891 m de altitude, localizado no Parque Nacional do Caparaó na divisa dos estados do Espírito Santo e Minas Gerais. A paisagem exhibe a forma montanhosa do relevo (Figura 11).



**Figura 11.** Vista para o Pico do Forno Grande, no lado esquerdo da foto, Pico da Bandeira ao centro e composição montanhosa do relevo.

## Proposta de Roteiro Geoturístico na região do Parque Estadual da Pedra Azul – município de Domingos Martins (ES)

### Trajeto 4

A último trajeto tem início a partir do final da Rota do Lagarto e seguindo a rodovia estadual ES-164 até o Hotel Fazenda Monte Verde. Nesta etapa foram elaborados três pontos de visitação relacionando informações sobre ocorrência de feições características da rocha metamórfica que envolve a Pedra Azul, bem como a foliação, vegetação e a ação da água como agente modelador do relevo.

O Ponto 1 está localizado em uma propriedade particular próxima às margens da Rodovia ES-164 na localidade de São Paulo de Aracê. O ponto apresenta uma pequena queda d'água em meio a blocos e matacões rolados que formam um poço represado artificialmente (Figura 12). Ocorrem fragmentos de rocha metamórfica (xenólitos) imersos ou envolvidos por rocha ígnea. O ponto permite explicar o comportamento de uma câmara magmática, que pode arrancar pedaços da rocha do entorno (chamada encaixante); após o resfriamento do magma gerando a rocha ígnea, são preservados os fragmentos da rocha encaixante, sendo sempre mais antigos que a rocha que os envolve.



**Figura 12.** a) Queda d'água em meio a blocos rolados e b) xenólitos de rocha metamórfica dentro de um corpo de rocha granítica.

A partir deste ponto, retorna-se à rodovia principal, onde a travessia para o segundo ponto pode ser realizada por automóvel ou bicicleta, seguindo a ciclovia que acompanha a estrada. O ponto 2 situa-se na mesma localidade, no Hotel Fazenda Monte Verde, que possui uma das reservas naturais do estado. O ponto apresenta uma cachoeira que tem o curso d'água abastecendo um lago represado artificialmente e as feições encontradas são a foliação característica da rocha metamórfica que envolve a Pedra Azul, veios pegmatíticos, marmitas, dobras e a acumulação de areia em alguns pontos, mostrando o resultado do intemperismo das rochas (Figura 13).

A foliação, estrutura planar gerada pelo metamorfismo, ocorre por todo o afloramento. O ponto ainda apresenta uma variação de cores, separando algumas bandas intercaladas e alguns grãos minerais que servem de indicadores cinemáticos de movimentos tectônicos. Os veios pegmatíticos ocorrem com frequência e por vezes estão dobrados, mostrando também a movimentação da crosta. Há ainda diques máficos, compostos por minerais de coloração escura que também estão dobrados em resposta a esforços durante o metamorfismo dinâmico. Em áreas mais planas do local há marmitas esculpidas pela água; esses buracos são preenchidos por sedimentos transportados pela água, que também formam praias nas margens do rio.



**Figura 13.** a) Cachoeira com curso d'água abastecendo um lago, b) acúmulo de sedimentos ao longo do curso d'água, c) veios pegmatíticos e diques, d) bandamento metamórfico.

O Ponto 3 deste trajeto localiza-se a poucos metros do ponto anterior, apresentando uma vegetação densa e representativa do bioma Mata Atlântica (Figura 14), com plantas e árvores de maior porte, diferente da vegetação rupestre que ocorre em maiores altitudes da Pedra Azul. A região é rica em cursos d'água que exercem uma importante função no ciclo de renovação geológica, com destruição de rochas, transporte de fragmentos e deposição nas áreas baixas onde, com o passar do tempo geológico podem ser geradas as rochas sedimentares.



**Figura 14.** a) Drenagem e deposição de sedimentos, b) vegetação com árvores de maior porte.

# Proposta de Roteiro Geoturístico na região do Parque Estadual da Pedra Azul – município de Domingos Martins (ES)

## CONCLUSÃO

O produto deste trabalho é a descrição de um trajeto de interesse geológico no Parque Estadual da Pedra Azul e a montagem e editoração de um folder com explicações simplificadas sobre o que poderá ser observado (Figura 15). O folder apresenta um texto com informações da história geológica, com os principais eventos que formaram a bela paisagem. Esse material busca transmitir o conhecimento científico em linguagem acessível. O produto tem como objetivo alcançar grande número de pessoas e promover de forma educativa os princípios de geoconservação e a importância do patrimônio geológico para a compreensão do sistema Terra.

A proposta geoturística demonstra que é possível agregar valor ao turismo, buscando maior divulgação da região em nível nacional e internacional. A implantação deste modelo apresenta grande potencial para melhorar o desenvolvimento econômico, social e cultural proporcionando uma nova linha de trabalho a ser explorada. A aproximação com temas científicos é fundamental para a implementação da educação ambiental na Sociedade.



**Figura 15.** Folder explicativo com informações geológicas para distribuição aos visitantes do Parque Estadual da Pedra Azul, município de Domingos Martins (ES).

**REFERÊNCIAS**

ASSOCIAÇÃO TURÍSTICA DA PEDRA AZUL. **A Região**. Disponível em: <http://www.pedraazul.com.br/>. Acesso em: 28 de set. 2015.

CAMPOS, C. P. et al. **A review of the Brasiliano magmatism insouthern Espírito Santo, Brazil, with emphasis on post-collisional magmatism**. Journal of the Virtual Explorer, v. 17, paper 1, 2004. 35p. Disponível em: <<http://virtualexplorer.com.au/>>. Acesso em: 20 de set. 2015.

INSTITUTO DE DEFESA AGROPECUÁRIA E FLORESTAL DO ESPÍRITO SANTO. **Projeto Corredor Central da Mata Atlântica - Plano de Manejo do Parque Estadual da Pedra Azul**. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD. Vitória, 2004. Disponível em: <http://meioambiente.es.gov.br/>. Acesso em 15 de out. 2015.

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES. **Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do Estado do Espírito Santo (GEOBASES)**. Disponível em: <http://ijsn.es.gov.br>. Acesso em: 15 de set. 2015.

MANSUR, K. L. **Diretrizes Para Geoconservação do Patrimônio Geológico do Estado do Rio de Janeiro: o Caso do Domínio Tectônico Cabo Frio**. 2010. 350 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. Rio de Janeiro, 2010.

MOCHIUTTI, N. F. et al. **Os Valores da Geodiversidade: Geossítios do Geoparque Araripe /CE**. Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ. Rio de Janeiro, 2012. p. 173-189.

MOREIRA, J. C. **Geoturismo: uma Abordagem Histórico-Conceitual. Turismo e Paisagens Cársticas**. Campinas - SP, v. 3, n. 1, 2010.

MOURA-FÉ, M. M. **Geoturismo: uma Proposta de Turismo Sustentável e Conservacionista para Região Nordeste do Brasil**. Sociedade e Natureza, v. 27, n. 1, p. 53-66, 2015.

VIEIRA, V. S. et al. **Mapa Geológico do Espírito Santo – Escala 1:400.000**. In: Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral, Ouro Preto, 2014.

