

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

**ANDRÉ LUIZ MIRANDA REIS**

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE GUANO DE  
ANDORINHÃO NA PAISAGEM CÁRSTICA QUARTZÍTICA DA  
SERRA DO CARAÇA, MG.**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS  
2017**

**ANDRÉ LUIZ MIRANDA REIS**

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE GUANO DE  
ANDORINHÃO NA PAISAGEM CÁRSTICA QUARTZÍTICA DA  
SERRA DO CARAÇA, MG.**

Monografia, apresentada ao curso de Geografia da Universidade Federal de Viçosa como requisito para obtenção do título de bacharel em Geografia.

Orientador: André Luiz Lopes de Faria

Co-orientador: Nicoló Clemente

**VIÇOSA – MINAS GERAIS  
2017**

**ANDRÉ LUIZ MIRANDA REIS**

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE GUANO DE  
ANDORINHÃO NA PAISAGEM CÁRSTICA QUARTZÍTICA DA  
SERRA DO CARAÇA, MG.**

Monografia, apresentada ao curso de Geografia da Universidade Federal de Viçosa como requisito para obtenção do título de bacharel em Geografia.

Aprovado em de ..... de 2017

---

Prof. André Luiz Lopes de Faria

(Orientador)

(UFV)

---

Mrs. Nicoló Clemente

(Co-Orientador)

(UFV)

---

Prof. Liovando Marciano da Costa

(UFV)

---

Dr. Pablo Azevedo Rocha

(UFES)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que se fez presente em minha vida guiando meu caminho.

Aos meus pais, Josias dos Reis e Antônia da Silva Miranda Reis pelo apoio incondicional. Às minhas irmãs, Andréa Miranda Reis e Jaqueline Miranda Reis por me apoiarem e estarem presentes durante os momentos em que mais precisei, principalmente no ano de 2017, onde os desafios foram ainda maiores.

Ao orientador Prof. André Luiz Lopes de Faria e o co-orientador Nicoló Clemente, sendo importantes para o encaminhamento desta pesquisa, além de ter me apresentado o encanto do meio cavernícola.

Ao Programa de Educação em Solos e Meio Ambiente (PES) do Museu de Ciências da Terra Alexis Dorofeef, por todo aprendizado e por ter me permitido conhecer o grandioso mundo da Ciência do Solo.

Aos laboratoristas do Departamento de Solos, que ajudaram na realização das análises.

Ao Prof. Liovando Marciano da Costa e o Dr. Pablo Azevedo por aceitarem participar da banca de defesa.

A Georgette Dutra, Tiago, José, Vânia e Nicoló que passaram o carnaval 2017 na coleta do guano na RPPN do Caraça.

Ao Santuário do Caraça, SISBIO e Província Brasileira da Congregação da Missão, especialmente a coordenadora ambiental Aline Abreu e de Padre Lauro Palú, que permitiram a realização da coleta de campo.

Aos amigos que conquistei em Viçosa e pelos bons momentos que passamos juntos.

Ao Rodrigo Bernardes, por me ajudar na estatística do trabalho.

E por fim, não menos importante, os andorinhões *Streptoprocne zonaris* e *Streptoprocne biscutata* que contribuíram com seus excrementos para a realização deste trabalho.

GRATIDÃO!

*O ser humano vivencia a si mesmo, seus pensamentos como algo separado do resto do universo - numa espécie de ilusão de ótica de sua consciência. E essa ilusão é uma espécie de prisão que nos restringe a nossos desejos pessoais, conceitos e ao afeto por pessoas mais próximas. Nossa principal tarefa é a de nos livrarmos dessa prisão, ampliando o nosso círculo de compaixão, para que ele abranja todos os seres vivos e toda a natureza em sua beleza. Ninguém conseguirá alcançar completamente esse objetivo, mas lutar pela sua realização já é por si só parte de nossa liberação e o alicerce de nossa segurança interior.*

***Albert  
Einstein***

## RESUMO

A Reserva Particular do Patrimônio Natural do Santuário do Caraça, Minas Gerais, Brasil, encontra-se em uma região serrana que faz parte da província geológica do Quadrilátero Ferrífero. Nessa região o processo de metamorfismo foi intenso, no qual o quartzito sofreu dobramentos e inclinações favorecendo o processo de intemperismo que age preferencialmente nas diáclases da rocha. As extensas fraturas possibilitaram a formação de cavernas proporcionando abrigo para inúmeros andorinhões da espécie *Streptoprocne zonaris* e *biscutata* que repousam nesse ambiente. Esses andorinhões são responsáveis pelo acúmulo de guano no piso da gruta, substâncias fosfatadas e ricas em nitrogênio, sendo a fonte alimentar mais importante para muitos invertebrados no ambiente cavernícola. O objetivo desta pesquisa foi compreender o comportamento da densidade e das características químicas nas camadas de deposição do guano na Gruta do Centenário, Pico do Inficionado. Foram analisadas 22 camadas, distribuídas em sete depósitos na Gruta. A média das diferentes profundidades foi correlacionada com os dados químicos e de densidade. A diversidade correlacionou positivamente com densidade, N, K e Al e negativamente para pH, Ca, Mg, Na, P e carbono orgânico.

**Palavras-chave:** Intemperismo, Cavernas, Depósito de guano, Rochas Siliclásticas, Fosfatos e Nitratos.

## ABSTRACT

The Natural Reserve of the Natural Heritage of Caraça Sanctuary, Minas Gerais, Brazil, is located in a mountainous region that is part of the geological province of the Quadrilátero Ferrífero. In this region the process of metamorphism was intense, in which the quartzite suffered folds and inclinations favoring the process of weathering that acts preferentially in the diacaclases of the rock. The extensive fractures allowed the formation of caves providing shelter for numerous swifts of the species *Streptoprocne zonaris* and *biscutata* that rest in this environment. These swifts are responsible for the accumulation of guano on the floor of the cave, phosphate and nitrogen rich substances, being the most important food source for many invertebrates in the cave environment. The objective of this research was to understand the behavior of density and chemical characteristics in the deposition layers of guano in the Centennial cave, Pico do Inficionado. Twenty - two layers were analyzed, distributed in seven deposits in the Grotto. The mean of the different depths was correlated with the chemical and density data. The diversity positively correlated with density, N, K and Al and negatively to pH, Ca, Mg, Na, P and organic carbon.

**Keywords:** Weathering, Caves, Guano Reservoir, Siliclastic Rocks, Phosphates and Nitrates.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Litologia da Serra do Caraça, MG.....	15
<b>Figura 2.</b> Depósito de guano com a profundidade das camadas coletadas.....	19
<b>Figura 3.</b> Variação da densidade em função da média da profundidade de guano na Serra do Caraça.....	21
<b>Figura 4.</b> Variação na concentração de Ca, Mg e Al em função da média da profundidade de guano na Serra do Caraça.....	22
<b>Figura 5.</b> Variação na concentração de P, K e Na em função da média da profundidade de guano na Serra do Caraça.....	23
<b>Figura 6.</b> Variação na concentração de N e Carbono Orgânico em função da média da profundidade de guano na Serra do Caraça.....	24
<b>Figura 7.</b> Variação do pH em função da média da profundidade das camadas de guano na Serra do Caraça.....	25
<b>Figura 8.</b> Homogeneização das camadas de guano em profundidade.....	25
<b>Figura 9.</b> Campo realizado na Serra do Caraça em fevereiro de 2017.....	37

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1.</b> Camadas de guano coletados nos depósitos.....	18
<b>Tabela 2.</b> Profundidade, análise física e química das camadas de guano da Serra do Caraça.....	30

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	iii
RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	viii
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2. MATERIAL E MÉTODO</b> .....	12
<b>2.1 Caracterização da área de pesquisa</b> .....	12
2.1.1 <i>Localização da área de estudo</i> .....	12
2.1.2 <i>Clima</i> .....	13
2.1.3 <i>Geomorfologia</i> .....	14
2.1.5 <i>Vegetação</i> .....	17
2.1.6 <i>Solos</i> .....	17
<b>2.2 Coleta e identificação das amostras</b> .....	17
<b>2.3 Análise Física</b> .....	20
<b>2.4 Análise Química</b> .....	20
<b>2.5 Determinação de pH</b> .....	20
<b>2.6 Análise Estatística</b> .....	20
<b>3. RESULTADOS</b> .....	21
<b>3.1 Características físicas</b> .....	21
<b>3.2 Características químicas</b> .....	21
3.2.1 <i>Cálcio, Magnésio e Alumínio.</i> .....	21
3.2.2 <i>Fósforo, Potássio e Sódio.</i> .....	22
3.2.3 <i>Nitrogênio e Carbono Orgânico.</i> .....	23
3.2.4 <i>pH</i> .....	24
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	25
<b>4.1 Análise física</b> .....	25
<b>4.2 Análises químicas</b> .....	26
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	31
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	32

## 1. INTRODUÇÃO

As cavernas são indicativas de paisagem cárstica, sendo elemento físico da paisagem complexo e dinâmico em constante modificação, principalmente por ação da água que forma, molda e deposita materiais (GILBERT et al., 1994). Cavernas podem se formar em diferentes litologias, como rochas ígneas e metamórficas, mas ocorrem com maior frequência em ambientes sedimentares (como as de rochas carbonáticas), que são mais solúveis (GINES & GINES, 1992).

Segundo Guerra (1993), cárste é a denominação dada aos fenômenos específicos que ocorrem nas rochas calcárias, como dolinas, poljé, rios sumidores ou alveugles, uvalas, grutas ou cavernas, estalactites, estalagmites etc. Esta denominação foi tomada da região calcária dos Alpes Dinários, Iugoslávia – no Adriático. O cárste é definido pelas suas formas específicas e também pela circulação subterrânea.

Os relevos cárstico perfazem o total de aproximadamente 10% do globo terrestre, sendo que, cerca de 5% a 7% estão no território brasileiro. Constituindo um importante componente nas paisagens do Brasil, o sistema cárstico é tido como uma das mais espetaculares paisagens, com cavernas, cânions, paredões rochosos e relevos ruiformes produzidos pela ação geológica da água subterrânea sobre rochas que possuem características de dissolução. O que o torna detento de um considerável potencial turístico (KARMANN, 2000).

De acordo com o Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil (CNC), atualmente o Brasil possui 6511 cavernas registradas. O 67.5 % das cavernas estão desenvolvidas sobre rocha calcária, seguido de 12.8% de metassedimentares (quartzitos e formação ferrífera). Minas Gerais é o estado que apresenta o maior número de cavernas, com 31% de todo o território brasileiro. O fator litológico é o fator inicial fundamental.

Segundo Hardt e Pinto (2009), a gênese da paisagem cárstica está condicionada ao intemperismo químico, o que ocasiona dissolução da rocha encaixante durante um longo e dinâmico processo. O primeiro passo acontece quando a água da chuva ( $H_2O$ ) em contato com a atmosfera e com o solo reage e dissolve o gás carbônico, ou dióxido de carbono ( $CO_2$ ), formando o ácido carbônico ( $H_2CO_3$ ). O segundo passo é quando a água acidulada dissolve as rochas carbonáticas e infiltra através das fendas e condutos, permitindo a solubilização do bicarbonato de cálcio  $Ca(HCO_3)_2$ .

Segundo Travassos (2013), muito se tem discutido hoje sobre o fato da paisagem cárstica ser ou não passível de se desenvolver e existir várias litologias. Novas pesquisas têm

destacado a possibilidade de feições cársticas também serem encontradas nos mais diversos tipos de rochas, diferentes daquelas consideradas tradicionais como as carbonáticas.

Existem paisagens cársticas desenvolvidas em litologias não carbonáticas (HALLIDAY, 2007). Observa-se em larga escala, no mundo todo, presença de morfologias tipicamente cársticas como os quartzitos (SAURO, 2004). No entanto, toda rocha, independentemente do tipo de mineral componente, pode sofrer dissolução (FORD; WILLIAMS, 1989; FORD, 2007). Não poderia ser diferentemente no Brasil, encontram-se diversas áreas que apresentam ambientes cársticos em rochas não carbonáticas, especialmente em litologias quartzíticas e areníticas. Podendo ser encontradas principalmente nas regiões de São Paulo, Tocantins, Mato Grosso, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Roraima (BAGGIO 2012).

Essas cavernas têm grande potencial para pesquisa, visto que possuem um ecossistema subterrâneo riquíssimo (SBE, 2001). Essas proporcionam um grande número de abrigos para diferentes populações, e as mesmas podem se espalhar por toda a caverna, formando pequenas a médias colônias, e variando sua localidade (GNASPINI & TRAJANO 1989; MOULDS 2004).

As fraturas na litologia e a topografia favorecem a entrada de diferentes materiais para o interior das cavernas, na qual a água e o vento são os principais agentes transportadores.

Esses agentes têm a capacidade de transportar diferentes tamanhos de sedimentos e materiais orgânicos, como por exemplo, as raízes, folhas, troncos, restos animais e vegetais, que são depositados em diferentes compartimentos da caverna influenciando a geoquímica desse ambiente.

Na gruta do Centenário localizada no Pico do Inficionado, na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) do Santuário do Caraça, a litologia encontrada é a quartzítica, com presença de uma hidromica, a sericita (RIBEIRO & RODRIGUEZ, 1992).

Na região atuou um forte metamorfismo resultando em fraturas e fendas, podendo assim ter desenvolvido um amplo endocárste nos quartzitos da formação Moeda do Super Grupo Minas, em particular no Pico do Inficionado (DUTRA, 2002).

O intenso processo metamórfico ocorrido na Serra do Caraça possibilitou a formação de galerias no interior dos quartzitos, como no caso das fraturas do Pico do Inficionado, com cavernas de grandes extensões, tornando este um ambiente propício para o abrigo de inúmeras aves. O clima de altitude e a posição geográfica permitem a nidificação sazonal de andorinhões da espécie *Streptoprocne zonaris* (SHAW, 1796) e *Streptoprocne biscutata*, como indica DUTRA (2002). Segundo Branco (2014), os andorinhões pertencem ao grupo

dos Troglóxenos. Esses utilizam a caverna apenas para abrigo, reprodução ou alimentação e costumam viver na zona de entradas da caverna.

Existe um grande número dessas aves que se repousam nos paredões no interior da caverna liberando excrementos (guano), por isso são importantes fontes de nutrientes para o meio cavernícola. Com o intenso processo de deposição, o guano se acumula no piso formando depósitos com diferentes camadas e diferentes graus de decomposição. Esses depósitos podem representar a fonte alimentar mais importante para muitos invertebrados, principalmente em cavernas permanentemente secas, nas quais pode não haver aporte de nutrientes por outras vias (Ferreira & Martins 1998b, Gnaspini & Trajano 2000).

Considerado um fertilizante orgânico muito eficiente devido a seus altos níveis de nitrogênio e fósforo, o guano produzido pelas diversas espécies de aves pode se converter em recurso natural de considerável importância (TEIXEIRA & NACINOVIC, 2002). Mesmo sendo um material muito rico quimicamente, poucos estudos dissertam sobre os depósitos de guanos de andorinhões, o que se observa é uma maior inclinação a discussões literárias sobre os depósitos produzidos por morcegos.

A presente pesquisa teve por objetivo geral analisar a física (densidade) e química (carbono orgânico, nitrogênio, potássio, fósforo, sódio, cálcio, magnésio, alumínio e pH) de 22 camadas de guanos correlacionado os teores com a profundidade de sete depósitos, localizados na Gruta do Centenário da Serra do Caraça - MG.

## **2. MATERIAL E MÉTODO**

### **2.1 Caracterização da área de pesquisa**

#### *2.1.1 Localização da área de estudo*

A Reserva Particular do Patrimônio Natural Santuário do Caraça (RPPN) está localizada na mesorregião metropolitana de Belo Horizonte e na microrregião de Itabira, no Estado de Minas Gerais, nos Municípios de Catas Altas e Santa Bárbara, entre as coordenadas geográficas 43°36' e 43°26' oeste, 20°1' e 20°11' sul (LOPES DE ABREU, 2013).

A RPPN é o divisor das águas entre as Bacias Hidrográfica dos rios São Francisco e Doce, tendo as maiores altitudes da região (pico do Sol com 2078 m e pico do Inficionado com 2068 m). A Serra do Caraça integra a Reserva da Biosfera Serra do Espinhaço e Mata Atlântica, sendo incluído na APA Zona Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte. O plano de manejo da unidade de conservação é encabeçado por três organizações não

governamentais (ONG'S), sendo elas: Conservação Internacional, Nature Conservancy e SOS Mata Atlântica (LOPES DE ABREU, 2013).

A Reserva faz parte da cadeia montanhosa do Espinhaço meridional e constitui o limite oriental da província geológica do Quadrilátero Ferrífero, caracterizada por intenso metamorfismo (ALKMIM e MARSHAK, 1998), que permitiu a formação de profundas cavidades nos quartzitos.

O foco do trabalho foi à parte superior da Gruta do Centenário, um ramo antigo e fóssil em desmonte, que leva as águas das chuvas recolhidas à dolina gigante, atualmente exumada chamada Garganta do Diabo, até continuar nas partes mais profundas do maciço.

### 2.1.2 *Clima*

O clima é típico de regiões elevadas e pela morfologia peculiar do vale montano, com desníveis abruptos, evidenciando temperaturas amenas e com abundantes chuvas. É elevada a oscilação térmica entre o dia e a noite (LOPES DE ABREU, 2013).

Na Serra do Caraça, o clima é tropical semi-úmido, caracterizado por verões chuvosos e invernos secos. As elevadas altitudes favorecem temperaturas mais amenas durante todo o ano (CAVALCANTI, VALADÃO & SALGADO, 2011).

De acordo com Moreira e Pereira (2004), durante o verão, foram observadas temperaturas mais elevadas no fundo vale, que correspondem às menores altitudes da reserva (719 m). As menores temperaturas foram observadas nos pontos de maior altitude (Picos do Sol e Inficionado). A umidade relativa do ar manteve forte correlação com a temperatura registrada. Observou-se que os pontos de coleta onde foram registradas as temperaturas mais elevadas a concentração de umidade apresentou menor intensidade, ocorrendo exatamente o contrário nos locais de menor temperatura.

A topografia da RPPN Santuário do Caraça desempenha um papel fundamental na organização da circulação atmosférica local e na configuração de pequenos domínios climáticos, fruto da interação entre as condições naturais que incluem a vegetação, propriedades físicas do solo, etc. e das condições impostas pela intervenção humana, neste caso as instalações do Santuário do Caraça (ALMEIDA, 2016).

O clima da região foi um dos fatores preponderantes para o desenvolvimento das feições espeleológicas quartzíticas, sendo que no Pico do Inficionado tem-se um microclima próprio, bem mais úmido, frio e com amplitude térmica considerável, diferente do encontrado nos arredores (DUTRA e RUBBIOLI, 2002). Predominam temperaturas amenas durante todo o ano (18°C a 19°C), cuja máxima raramente ultrapassa 30°C e a mínima pode alcançar valores negativos, principalmente nas maiores altitudes. A umidade é elevada, porém não há

valores medidos no alto do pico. Outros fatores observados são: forte radiação solar, grande variação da temperatura entre o dia e a noite, constante incidência de ventos e tempestades de raios (DUTRA e RUBBIOLI, 2002).

### *2.1.3 Geomorfologia*

O relevo é acidentado, e as cotas altimétricas podem variar de 2.072 m no Pico do Sol, 2.068 m no Pico do Inficionado a 1.250 m no vale do Ribeirão Caraça. A magnitude do relevo é sustentada por quartzitos e elementos estruturais resultado do somatório dos efeitos das tectônicas transamazônica, que soergueu a região, brasileira, mesozóica e da erosão moderna. O modelado foi esculpido por uma rede de drenagem tributária da Bacia do Rio Doce (DUTRA e RUBBIOLI, 2002).

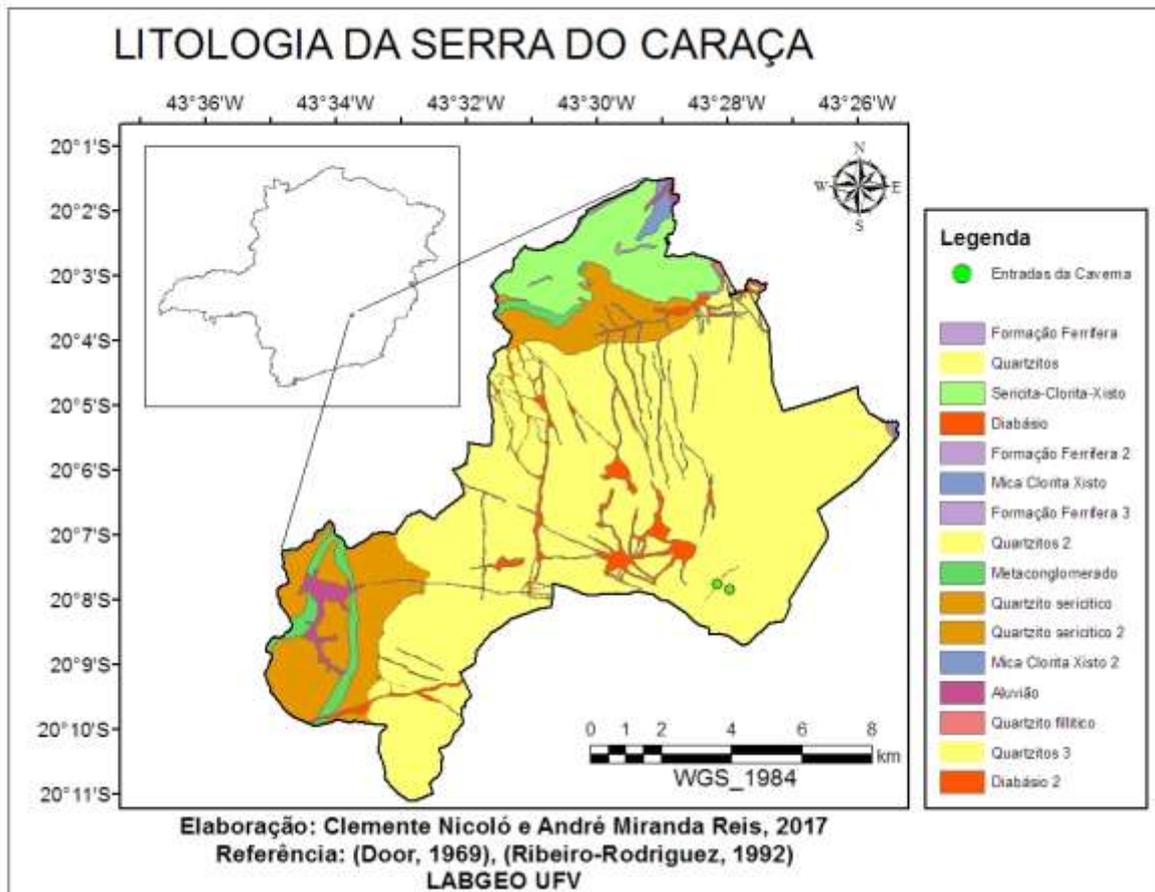
O aspecto geral da morfologia do relevo da RPPN pode ser descrito como sendo um vale, de fundo relativamente plano e pouco ondulado, cortado pela bacia do ribeirão Caraça, de característica predominantemente sedimentar, cercado por elevações que lhe conferem o aspecto de um anfiteatro, cuja única abertura se volta para norte (MOREIRA e PEREIRA, 2004).

Desníveis abruptos separam o fundo do vale das cristas circundantes, cuja altimetria atinge os 2.070 m no Pico do Sol. Observa-se que a altimetria do relevo determina a amenização da tropicalidade do clima regional por atuar como uma barreira natural influenciando na atuação de sistemas atmosféricos (ZIMMERMANN, 1996).

A Serra do Caraça apresenta importantes cavidades, podendo ser considerada uma Província Espeleológica (KARMANN e SANCHEZ, 1979). Estudos de Dutra e Rubbioli (2002) mostram que em terras mineiras, a Serra do Caraça é uma das maiores evidências cársticas em quartzitos do mundo.

### *2.1.4 Geologia quartzítica*

O complexo arcabouço geológico da macrorregião pode ser resumido da seguinte forma (ALKMIM e MARSHAK, 1998): (i) embasamento granítico-gnáissico; (ii) Supergrupo Rio das Velhas, com predomínio de xistos-filitos; (iii) Supergrupo Minas com predomínio de quartzitos e itabiritos e; (iv) Grupo Itacolomi composto por quartzito.



**Figura 1.** Litologia da Serra do Caraça, MG.

A litologia da Serra do Caraça condicionou a formação do maciço quartzítico, hoje altimetricamente elevado em relação ao seu entorno, que estabelece relação com outras elevações da Serra do Cipó/Espinhaço e do Quadrilátero Ferrífero (RUELLAN, 1950). Na serra do Caraça afloram rochas do Supergrupo Minas e coberturas Cenozóicas. O Supergrupo Minas pode ser subdividido em Grupos Caraça (Formações Moeda e Batatal), Itabira (Formação Cauê) e Piracicaba Indiviso. As coberturas Cenozóicas geralmente correspondem à canga (lateritos ferruginosos maciços ou brechóides) e depósitos aluvionares (RIBEIRO-RODRIGUES, 1992).

O Grupo Caraça, Formação Moeda, possui composição essencialmente de quartzo e sericita. Esta formação está presente no Pico do Inficionado, onde se observam feições esculpidas em quartzitos, quartzitos sericiticos, quartzitos conglomeráticos e paraconglomerados (DUTRA e RUBBIOLI, 2002).

Os quartzitos são rochas metamórficas constituídas essencialmente por quartzo (superior a 80%) e geralmente resultam do metamorfismo sofrido por certos arenitos e de sua transformação química, no qual o cimento que ligava os grãos de areia se cristalizou (SOARES, 1990).

O Pico do Inficionado e suas cavernas situam-se em litologia quartzítica, e inúmeros trabalhos comprovam o processo de dissolução sofrido pela rocha. Mas em quartzitos a dissolução acontece de forma lenta, isso justifica-se pelo fato de que, a sílica seja congruente, permitindo que os grãos de areia se desprendam da rocha. Geralmente em rochas metamórficas como o quartzito observa-se a dissolução do cimento intergranular com conseqüente erosão mecânica que remove as partículas de areia (URBANI e SZCZERBAN, 1974; MARTINI, 1982; POUYLLAU e MAGGY, 1985; GALAN e LAGARDE, 1988).

Como já mencionado, as cavernas podem se formar em diferentes litologias, mas essas apresentam diferentes formas de acordo com o material de origem. As cavernas desenvolvidas em quartzitos se iniciam a partir da evolução da fratura existente na rocha, causado pelo metamorfismo e intemperismo, favorecendo a drenagem do fluxo de água que promove o alargamento das fraturas horizontalmente e verticalmente.

Marques Neto (2008) enumera quatro fases de evolução de uma caverna quartzítica:

1. Alteração da fratura – Etapa inicial para o desenvolvimento da caverna, processada em condições climáticas úmidas, com regime de precipitação eficiente para o fornecimento suficiente de água a ser concentrada e assim viabilizar a dissolução do quartzito.

2. Abertura da fenda – A água envolvida no processo, ao atingir o nível de base local, passa a exercer erosão lateral, alargando o conduto e preenchendo a cavidade.

3. Desgaste mecânico – A mudança para um clima mais seco reorientou a evolução da caverna, dando margem a abatimentos e deposição de sedimentos clásticos no assoalho da caverna.

4. Desobstrução do conduto – A retomada da umidade possibilitou a remoção do material e novamente reorientou a evolução por efeito predominante da dissolução química; possíveis canais secundários foram abortados e a drenagem se concentrou, por coalescência interna, em um único eixo, acusando uma condição de maturidade para o cárste, que é atualmente constatada.

Desta forma, a caverna desenvolvida em quartzitos apresenta feições mais alongadas no qual acompanha a fratura e o mergulho do bloco rochoso, formando feição semelhante à de corredores. De acordo com Bigarella (1994), nas regiões que sofreram dobramento e, conseqüentemente, as rochas se encontram inclinadas, a erosão segue os planos de estratificação, preferencialmente ao longo das diáclases presentes na estrutura.

Já as cavernas desenvolvidas em rochas carbonáticas as feições são em formatos arredondados formando salões, devido à dissolução do material de origem.

### 2.1.5 Vegetação

A Serra do Caraça situa-se em uma região de transição entre os domínios do Cerrado e da Mata Atlântica. Na RPPN existem duas formações vegetais básicas, que são as campestres e as florestais. As campestres, dentro do domínio do Cerrado, e as florestais, dentro do domínio da Mata Atlântica (LOPES DE ABREU 2003). Segundo Conceição et al. (2007), os gêneros de plantas mais comuns em altitudes quartzíticas brasileira, são *Velloziaceae*, *Orchidaceae*, *Bromeliaceae*, *Amaryllidaceae* e *Cyperaceae*.

A Serra do Caraça faz parte de um conjunto de serras que proporcionam elevado endemismo biológico, que, em geral, aumenta com a altitude. Este fato é relacionado a escassez de fatores de crescimento, principalmente solos rasos, distrofismo e elevados teores de alumínio (BENITES et al, 2007).

Viveiros (2010) destaca as criptógamas vasculares de Caraça, descrevendo 236 táxons infragenéricos, distribuídos em 27 famílias. Outros trabalhos sobre endemismos da RPPN se encontram na literatura, como sobre as famílias Myrtaceae (MORAIS e LOMBARDI, 2006) e Cactaceae (REGO et al., 2012).

### 2.1.6 Solos

Nos ambientes do Caraça prevalecem solos rasos e arenosos, como NEOSSOLOS LITÓLICOS e QUARTZARÊNICOS e CAMBISSOLOS. Em alguns locais o acúmulo significativo de matéria orgânica permite o reconhecimento de raros ORGANOSSOLOS segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

Os solos mais comuns são os NEOSSOLOS LITÓLICOS e, subsidiariamente, pode-se encontrar CAMBISSOLOS. Em termos biogeográficos, a Serra do Caraça encontra-se em área de transição entre a vegetação Ombrófila Densa e a Savana. A Ombrófila densa pode ser encontrada em áreas de solos mais férteis, de maior umidade e textura argilosa ou margeando os cursos hídricos na forma de matas ciliares. Já os campos rupestres ocorrem nas áreas mais elevadas, reflexo da topografia e abundância de afloramentos rochosos (MOREIRA & PEREIRA, 2004).

## 2.2 Coleta e identificação das amostras

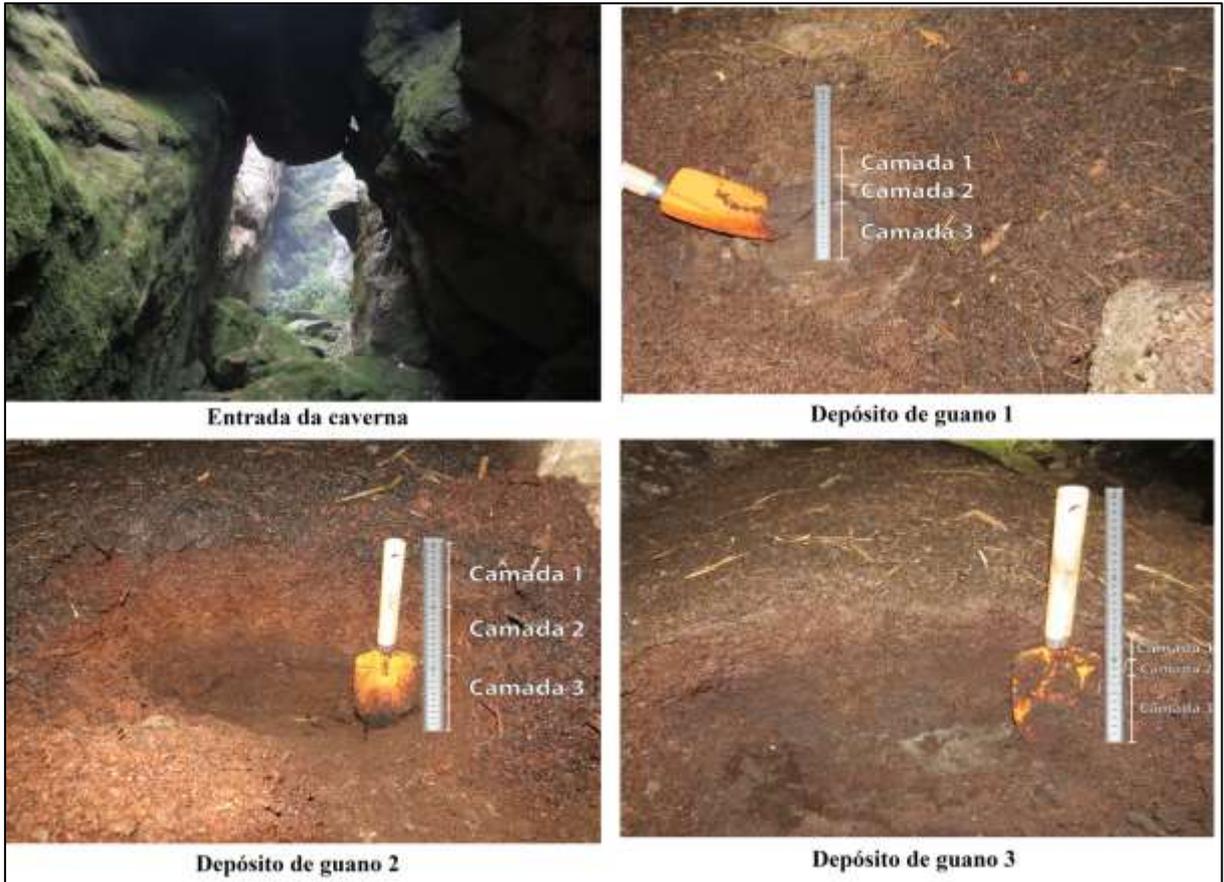
Em fevereiro de 2017 foi realizado um trabalho de campo na RPPN do Santuário do Caraça. Depois de subir o pico do Inficionado e entrar na parte superior da gruta do Centenário, foram identificadas e coletadas com uma pá de metal 22 camadas de guanos distribuídos em sete depósitos (Figura 2). Foi avaliado o grau de decomposição, humificação e densidade.

Foi realizado um transecto de coleta da entrada da caverna fóssil até a dolina, com o intuito de identificar e coletar os depósitos. Conseguiu-se reconhecer sete. A coleta se deu da parte mais profunda até a entrada da caverna. Os depósitos foram denominados depósito 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. As camadas foram identificadas avaliando o grau de decomposição e humificação da mais superficial até a mais profunda, com as siglas C1, C2, C3 e C4 (Tabela 1). Somente no depósito 4 foram identificadas quatro camadas, os demais apresentavam somente três.

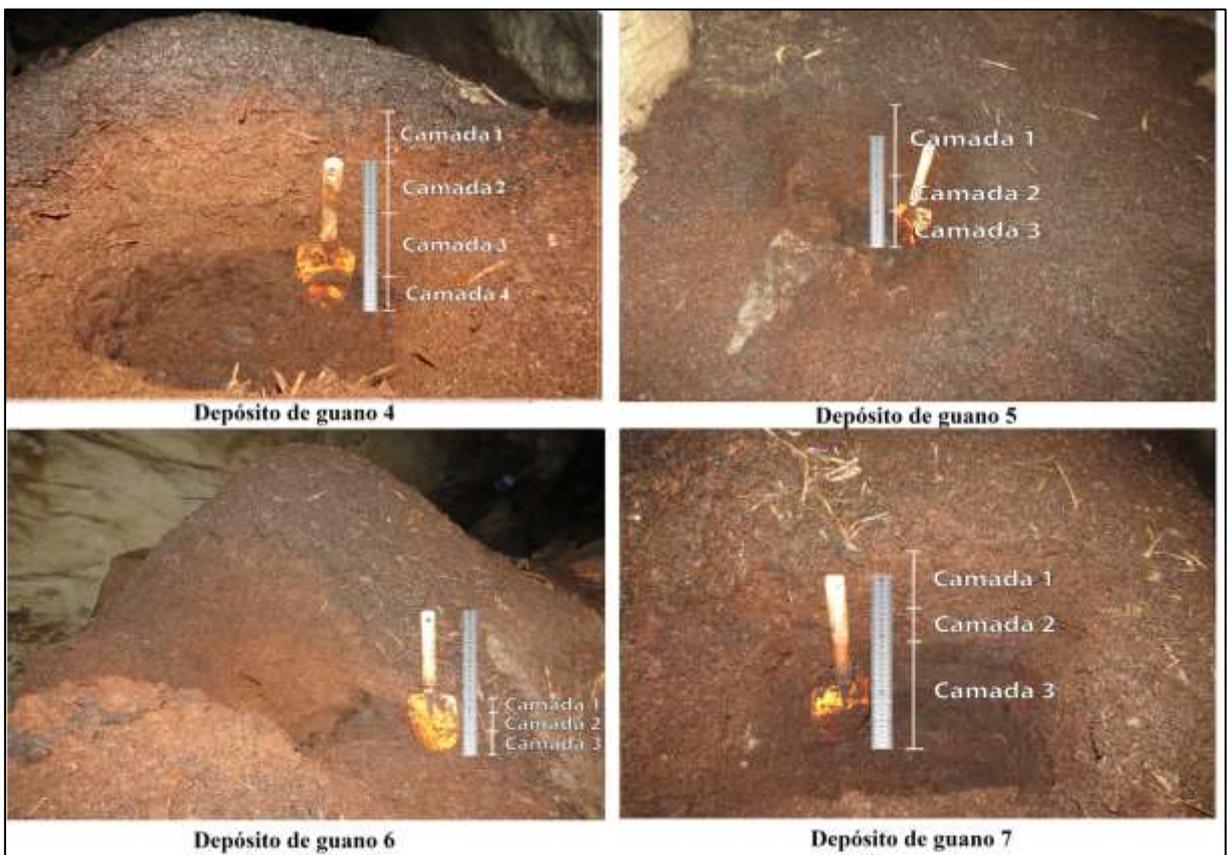
**Tabela 1.** Camadas de guano coletados nos depósitos.

<b>Depósitos</b>	<b>Camadas</b>
<b>1</b>	D1C1
	D1C2
	D1C3
<b>2</b>	D2C1
	D2C2
	D2C3
<b>3</b>	D3C1
	D3C2
	D3C3
<b>4</b>	D4C1
	D4C2
	D4C3
	D4C4
<b>5</b>	D5C1
	D5C2
	D5C3
<b>6</b>	D6C1
	D6C2
	D6C3
<b>7</b>	G7C1
	G7C2
	G7C3

Posteriormente as amostras foram identificadas e acondicionadas em sacos plásticos e transportadas para laboratório. No primeiro momento, os sacos foram abertos e as amostras foram parcialmente secas ao ar. Para ajudar no processo de secagem, as amostras foram destorroadas, identificadas em potes plásticos e foram levadas para estufa onde ficaram por cinco dias a 40°C. Foi necessário utilizar filtro para respiração, pois com calor e temperatura pode desenvolver o fungo *Histosporium capsulatum*, causando danos respiratórios.



*Figura 2. Depósitos de guano com a profundidade das camadas coletadas.*



*Figura 2. Depósitos de guano com a profundidade das camadas coletadas (cont.).*

### 2.3 Análise Física

Para a realização da densidade aparente do guano, utilizou-se o método da proveta (EMBRAPA, 2011). Este método é utilizado na determinação da densidade de solos muito pouco estruturado, alto teor de material orgânico e com dificuldade de retirada de amostras com anel volumétrico ou de torrões de um perfil.

Foi utilizada uma proveta de 100 mL com massa de 35,635 g. Posteriormente foi preenchida com guano até 60 mL, em seguida, compactou o guano batendo a proveta cinco vezes sobre a bancada, com distância de queda de aproximadamente 5 cm. E por fim, pesou-se a proveta com a amostra conforme a equação (1):

$$Ds = \frac{Msolo}{Vt} = \frac{[M(TFSA+Proveta)-M proveta]1/f}{V proveta} \quad (1)$$

### 2.4 Análise Química

As análises químicas seguiram os métodos descritos por EMBRAPA (2011): teor de P disponível, Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>, foram extraídos com Mehlich-1; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. Os elementos serão determinados por absorção atômica (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>), fotometria de emissão de chama (Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>), espectrofotometria do visível (P), e titulometria (Al<sup>3+</sup>). A determinação do nitrogênio e do carbono orgânico total (COT) foi realizada pelo método Kjeldahl e pela titulação do dicromato de potássio remanescente, com sulfato ferroso amoniacal, após o processo de oxidação por via úmida, respectivamente (YEOMANS & BREMNER, 1986).

### 2.5 Determinação de pH

A determinação do pH foi realizada conforme o Manual de Métodos de Análise de Solo da (EMBRAPA, 2011). Colocou-se um cachimbo de 10 cm<sup>3</sup> de guano em um recipiente de vidro de 50 mL, em seguida adicionou-se 25 mL de água destilada agitando todas as amostras por um minuto. Posteriormente as amostras ficaram 30 minutos em repouso. Após o repouso, as amostras foram agitadas novamente com um bastão de vidro e em seguida mergulhou-se o eletrodo do potenciômetro e procedeu-se a leitura. Foi realizada a determinação de pH duas vezes. O resultado final foi à média aritmética.

### 2.6 Análise Estatística

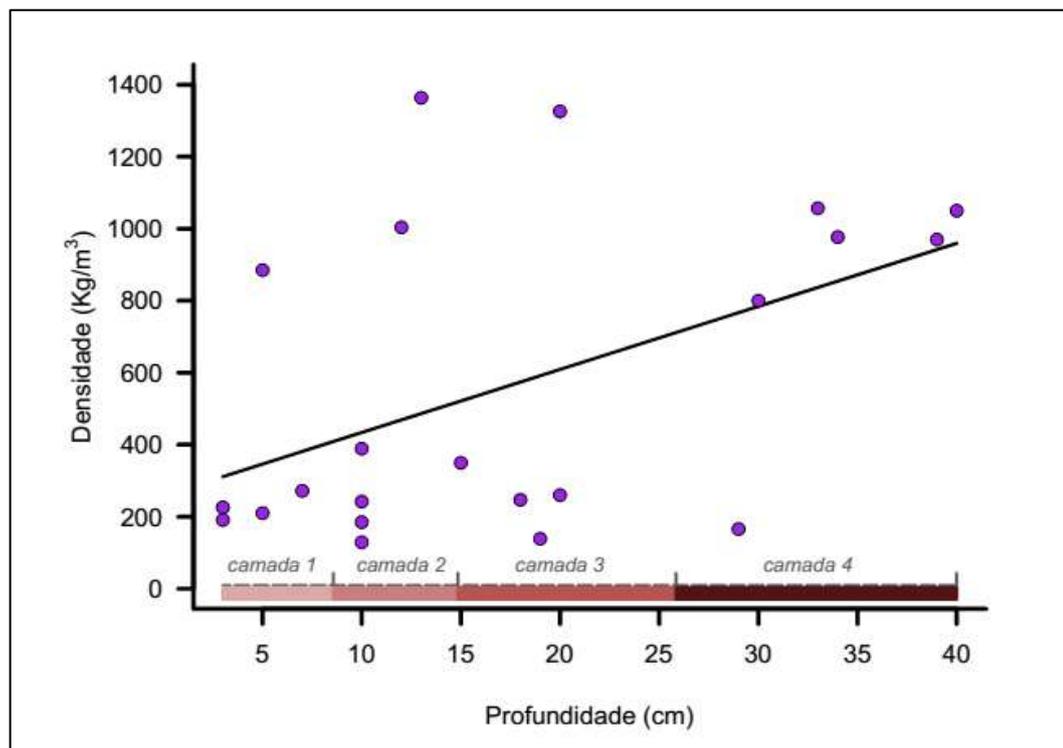
Os dados de pH, densidade e concentração de cada elemento químico foram comparados e analisados por regressão linear. Os modelos foram obtidos considerando a

média das camadas dentro os 7 depósitos amostrados como variável explicativa. Os resíduos foram checados previamente, para verificar a adequação da distribuição em todos os modelos. Quando necessário, os dados foram transformados com  $\log_{10}$  para atender os pressupostos de normalidade. A significância foi considerada ao 5%. Todas as análises foram conduzidas no software R (R Core Team, 2016).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Características físicas

A partir do método da proveta, foi possível identificar um aumento significativo na densidade, à medida que aumenta a profundidade ( $F_{1; 20} = 5,95$ ;  $P = 0,024$ ; Figura 3; Tabela 2). Dessa forma, as camadas C3 e C4 apresentaram os maiores valores de densidades. A C3 do depósito 1 e C3 do depósito 3 apresentaram os valores de  $1.326,00 \text{ kg/m}^3$  e  $1.364,00 \text{ kg/m}^3$ , respectivamente.

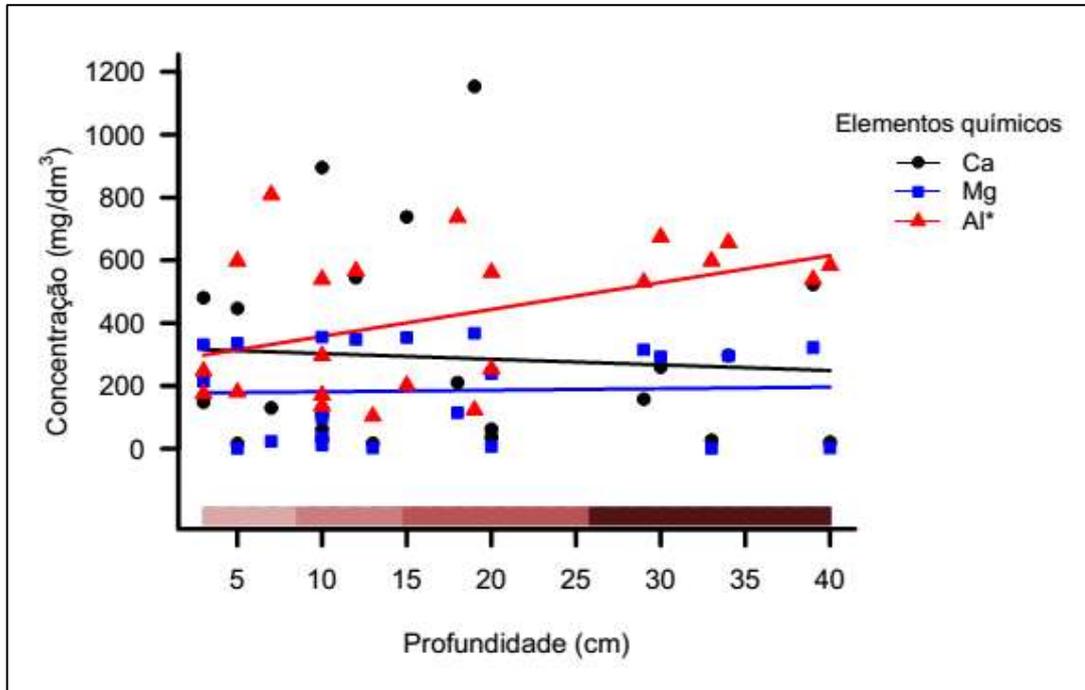


**Figura 3.** Variação da densidade em função da média da profundidade de guano na Serra do Caraça.

#### 3.2 Características químicas

##### 3.2.1 Cálcio, Magnésio e Alumínio.

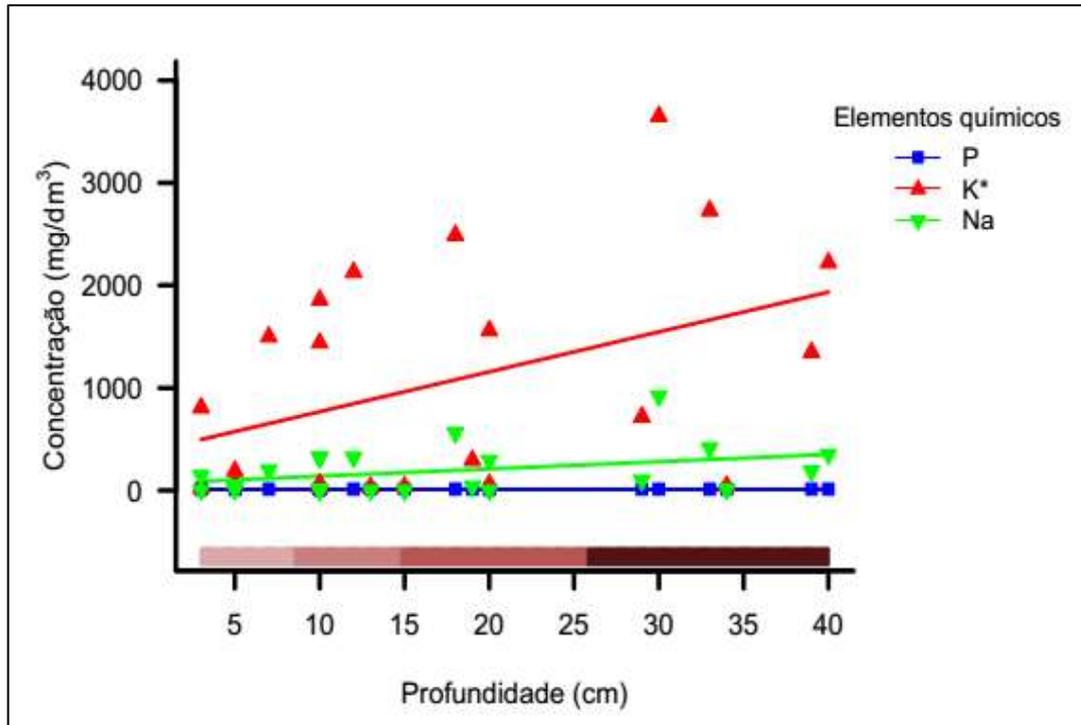
Foi possível observar uma variação positiva nos valores de Al ( $F_{1, 20} = 4,76$ ;  $P = 0,04$ ; Figura 4). Os demais elementos não variaram significamente Ca:  $F_{1, 20} = 0,094$ ;  $P = 0,7623$  e Mg:  $F_{1, 20} = 0,03$ ;  $P = 0,87$  (Figura 4; Tabela 2).



**Figura 4:** Variação na concentração de Ca, Mg, e Al em função da média da profundidade de guano na Serra do Caraça. Asterisco (\*) na legenda indica variação.

### 3.2.2 Fósforo, Potássio e Sódio.

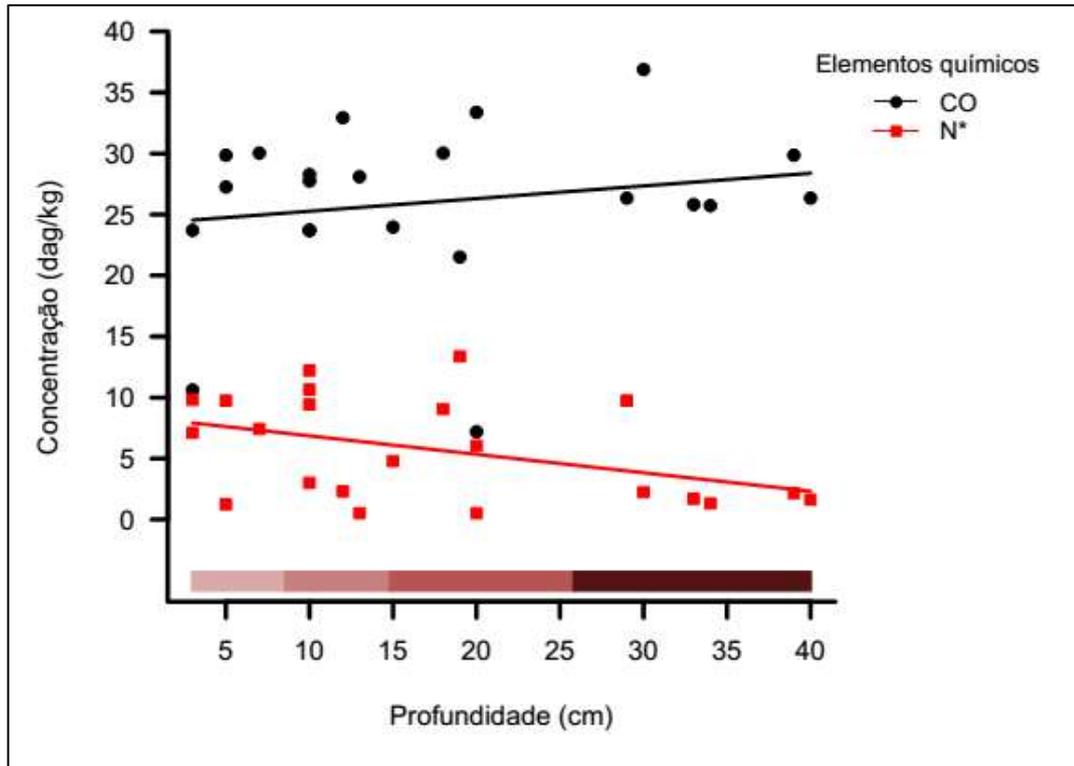
Verificou-se uma tendência positiva nos valores de K ( $F_{1, 20} = 4,25$ ;  $P = 0,05$ ). Diferentemente dos demais elementos, apresentando: P:  $F_{1, 20} = 0,43$ ;  $P = 0,52$  e Na:  $F_{1, 20} = 2,93$ ;  $P = 0,1$  (Figura 5; Tabela 2).



**Figura 5.** Variação na concentração de P, K e Na em função da média da profundidade de guano na Serra do Caraça. Asterisco (\*) na legenda indica variação

### 3.2.3 Nitrogênio e Carbono Orgânico.

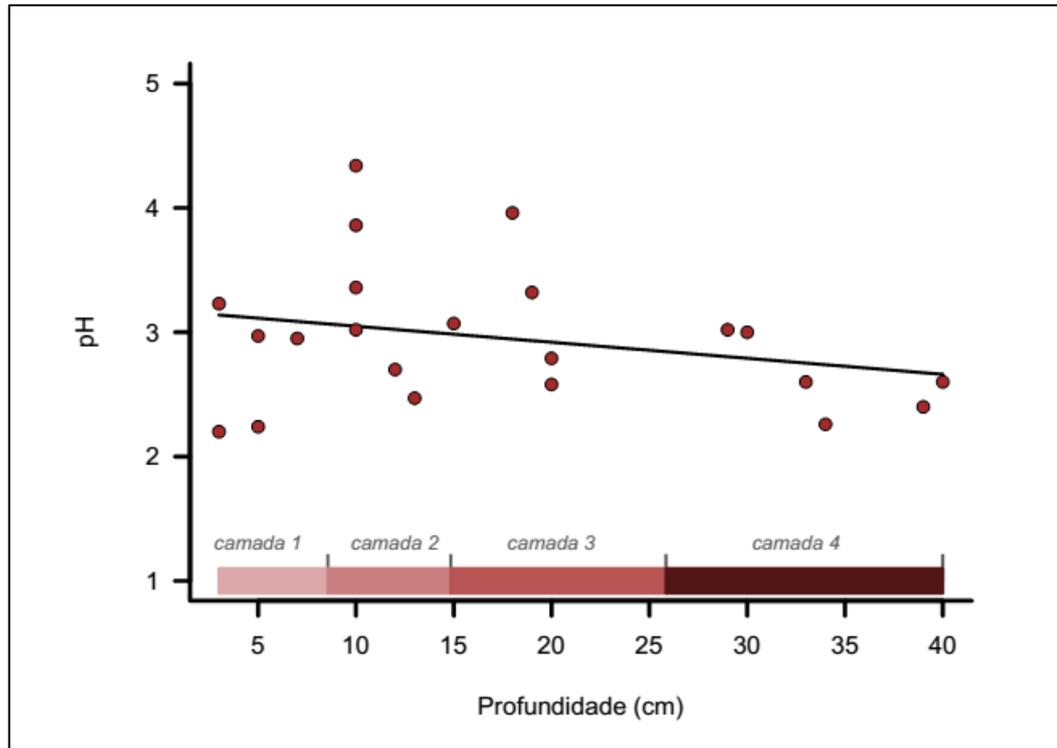
Observa-se uma tendência positiva para o N e negativa para o CO, apresentando N:  $F_{1, 20} = 4,32$ ;  $P = 0,05$  e CO:  $F_{1, 20} = 0,07$   $P = 0,41$  (Figura 6; Tabela 2). O N foi o que apresentou os maiores valores que variaram de 0,53 a 13,37 dag/kg. Foi possível observar que na medida em que se aprofundavam as camadas os valores diminuía.



**Figura 6.** Variação na concentração de N e CO em função da média da profundidade de guano na Serra do Caraça. Asterisco (\*) na legenda indica variação.

### 3.2.4 pH

Não foi observada uma tendência significativa na variação do pH à medida que as camadas se aprofundam ( $F_{1; 20} = 1,55$ ;  $P = 0,23$ ; Figura 7; Tabela 2). Todas as camadas apresentaram um pH muito ácido, mas as C3 e C4 apresentaram valores ainda mais baixos, como por exemplo, a C3 do depósito 7 apresentando um valor de pH 2,26.



**Figura 7.** Variação do pH em função da média da profundidade das camadas de guano na Serra do Caraça.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1 Análise física

Visualmente foi possível identificar a heterogeneidade entre as camadas. As mais superficiais (0-10 cm) apresentavam estruturas mais “soltas” e secas, enquanto as mais profundas apresentavam alta umidificação além de serem muito pegajosos e pastosos (Figura 8). Resultado semelhante foi encontrado por Bernath & Kunz (1981), onde os horizontes mais profundos apresentaram consistência mais uniforme, com mais retenção de água e com materiais orgânicos fortemente humificados.



**Figura 8:** Homogeneização das camadas de guano em profundidade.

As camadas C1 de todos os depósitos apresentaram a menor densidade, enquanto as C3 e C4 apresentaram os maiores valores (Tabela 2). A camada mais superficial recebe guano

constantemente, na qual é possível identificar sementes, exoesqueletos de insetos e restos vegetais. As camadas superficiais apresentavam coloração marrom e à medida que se aprofundava se tornava mais escura, que está relacionado com maior umidade nas camadas mais profundas.

Segundo Lepsch et al. (2016), é natural um solo mineral ter densidade maior que um orgânico, porque um determinado volume de matéria orgânica pesa menos que o mesmo volume de material mineral.

À medida que o intemperismo age sobre o quartzito, essa rocha vai desintegrando seus minerais e liberando grãos de areia para as C3 e C4, sendo assim o responsável pelo aumento da densidade, além de algumas camadas terem apresentado saprolito do material de origem.

A C3 do depósito 1 apresentou a maior densidade, com o valor de 1.326,00 kg/m<sup>3</sup>. A C1 e C2 do mesmo depósito apresentaram 210,00 e 389,00 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente, portanto é possível observar que na medida em que se aumenta a profundidade também aumenta densidade.

#### **4.2 Análises químicas**

Os resultados encontrados não demonstram uma tendência significativa na variação de pH em função da profundidade. Apesar disso, é possível observar que todas as camadas apresentaram pH ácido. As características físicas e químicas de guano variam com o tempo, segundo Gnaspini & Trajano (1998), mas também Ferreira & Martins (1998), o pH do guano fresco recém-depositado, é alcalino e acidifica-se à medida que envelhece, devido à sua fermentação amoníaca (HUTCHINSON, 1950). O guano fresco é também mais úmido que o guano mais antigo (BERNATH & KUNZ, 1981). Estudos realizados por Bahia & Ferreira (2009) identificaram que em 24 depósitos de guano analisados 17 apresentaram pH ácido. Vale ressaltar que a caverna onde a pesquisa foi desenvolvida, é formada por rocha calcária, que pode estar influenciando o pH dos depósitos, estes mesmo ácidos, chegam próximos de 7.

A diminuição do pH está relacionada com a exposição do material às condições do ambiente desenvolvido em litologia quartzítica, quanto mais antigos e em profundidade o guano, menor será o pH. As camadas de guano de andorinhão no interior da caverna são mais antigas devido ao baixo pH encontrado. Os andorinhões provavelmente estão escolhendo nidificar em áreas mais próximas das entradas das cavidades.

Os valores de N foram os maiores em comparação com os demais elementos, sendo esse em maior proporção em materiais orgânicos. Na medida em que aumentava a profundidade os valores diminuía devido à lixiviação e nitrificação. Resultado semelhante foi encontrado no trabalho de Andrade (2012), no qual a concentração de N da parte superior dos perfis são maiores, decrescendo com a profundidade, indicando uma decomposição da matéria orgânica depositada pela avifauna com o aumento da profundidade.

Portanto, a redução do N relacionado com o aumento da profundidade pode estar também correlacionada com a imobilização do N pelos microrganismos. Esses consomem o N que é utilizado como fonte de energia para decompor os materiais orgânicos. O N excedente é liberado e absorvido para as plantas para realizarem o seu desenvolvimento, mas como não existe vegetação nesses ambientes, o N é em parte acumulado nos depósitos apresentando valores em tal grau, e em parte movimentados junto as águas para ser transportado até o interior do maciço.

Dentre os valores de P, K e Na, somente o K seguiu uma tendência significativa. O quartzito em contato com a água, temperatura, organismos, pH ácido e os ácidos orgânicos liberados pelo guano, vai alterar dissolver alguns minerais passíveis a dissolução, como por exemplo, os feldspatos-K e as micas (sericitas). Trabalho desenvolvido por Clemente (2015), por meio de difração de raios X da amostra de saprolito do quartzito revelou a ocorrência de quartzo e feldspato-K, este último mineral é característico dos quartzitos da RPPN. A rocha em contato com os agentes intempéricos vai disponibilizando K para as camadas C3 e C4 de guano que estão em contato direto com a rocha, além de acrescentar acidez ativa e trocável ao sistema.

Diante dos valores de P, é possível observar que não houve uma tendência positiva na variação quantidade e profundidade. Os teores de P foram os mais baixos encontrados, além de apresentar a menor variação entre as camadas, mas significativos pela importância deste elemento para vida. Porém o maior valor,  $14,48 \text{ mg/dm}^3$ , foi encontrado na C3 em profundidade de 30 a 40 cm. Resultados semelhantes foram encontrados por Clemente (2015) na mesma cavidade, que também não obteve uma tendência significativa nos valores na medida em que se aprofundavam as camadas do depósito. Análises químicas indicaram que o guano superficial (0-5 cm) apresentou teor de fósforo de  $38,8 \text{ mg/dm}^3$ . As camadas de 5-10, 10-15, 15-20 e 20-25 cm apresentaram valores de 97,0; 48,9; 18,00 e  $43,7 \text{ mg/dm}^3$ , respectivamente (CLEMENTE, 2015). Relação diferente foi encontrado em trabalho de Andrade (2012), em que o P nos solos ornitogênicos chega às camadas mais profundas em

grandes quantidades se deve à solubilização de minerais nas camadas superficiais do solo e re-precipitação nas camadas mais profundas.

O maior valor encontrado de Na foi na C3 do depósito 2, com 918,14 mg/dm<sup>3</sup>. Não houve uma tendência significativa nos valores em sequência das camadas, mas em diferentes camadas o acúmulo deste elemento resultou elevado.

No caso do Al os valores menores foram encontrados na camada superficial e na medida em que se aprofundavam aumentavam. Isso deve-se ao intemperismo contínuo que a rocha está submetida. As condições do ambiente favorece a alteração dos minerais aluminossilicatados presentes no quartzito, disponibilizando Al para as camadas que está em contato direto com a rocha. Este fato é corroborado por estudos realizados por Clemente (2015), que mostraram por meio de análises microquímicas, predominância de Al no cimento intergranular dos quartzitos da mesma área.

Os valores de Ca e Mg encontrados foram elevados em comparação com solos não ornitogênicos, sendo os maiores valores encontrados 1.153,73 mg/dm<sup>3</sup> e 368,01 mg/dm<sup>3</sup>, respectivamente. A concentração de Mg foi de 184,97 mg/dm<sup>3</sup> e do Ca 289,50 mg/dm<sup>3</sup>. Segundo trabalho de Resck et. al (2011), os níveis de Ca (2,45 a 4,85 mg/dm<sup>3</sup>) e Mg (2,07 a 2,86 mg/dm<sup>3</sup>) são elevados, mais baixos se comparado com áreas sem influência de ortinogênese.

No depósito 1 ao depósito 3, os valores de Mg diminuíram de C1 para C2 e posteriormente aumentava da C2 para a C3. Verifica-se o oposto no depósito 5 ao depósito 7, na qual apresenta um aumento do valor da C1 para a C2 e subsequentemente uma diminuição da C2 para a C3. Vale ressaltar que os depósitos 1, 2 e 3 encontram-se na parte mais profunda da caverna e os depósitos 5, 6 e 7 são os mais próximos da entrada, portanto as camadas mais superficiais próximas à entrada apresentam maior valor de Mg e na medida que se aprofunda esse valor reduz. Isso fortalece a hipótese que os andorinhões estão nidificando, nestes últimos anos, nas partes mais externas da cavidade, e que a parte final do trecho de gruta do Centenário em estudo recebe mais contribuição hídrica, translocando mais os elementos químicos dos depósitos.

Os maiores valores de carbono orgânico (CO) foram 36,88 e 33,37 dag/kg, respectivamente nas C3 e C2 dos depósitos 2 e 4. Mostrou-se um aumento no valor de CO da C1 para a C2 do depósito 2 ao depósito 7, mas posteriormente não houve a mesma sequência.

Diante disso, a presente pesquisa apresenta as análises físicas e químicas de 22 camadas de guanos distribuídas em 7 depósitos na Serra do Caraça. Os resultados das análises encontradas foram correlacionados com a profundidade, com o objetivo de demonstrar se os

valores aumentam ou diminuem à medida que se altera a profundidade no depósito. Exclusivamente a densidade, Al, K e N apresentaram uma tendência positiva à medida que o depósito se aprofundava. Em geral se afirmar que os depósitos de guano são importantes fontes de nutrientes na cavidade, como Ca, Mg, e sobretudo P e N. Esses elementos são lixiviados e transportados das águas de precipitação ao longo das cavernas quartzíticas. A área de coleta e estudo é uma das inúmeras paleo-cavernas que contribuem geoquímicamente a sistemas tróficos internos ao maciço da RPPN Santuário do Caraça, aportando através da água das chuvas, preciosos elementos lixiviados dos depósitos de guano.

**Tabela 2:** Profundidade, análise física e química das camadas de guano da Serra do Caraça.

Depósito	Camadas	Profundidade	Densidade aparente	pH <sup>(1)</sup>	CO <sup>(2)</sup>	N <sup>(3)</sup>	P <sup>(3)</sup>	K <sup>(3)</sup>	Na <sup>(4)</sup>	Ca <sup>2+</sup> <sup>(4)</sup>	Mg <sup>2+</sup> <sup>(4)</sup>	Al <sup>3+</sup> <sup>(4)</sup>
		-----cm-----	-----kg/m <sup>3</sup> -----		-----dag/kg-----					-----mg/dm <sup>3</sup> -----		
<b>1</b>	D1C1	0-5	210,00	2,97	27,26	9,74	12,64	191,45	49,69	446,72	335,53	179,86
	D1C2	5-10	389,00	3,02	23,71	3,01	12,57	68,31	7,91	62,07	35,74	170,87
	D1C3	10-20	1.326,00	2,58	7,20	0,53	12,64	62,30	1,94	62,28	238,73	254,05
<b>2</b>	D2C1	0-10	185,00	4,34	28,28	12,21	13,14	1440,90	321,27	895,34	355,75	539,58
	D2C2	10-18	247,00	3,96	30,03	9,06	13,51	2492,12	560,02	210,63	115,18	737,43
	D2C3	18-30	800,00	3,00	36,88	2,24	14,48	3651,47	918,14	259,66	292,65	674,48
<b>3</b>	D3C1	0-3	191,00	2,20	10,62	7,11	12,46	26,26	1,94	148,35	214,43	247,31
	D3C2	3-5	885,00	2,24	29,86	1,24	12,48	71,32	7,91	16,02	1,02	598,03
	D3C3	5-13	1.364,00	2,47	28,10	0,54	12,46	32,27	1,94	17,46	2,65	103,42
<b>4</b>	D4C1	0-10	242,00	3,86	27,75	9,43	13,09	1861,39	321,27	33,25	11,23	296,77
	D4C2	10-20	260,00	2,79	33,37	6,06	13,21	1561,04	291,43	36,82	6,94	562,06
	D4C3	20-33	1.057,00	2,60	25,82	1,70	13,24	2732,40	410,80	27,35	1,63	598,03
	D4C4	33-40	1.050,00	2,60	26,34	1,64	12,46	2221,81	351,11	21,25	2,04	584,55
<b>5</b>	D5C1	0-19	139,00	3,32	21,51	13,37	12,55	296,58	40,74	1153,73	368,01	123,65
	D5C2	19-29	166,00	3,02	26,34	9,74	12,64	720,07	97,44	158,03	315,32	530,59
	D5C3	29-39	970,00	2,40	29,86	2,16	12,85	1350,80	186,97	523,10	322,06	539,58
<b>6</b>	D6C1	0-3	226,00	3,23	23,71	9,81	12,76	810,17	142,21	480,81	331,65	175,36
	D6C2	3-7	272,00	2,95	30,03	7,42	12,92	1500,97	198,91	130,04	23,49	809,37
	D6C3	7-12	1.004,00	2,70	32,93	2,32	13,07	2131,71	321,27	544,57	347,58	566,56
<b>7</b>	D7C1	0-10	129,00	3,36	23,71	10,66	12,47	32,27	1,94	106,47	97,62	137,14
	D7C2	10-15	350,00	3,07	23,97	4,81	12,46	38,28	1,94	738,15	354,53	202,34
	D7C3	15-34	977,00	2,26	25,73	1,31	12,46	44,28	7,91	297,11	295,51	656,49

<sup>1</sup>Em água; <sup>2</sup>C.Org x 1,724 –(Yeanomans & Bremner, 1986). <sup>3</sup>Extraído com Mehlich 1; <sup>4</sup>Extraído com KCl 1 mol.L<sup>-1</sup>;

## 5. CONCLUSÃO

As análises químicas evidenciaram concentrações expressivas de N, P, K, Ca, Mg, Na, Al e carbono orgânico no guano analisado.

Não houve uma variação significativa nos valores de pH, mesmo esses sendo muito ácidos. Os resultados não demonstraram uma tendência significativa na variação do mesmo, mas em outros trabalhos mostram a acidificação do guano com o aumento da profundidade.

Os depósitos de guano em contato com a rocha contribuem para o processo de intemperismo do quartzito, liberando elementos químicos para as camadas que estão em contato direto com a rocha. Com os resultados, foi possível evidenciar que a água e o pH ácido aceleram o processo de intemperismo liberando grãos de areia, Al e K para as camadas mais profundas.

É importante preservar o guano, considerando que sua composição influencia várias relações biológicas onde é depositado.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALKMIM, F. F.; MARSHAK, S. "Transamazonian orogeny in the Southern Sao Francisco craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero." *Precambrian Research*. 29-58. 1998.

ALMEIDA, Eduardo. **Santuário do Caraça**. Disponível em: <<http://www.santuariodocaraça.com.br/>>. Acesso em: 05 jun. 2016.

ANDRADE, Renato Pereira de. **Geoquímica dos solos e das águas da Península Fildes e Ilha Ardley-Antártica Marítima**. 2012. 167 f. Tese (Doutorado em Química do Instituto de Ciências Exatas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2012.

BAGGIO, Hernando; RODRIGUES, Fernanda Cristina; TRINDADE, Wallace Magalhães. **Morfologia cárstica do maciço quartzítico da Gruta do Salitre, Diamantina-MG**. *Caminhos de Geografia*, v. 13, n. 43, 2012.

BAHIA, Gretynelle Rodrigues; FERREIRA, Rodrigo Lopes. **Influência das características físicoquímicas e da matéria orgânica de depósitos recentes de guano de morcego na riqueza e diversidade de invertebrados de uma caverna calcária**. *Revista Brasileira de Zoociências*, v. 7, n. 1, 2009.

BENITES, V. M.; SCHAEFER, C. E. R.; SIMAS, F.N.B.; SANTOS, H. G. "Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço." *Brazilian Journal of Botany*. 569-577. 2007.

BERNARTH, R.F. & T.H. KUNZ. 1981. **Structure and dynamics of arthropod communities in bat guano deposits in buildings**. *Canadian Journal of Zoology*, 59, 260-270.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais (vol. 3)**. Florianópolis: ed. da UFSC, 1994.

BRANCO, P. M. CPRM, Serviço Geológico Brasileiro. **Espeleologia: o estudo das cavernas**. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Espeleologia%3A-o-estudo-das-cavernas-1278.html>>. Acessado em: 11 nov. 2017.

CAVALCANTE, L. V. B.; VALADÃO, R. C; SALGADO, A. A. R. **Mapeamento das unidades do relevo da Serra do Caraça/MG: Uma proposta baseada na interpretação de mapas temáticos**. *Revista de Geografia (Recife)*-ISSN: 2238-6211, v. 27, n. 1, p. 224-235, 2011.

CLEMENTE, Nicolò. **Geoambientes da RPPN Serrado Caraça e feições do carste quartzítico**. 2015. 82 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Planta) – Universidade Federal de Viçosa, MG, 2015.

CONCEIÇÃO, A. A.; PIRANI, J. R.; MEIRELLES, S. T. "Floristics, structure and soil of insular vegetation in four quartzite-sandstone outcrops of "Chapada Diamantina", Northeast Brazil". *Revista Brasileira de Botânica*. 30, 641-656. 2007.

DUTRA, G. M., RUBBIOLI, E. L. "Gruta do Centenário, Pico do Inficionado (Serra da Caraça), MG: In: Schobbenhaus, C., Campos D. A, Queiroz E, Winge M., (2002).

EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Manual de métodos de análise de solo**. Embrapa, 2011.

EMBRAPA. “**Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**”. 3. ed. Brasília. 353p. 2013.

FERREIRA, R.L. & R.P . MARTINS. 1998. **Diversity of Spiders Associated with Bat Guano Piles in Morrinho Cave (Bahia State, Brazil)**. Diversity and Distributions, 4:235-241.

FORD, D; WILLIAMS, P. “**Karst Hydrogeology and Geomorphology**”. Ed. Rev. England: John Wiley & Sons Ltd. 562p. 2007.

GALAN, C.; LAGARDE, J. “**Morphologie et evolution des cavernes et forms superficielles dans le quartzites du Roraima, Venezuela**”. Karstologia”. 11-12. 49-60. 1988.

GILBERT, J.; D.L. DANIELPOL & J.A. STANFORD. 1994. **Groundwater Ecology**. Academic Press Limited, San Diego, California. 571p.

GINES, A. & GINES, J. 1992. **Karst phenomena and biospeleological enverionments**. MUS. NAC. CIENC. NATUR.(ED.). The natural history of biospeleology, monografias. Madrid, Spain. 677p.

GNASPINI-NETTO, P. 1989. **Fauna associated with bat guano deposits from Brazilian caves (a comparison)**. Proceedings of the 10th International Congress of Speleology, Budapest, pp. 52-54.

GNASPINI, P. & E.TRAJANO. 1998. **Guano communities in tropical caves. Case study: Brazilian caves**. In: Wilkens, H., Culver, D. C. & Humphries, F. (eds.). Ecosystems of the World. Subterranean Biota. Elsevier Science, Amsterdam, pp 251-268.

GNASPINI, P. & E.TRAJANO, E. 2000. Guano communities in tropical caves. In: Wilkens, H.; Culver, D.C & Humphreys, W.F. (eds.). Ecosystems of the World - Subterranean Biota. Elsevier, Amsterdam, pp.251-268.

GUERRA, A.T. **Dicionário geológico- geomorfológico**. 8. Ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. 446p.

HALLIDAY, W.R. “**Pseudokarst in the 21st century**”. Journal of Cave and Karst Studies. 69, 103–113. 2007.

HARDT, R.; PINTO, S. A. F. **Carste em litologias não carbonáticas**. In: Revista Brasileira de Geomorfologia, v.10, n. 2, p. 99-105, 2009.

HUTCHINSON. 1950. **Vertebrate Excretion (Cave Guano)**. Bulletin American Museum of Natural History, 96: 381-485.

KARMANN, I. **Ciclo da Água, Água subterrânea e sua ação geológica**. In TEIXEIRA, W. et al. Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p.114-136.

KARMANN, I.; SÁNCHEZ, L. H. “**Distribuição das rochas carbonáticas e províncias espeleológicas do Brasil**”. Espeleotema, Monte Sião. 13, 105-167. 1979.

LEPSCH, I.F. **Dezenove lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 456 p.

LOPES DE ABREU, A.C. Minas Gerais. **Plano de manejo da RPPN “Santuário do Caraça”**. 15p, 2013.

MARQUES NETO, R. **Evolução de cavernas em quartzito e processos cársticos em São Thomé das Letras – MG: contribuição ao estudo de sistemas cársticos em rochas siliciclásticas**. Geosul, Florianópolis, v.23, n.45, p. 105-121, jan./jun. 2008.

MARTINI J. E. J. “**Karst in Black Reef and Wollenberg Group Quartzite of the eastern Transvaal**”. Boletim da Sociedad Venezuela Espeleologia. 10, 99-114. 1982.

MORAIS, P. O.; LOMBARDI J. A. “**A Família Myrtaceae na Reserva Particular do Patrimônio Natural da Serra do Caraça, Catas Altas, Minas Gerais, Brasil**”. Lundiana. 7. 3-32. 2006.

MOREIRA, A. M.; PEREIRA, C. C. A. **Levantamento topoclimático da RPPN Santuário do Caraça**. Caderno de Geografia, v. 14, n. 23, p. 43-50, 2004.

MOULDS, T. 2004. **Review of Australian Cave Guano Ecosystems with a Checklist of Guano Invertebrates**. Proc. Linn. Soc. N.S.W., 125.

POUYLLAU, M.; MAGGY, S. "Pseudo-karst dans des roches greso-quartzitiques de la formation Roraima." Karstologia. 5, 45-52. 1985.

R Core Team (2016) **R: a language and environment for statistical computing, version 3.2.4**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <http://www.R-project.org/>.

REGO, J. O.; FRANCESCHINELLI, E. V.; ZAPPI D. C. “**Reproductive biology of a highly endemic species: Cipocereus laniflorus**. N.P. Taylor & Zappi (Cactaceae). Acta Botanica Brasilica. 26. 243-250. 2012.

RESCK, Bruno de Carvalho. **Química e mineralogia de solos vulcânicos das Ilhas Deception e Penguin, Antártica Marítima**. 2011. Dissertação (Solos e Nutrição de Planta) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

RIBEIRO-RODRIGUES, L.C. “**O Contexto Geológico Estrutural do Parque Natural do Caraça e Adjacências, Quadrilátero Ferrífero, MG**”. Dissertação de Mestrado, Brasília, DF. 133p. 1992.

RUELLAN, F. **Contribuição ao estudo da Serra do Caraça**. An. Ass. Geogr. Bras, v. 4, n. 2, p. 77-106, 1950.

SAURO F. “**Speleogenesis and secondary caves minerals in quartz-sandstone and Science**. Fitzroy Dearborn, London”. 611-613. 2004.

SBE. **Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil- CNC**. Disponível em: <<http://www.cavernas.org.br/cnc/Default.aspx>>. Acesso em: 02/08/2017.

SHAW, G. **Museum Leverianum, Containing Select Specimens from the Museum of the Late Sir Ashton Lever**. With Descriptions in Latin and English. J. Parkinson, 1796.

SOARES, R.S. **Rochas e Minerais e pedras preciosas do Brasil**. 2ª ed. Brasil: Consultoria de projetos e artes Ltda., 1990. 470p.

TEIXEIRA, D.M. & NACINOVIC, J.B. 2002. **O guano de aves marinhas no Brasil**. Publicações Avulsas do Museu Nacional, 95:1-66.

TRAVASSOS, L.E.P. Heiz Charles Kohler- **O cartólogo brasileiro**. Revista da Anpege, v.9, n. 11, p. 135-138, jan./jun. 2013.

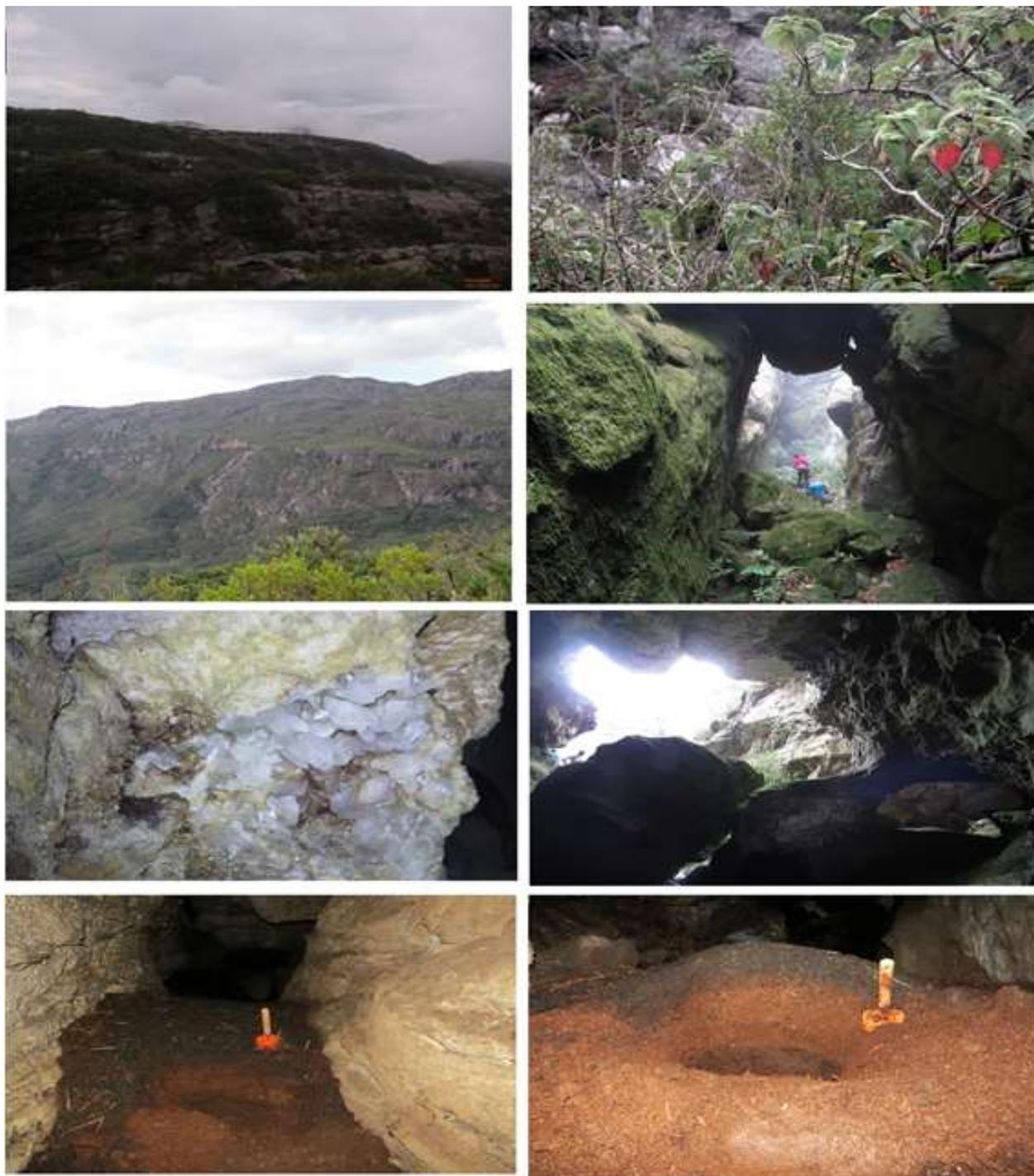
URBANI, F.; SZCZERBAN, E. “**Venezuela Caves in Non-Carbonate Rocks**”. A New Field in Karst Research. National Speleological Society News. 32, 233-235. 1974.

VALAJÃO, C.A.; SALGADO, A. A. R.; VARAJÃO, A. F. D. C., BRAUCHER, R; COLIN, F.; NALINI JR. H. A.” **Estudo da evolução da paisagem do Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasil) por meio da mensuração de taxas de erosão e de pedogênese**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33. 1409-14-25. 2009.

VIVEIROS R. S. “**Pteridófitas da Serra do Caraça, Minas Gerais, Brasil**”. Tese D. Sc. UFMG. 256 p. 2010.

ZIMMERMANN. P. **Caraça: sagrada geografia**. Tribuna de Minas, Juiz de Fora, v. 4, 1996. Suplemento Parque de Minas, p. 24-36.

## Fotos do campo Serra do Caraça



*Figura 9. Campo realizado na Serra do Caraça em fevereiro de 2017  
Fonte. Imagens cedidas por Georgette Dutra e Vânia Machado*