

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO ESCOLA DE MINAS DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANÁLISE GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS DE UM LAGO DE ALTITUDE DA SERRA DO GANDARELA, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS

Caio Guimarães Murillo Zamora

MONOGRAFIA nº 476

Ouro Preto, MAIO de 2023

ANÁLISE GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS DE UM LAGO DE ALTITUDE DA SERRA DO GANDARELA, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.^a Dr.^a Cláudia Aparecida Marliére de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

Prof.^a Dr.^a Tânia Rossi Garbin

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. José Alberto Naves Cocota Junior

Vice-Diretor

Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Dr. Geraldo Magela Santos Sampaio

MONOGRAFIA

Nº 476

ANÁLISE GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS DE UM LAGO DE ALTITUDE DA SERRA DO GANDARELA, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS

Caio Guimarães Murillo Zamora

Orientador

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2023/1.

OURO PRETO

2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO



Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO REITORIA ESCOLA DE MINAS DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Caio Guimarães Murillo Zamora

ANÁLISE GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS DE UM LAGO DE ALTITUDE DA SERRA DO GANDARELA, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Geológica.

Aprovada em 30 de Maio de 2023.

Membros da banca

Dr. Herminio Arias Nalini Junior - Orientador(a) (Universidade Federal de Ouro Preto) Dra. Raquel Cassino - (Universidade Federal de Ouro Preto) Dr. Lucas Pereira Leão - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Herminio Arias Nalini Junior, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 07/06/2023



Documento assinado eletronicamente por **Herminio Arias Nalini Junior**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/06/2023, às 10:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do <u>Decreto nº 8.539, de 8 de</u> <u>outubro de 2015</u>.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <u>http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?</u>

<u>acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0</u>, informando o código verificador **0537748** e o código CRC **C4D11DC5**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.007432/2023-33

Agradecimentos

Agradeço meus pais, Roberto e Márcia por todo amor, carinho e suporte ao longo do trabalho todas as palavras de acolhimento e sabedoria. Aos meus irmãos, Thaís e Leonardo, por estarem do meu lado nos momentos difíceis e alegres e por todo respeito que sempre tiveram. À minha Vó por sempre estar rezando por mim e mandando boas energias, além de ser minha companheira em todos os momentos da minha vida.

Gostaria de agradecer minha namorada Maria Laura, por todas as dicas, amor, carinho e paciência no decorrer da minha pesquisa, por sempre respeitar meus momentos de estudos e por tanta ajuda.

Venho também agradecer a todo suporte e concelhos dos profissionais do laboratório de geoquímica do Departamento de Geologia, em especial ao Celso, Leonardo e Adriana.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os meus amigos de escola, de faculdade e da República Nadavê, por sempre acreditarem em mim e estarem do meu lado em todas as ocasiões. Vale aqui uma menção honrosa aos amigos, Lucas, Daniel, Matheus, Charlyson, Lucas Romero, Marcelo Diniz, Pedro Medeiros e todos os moradores e calouros da República Nadavê que morei junto.

Sem vocês nada disso seria possível.

SUMÁRIO

AGRADECIM SUMÁRIO LISTA DE FIO LISTA DE TA RESUMO ABSTRACT . 1 INTRODU	IENTOSGURAS	viii x xii xiv xix xix 1
1.1 APRESE	NTAÇÃO	1
1.2 LAGOA	DOS COUTOS	1
1.3 LOCALE	ZAÇÃO	4
1.4 OBJETIV	/OS	5
1.5 JUSTIFIC	CATIVA	6
1.6 MATERI	AIS E MÉTODOS	6
1.6.1	Revisão bibliográfica	7
1.6.2	Coleta e seleção de amostras	7
1.6.3	Descrição de testemunho	9
1.6.4	Métodos geoquímicos e preparação amostral	10
1.6.5	Perfil estratigráfico e a variação das concentrações de elementos 11	químicos
2 CONTEX	TO GEOLÓGICO REGIONAL	13
2.1 CONTEX	KTO GEOTECTÔNICO	13
2.2 QUADRO	O ESTRATIGRÁFICO	14
2.2.1	Unidades do embasamento	14
2.2.2	Supergrupo Rio das Velhas	15
2.2.3	Supergrupo Minas	15
2.2.4	Supergrupo Estrada Real	17
2.2.5	Coberturas cenozoicas	17
2.3 ARCABO	DUÇO ESTRUTURAL	18
2.4 POSICIO	NAMENTO GEOLÓGICO DA LAGOA DOS COUTOS	
2.5 LAGOAS	S, LAGOS E MARÉS	
3 MÉTODO	OS GEOQUÍMICOS	23
3.1 INTROD	UÇÃO	23
3.1 INTROD3.2 DETERM	UÇÃO IINAÇÃO ELEMENTOS MAIORES E TRAÇOS POR ICP-OES	

4 ANÁLISE QU	JALITATIVA	29
4.1 INTRODUÇ	ÃO	29
4.2 DESCRIÇÃO	D DO TESTEMUNHO	30
5 RESULTADO	DS GEOQUÍMICOS	33
5.1 INTRODUÇ	ÃO	33
5.1.1	Determinação de elementos maiores e traços	33
5.1.2	Perda Por Calcinação (PPC)	38
6 ANÁLISE DO	DS RESULTADO GEOQUÍMICOS	41
6.1 INTRODUÇ	ÃO	41
6.2 METODOLO	DGIA	41
6.3 DETERMIN	AÇÃO DE ELEMENTOS MAIORES E TRAÇOS	42
6.3.1	Concentração elementar ao longo do testemunho	44
6.3.2	Coeficiente de correlação de Pearson	48
6.4 PERDA POP	R CALCINAÇÃO (PPC)	51
7 DISCUSSÕE	S	55
7.1 GENESES D	OOS LAGOS, ÁREAS FONTES E COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA	55
7.2 CORRELAÇ	ÃO DE PEARSON	58
7.3 MATÉRIA O	DRGÂNICA	61
8 CONCLUSÕ	ES	63
REFERÊNCIAS	S BIBLIOGRÀFICAS	65

INDÍCE DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa de localização da regiões de depressões cársticas no Parque Nacional da Serra do Gandarela
(Pereira & Salgado 2010)
Figura 1. 2: Lagoa dos Coutos em época de chuva (Pereira & Salgado 2010)
Figura 1. 3: Lagoa do Coutos em período de seca (Leibowitz 2016)
Figura 1. 4: Localização da área de estudo e trajeto como ponto de partida o município de Ouro Preto, com o
respectivo posicionamento no estado de Minas Gerais (Google Earth 2022)
Figura 1. 5: Modelo estrutural do testemunhador e etapas operacionais para amostragem sedimentológica (Souza et al. 2008)
Figura 1. 6: Tabela com as granulometrias e seus devidos tamanhos (Wentworth 1922)10
Figura 2.1: Mapa regional do Cráton São Francisco com enfoque no Quadrilátero Ferrífero (Alkmim & Marshak 1998)
Figura 3. 1: Fluxograma para preparação da digestão total de carbonatos utilizando frasco Savillex (Nogueira 2018)
Figura 4. 1: Perfil estratigráfico do testemunho da Lagos dos Coutos
Figura 6. 1: Perfil estratigráfico com gráficos de concentração elementar dos elementos maiores da litosfera em ordem de abundância
Figura 6. 2: Perfil estratigráfico com gráficos de concentração elementar dos elementos traços da litosfera em ordem de abundância. 47
Figura 6. 3: Gráfico do resultado do Percentual de Perda por Calor (PPC)53
Figura 6. 4: Correlação do perfil estratigráfico referente ao testemunho da Lagoa dos Coutos, com o gráfica de
percentual de perda ao fogo
Figura 7. 1: Mobilidade dos elementos químicos em ambiente superficial, levando-se em consideração apenas o potencial iônico (Modificado Smith & Huyck 1999 apud Alleoni et al. 2005)
Figura 7. 2: Quadro com os gráficos de dispersão entre os elementos: Ti e V; Fe e Ti; Ti e Zr; Na e K; P e Mg; P
e Zr 61

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 5. 1: Concentração de parte dos elementos maiores da litosfera medido pelo ICP-OES.	33
Tabela 5. 2: Concentração de parte dos elementos maiores da litosfera medido pelo ICP-OES	35
Tabela 5. 3: Concentração de parte dos elementos traços da litosfera medido pelo ICP-OES	36
Tabela 5. 4: Concentração de parte dos elementos traços da litosfera medido pelo ICP-OES.	37
Tabela 5. 5: Tabela síntese do percentual por perda por calcinação	38
Tabela 6. 1: Tabela com dados estatísticos da análise geoquímica referente aos elementos Sr, Th, Sc, Zn e Y.	44
Tabela 6. 2: Resultado do coeficiente de correlação de Pearson entre os elementos maiores da litosfera	48
Tabela 6. 3: Resultado do coeficiente de correlação de Pearson entre os elementos traços da litosfera.	49
Tabela 6. 4: Resultado do coeficiente de correlação de Pearson entre os elementos maiores e traços.	50

Resumo

O presente trabalho trata da investigação da gêneses da Lagoa dos Coutos e das mobilidade de área fonte dos sedimentos por meio de análises geoquímicas de ICP-OES e PPC em sedimentos da Lagoa dos Coutos, situada no Parque Nacional da Serra do Gandarela. Essa feição lacustre representa uma das 13 presentes na região, sendo que todas elas se encontram alinhadas em um trend NE-SW na Sinclinal Gandarela. O objetivo do trabalho é analisar e se obter dados geoquímicos referente a um testemunho de 1,24 m retirado na lagoa, para investigar hipóteses referentes à gênese das lagoas, a mobilidade da área fonte ao longo dos anos e trazer uma descrição do sedimento encontrados. As lagoas da Serra do Gandarela apresentam poucos estudos científicos em relação a sua geologia e sua geoquímica, logo esse trabalho busca ainda fomentar os estudo acadêmicos a cerca dessas feições atípicas do Quadrilátero Ferrífero. O principal motivo para o desenvolvimento desse trabalho foi devido aos poucos trabalhos referentes a geologia e a geoquímicas dessas feições, além de possuir um cunho ambiental, uma vez que a região onde se encontram apresentam atividades mineiras ativas, assim com esse trabalho busca trazer visibilidade às lagoas de alta altitudes para sua preservação, uma vez que essas apresentam potencial turístico, econômico e acadêmico. Por meio das análises realizadas foi possível se obter a concentrações dos elementos Mn, Al, Fe, Ca, K, Mg, Na, P e Ti, elementos maiores da litosfera, Ba, Co, Cr, Cu, Li, Ni, Sc, Sr, Th, V, Y, Zn, Be, Zr e S, elementos traços da litosfera. Após os resultados foi realizado a descrição dos resultados geoquímicos e a análise por meio do coeficiente de correlação de Pearson, além da um perfil estratigráfico geoquímico, com intuito de facilitar a análise. Por fim, chegou-se a duas conclusões que os lagos possivelmente são formados por dissolução de rochas e apresenta-se duas hipóteses para a mobilidade de áreas fontes, além de explicar a correlações elementares por meio do coeficiente de Pearson com suas mobilidades.

Palavras chave: Geoquímica, Sedimentos, Lagoas, Concentração elementar e Gêneses de lagos.

Abstract

The present work deals with geochemical analyses using ICP-OES and PPC on sediments from Lagoa dos Coutos, located in the Serra do Gandarela National Park. This lacustrine feature represents one of the 13 present in the region, all of which are aligned in a NE-SW trend at the Gandarela Syncline. The objective of this work is to analyze and obtain geochemical data from a 1.24 m drill-core sample taken from the lake, in order to interpret and present hypotheses regarding the genesis of the lakes, the mobility of the source area over the years, and to provide a description of the sediment record. The lakes of the Gandarela Mountain Range have few scientific studies regarding their geology and geochemistry. Therefore, this work aims to promote academic studies of these atypical features of the Quadrilátero Ferrífero. The main reason for the development of this work is due to the few studies on the geology and geochemistry of these features, as well as their environmental significance, as the region where they are located has active mining activities. Thus, this work aims to bring visibility to the highaltitude lakes for their preservation, as they have potential for tourism, economic and academic purposes. Through the conducted analyses, we were able to obtain the concentrations of major lithospheric elements including Mn, Al, Fe, Ca, K, Mg, Na, P, and Ti, as well as trace elements such as Ba, Co, Cr, Cu, Li, Ni, Sc, Sr, Th, V, Y, Zn, Be, Zr, and S. Following the results, a description of the geochemical findings was carried out, along with an analysis using the Pearson correlation coefficient. Furthermore, a geochemical stratigraphic profile was constructed to aid in the analysis. Ultimately, two conclusions were reached: the lakes are likely formed through rock dissolution, and two hypotheses were proposed to explain the mobility of source areas. The elemental correlations were elucidated by employing the Pearson coefficient to assess their mobility.

Key words: Geochemistry, Sediments, Lakes, Elemental concentration and Genesis of lakes.

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

A província mineral do Quadrilátero Ferrífero (QF) está localizada na porção central do Estado me Minas Gerais e na região meridional do Cráton São Franciso. O QF é conhecido por seus grandes depósitos minerais, bem como pelo seu potencial econômico e por apresentar uma geomorfologia atípica e relativamente complexa. O relevo dessa região é marcado por serras que formam uma geometria quadricular, constituídas essencialmente pelas unidades do Supergrupo Minas. Dentre essas unidades, tem-se a Formação Cauê, caracterizada pela presença de itabiritos, principal rocha constituinte dos depósitos ferríferos, e, por conta desse aspecto, a região foi denominada como Quadrilátero Ferrífero. O trabalho em si trata-se do estudo geoquímico dos sedimentos da Lagoa dos Coutos, uma das treze lagoas de alta altitude alojada em uma das serras do QF, mais especificamente na Serra do Gandarela. Essas feições chamam atenção por serem atípicas e por não apresentarem muitos estudos em âmbitos geológicos, além de seus sedimentos apresentarem potencial para o estudo do período Quaternário no contexto do QF.

No presente trabalho, será apresentado a principal hipótese para a gêneses da Lagoa dos Coutos e também as hipóteses de mobilidade de área fonte dos últimos 100 mil anos, por meio dos resultados das análises geoquímicas dos sedimentos dos lagos de alta altitude do Sinclinal Gandarela, em específico a Lagoa dos Coutos. O intervalo de tempo para a interpretação das áreas fontes se restringiu a 100 mil anos, uma vez que o testemunho coletado para o trabalho apresentava uma espessura de 1,24 m, esse parâmetro de tempo é estimado conforme o trabalho de (Leibowitz 2016), em que com a datação de ¹⁴C estimou-se um intervalo de 500-900 anos/cm, apresentando assim uma baixa taxa de sedimentação.

1.2 LAGOA DOS COUTOS

A Lagoa dos Coutos, local da coleta dos sedimentos, faz parte de um conjunto de lagos fechados localizados no Parque Nacional da Serra do Gandarela, conforme o trabalho de Pereira & Salgado (2010) essa feição representa umas das 13 depressões cársticas presentes na região. No mapa apresentado no trabalho (Figura 1.1) é possível se perceber que essas feições apresentam um *trend* NE-SW, com um total de 12,98 Km² sendo o que as áreas dessas depressões apresentam 1,01 Km².

Zamora, C. G. M. 2023, Análise Geoquímica do Sedimento dos Lagos de Altitude da Serra do Gandarela.



Figura 1.1: Mapa de localização da regiões de depressões cársticas no Parque Nacional da Serra do Gandarela (Pereira & Salgado 2010).

Conforme o autor Leibowitz (2016), a Lagoa dos Coutos (19°59'6.54"S; 43°33'4.75"W) por mais que se encontre na bacia hidrográfica do Rio Doce, não é alimentada por nenhum sistema fluvial, logo são as estações e períodos de chuva que regem o balanço hídrico da lagoa. Leibowitz (2016), descreve que a profundidade da lagoa em períodos chuvosos varia de 0,65 m a 1,5 m de coluna d'água (Figura 1.2), já nos períodos de seca por volta de agosto, essa feição se encontra completamente seca (Figura 1.3). Vale ressaltar que o autor supracitado informa que a região da Lagoa dos Coutos está situada em uma área de vegetação típica de canga.



Figura 1. 2: Lagoa dos Coutos em época de chuva (Pereira & Salgado 2010).



Figura 1. 3: Lagoa do Coutos em período de seca (Leibowitz 2016).

Outros autores que dissertaram sobre essa feição foram Dias (2014) e Carmo (2010), que delimitaram a lagoa dos Coutos em cerca de 10,53 hectares, em uma altitude de aproximadamente 1.072 m acima do nível do mar, sob clima subtropical. Além disso, conforme Dias (2014), a temperatura da água nos períodos chuvosos varia de 29,9 a 18,0 graus Celsius, com uma média de temperatura de 24,6. Por fim, Dias (2014) ainda mediu a condutividade da água e seu resultado foi de 70 e 120 µS.cm-1, e o pH das águas variaram entre 4,77 a 7,46 (*apud* Viana 2017; Silvia 2018). No trabalho de (Silva 2018),

Zamora, C. G. M. 2023, Análise Geoquímica do Sedimento dos Lagos de Altitude da Serra do Gandarela.

também foi medido o pH da Lagoa do Coutos e se registrou um pH de caráter ácido, variando de 4,29 e 5,00 outra medida resultada desse trabalho foi a matéria orgânica no sedimento até 10 cm de profundidade, com uma média de 560,6 g/kg.

1.3 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo encontra-se no domínio fisiográfico da Serra do Gandarela, localizado na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero, próximo às cidades de Santa Barbara e Barão de Cocais. Dentre os levantamentos feitos na região a área de estudo se encontra em três mapas, o primeiro referente a um trabalho realizado por Dorr (1963), de escada 1:150.000, em seguida há o mapa de Endo *et al.* (2019), de escala 1:150.000, e por fim, o último levantamento foi realizado pelo Serviço Geológico de Brasil (CPRM) (Silva *et al.* 2021), com escala de 1:250.000. Vale ressaltar que os 3 mapas citados não possuem enfoque na Sinclinal Gandarela, mas em todo o contexto do Quadrilátero Ferrífero, que por sua vez engloba a área de estudo.

Situada a cerca de 80 km de Ouro Preto, o acesso à área de estudo é realizado a partir das rodovias BR-356 (Rodovia dos Inconfidentes), saindo de Ouro Preto em direção à Belo Horizonte, devendo-se entrar à direita na Rota Turística Jaguará no Trevo Acuruí (Figura 1.4). Posteriormente, deve-se se seguir nessa rota sentido Acuruí, Glaura e Floresta Uaimii, até chegar ao Parque Nacional da Serra do Gandarela. O primeiro lago de altitude que se encontra nesse caminho é chamado de Lagoa do Metro, após o Mirante do Gandarela. O restante dos lagos está localizado sentido Barão de Cocais e o acesso a essas áreas é feito por estradas de terra do parque. O total de tempo de percusso é de aproximadamente 2 horas.



Figura 1. 4: Localização da área de estudo e trajeto como ponto de partida o município de Ouro Preto, com o respectivo posicionamento no estado de Minas Gerais (Google Earth 2022).

1.4 OBJETIVOS

O objetivo principal é apresentar hipóteses para a gêneses da Lagoa dos Coutos e a mobilidade da área fonte dos sedimentos, para isso é necessário se obter um conjunto de dados geoquímicos dos sedimentos e assim buscar suas assinaturas geoquímicas. O conjunto de dados obtidos são as concentrações dos elementos maiores e traços de cada amostra, além da perda por calcinação.

Além disso, como objetivos secundários da análise sedimentar, tem-se a produção de um perfil estratigráfico demonstrando a sucessão de materiais sedimentares depositados conforme a profundidade. Para isso, será realizada a descrição do testemunho, englobando a textura do material, a composição e presença de matéria orgânica. Com essa descrição e com os resultados da geoquímica foi laborado um perfil estratigráfico relacionado a gráficos que demonstrem a variação da concentração de elementos químicos e o percentual de perda por calcinação. Esse perfil servirá como peça fundamental para a discussão, uma vez que esse modelo de resultado facilita a visualização e o comportamento dos elementos de maneira sintetizada.

Por fim, o último objetivo desse trabalho é fomentar a discussão acadêmica em relação a essas feições presentes na Província do Quadrilátero Ferrífero. Mesmo sendo o QF um local de muitas publicações científicas, os lagos de alta altitude ainda não foram alvos de estudos, sendo este um dos primeiros a contemplá-los.

1.5 JUSTIFICATIVA

A área de estudo se encontra dentro de um parque nacional, local de preservação ambiental, entretanto, existem atividades mineiras no local, havendo mais de uma empresa em atividade. Logo, a primeira justificativa para se fazer essa pesquisa apresenta um cunho ambiental, buscando a preservação dos lagos, uma vez que são feições atípicas e podem demonstrar um grande potencial acadêmico e turístico.

Outro fator que justifica essa pesquisa é a falta de publicações científicas acerca do tema. A região do Sinclinal Gandarela é amplamente estudada devido ao seu potencial econômico, assim como o Quadrilátero Ferrífero em geral, e por conta da sua complexidade estrutural. Logo, o desenvolvimento deste trabalho busca fomentar o estudo acadêmico da área, e com isso servir de base para próximas pesquisas relacionadas à estudos ambientais e geoquímicos regionais. Além disso, por se tratar de locais pouco estudados, essa pesquisa pode contribuir com estudos já realizados anteriormente. Por fim, a última justificativa se refere ao potencial de estudo do período Quaternário.

1.6 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado conforme os itens descritos a seguir. Vale ressaltar que os itens abaixo se encontram na ordem necessária para a produção do trabalho. Logo, estes demonstram a estruturação primária do trabalho, abordando a parte inicial com a revisão bibliográfica, dando continuidade com a parte amostral, e finaliza com a apresentação dos resultados.

1.6.1 Revisão bibliográfica

As publicações científicas acerca dos lagos de altitude da Serra do Gandarela, são relativamente escassas e durante a revisão bibliográfica o principal trabalho que abordava o referente tema é o de Dorr (1969), que abrange as coberturas cenozóicas. Além desse trabalho, os demais que abordam esses lagos possuem foco na biologia e paleontologia desses ambientes lacustres. Dentre estes o principal trabalho que serviu de referência foi elaborado em 2016, pelo aluno de mestrado Zachary William Leibowitz, na UFOP, além do trabalho de Dias (2014) e Carmo (2010). É importante citar também o trabalho de Nogueira (2018), que foi fundamental para a escolha e aplicação dos métodos geoquímico. Por fim, o trabalho de Esteve (1998) foi de grande valia para compreender a gêneses dos sistemas lacustres.

1.6.2 Coleta e seleção de amostras

A coleta do testemunho de sondagem foi efetuada por meio do testemunhador *Russian Peat Borer*, sonda específica para a coleta de sedimentos inconsolidados. Para um bom funcionamento do testemunhador o equipamento deve ser manuseado em locais de águas rasas de no máximo 2 metros de coluna de água, sendo possível coletar apenas 0,50 m de testemunho por manobra. Vale ressaltar que a coleta de material foi realizada por terceiros e as amostras foram concedidas para esse trabalho.

Todo o equipamento é constituído em 7 partes: Um estojo plástico para seu armazenamento, um tubo amostrador de aço inoxidável (dimensões: 0,50 m x 5,4 cm de diâmetro e espessura de 2 mm), três barras de extensão em alumínio (dimensões: 1 m x 1,9 cm de diâmetro), uma manivela de composição magnésio-zirconium (dimensões: 3,25 cm de diâmetro) e por fim, uma chapa de aço inoxidável de 2 mm de espessura (Souza *et al.* 2008). Ademais, o testemunhador conta com uma ponteira e cabeça constituída por um material sólido (Delrin®), fundamentais para a sustentação e o equilíbrio do equipamento. Vale pontuar, que a barra de extensão do material pode ser usada em maior quantidade caso seja necessário, assim as duas barras, ou três, são conectadas por meio de um rebite (Figura 1.5).



Figura 1. 5: Modelo estrutural do testemunhador e etapas operacionais para amostragem sedimentológica (Souza *et al.* 2008).

O procedimento operacional desse equipamento é totalmente manual e é efetuado através de 5 estágios. O primeiro deles consiste em inserir o testemunhador verticalmente no sedimento inconsolidado, em seguida, é necessário rotacionar 180 graus no sentido horário, com auxílio da manivela, contemplando o segundo estágio. No terceiro estágio é necessário manter a amostra fechada na posição vertical, para que haja a estabilização do sedimento coletado. Em sequência, o equipamento é retirado e o tubo é rotacionado 180 graus, porém dessa vez no sentido contrário, anti-horário (estágio 4). Por fim, o testemunho é exposto sobre a chapa de aço, estágio 5, e está pronto para a coleta. No caso do presente trabalho, foi utilizado um tubo de PVC com o mesmo diâmetro do tubo amostrador e 0,50 m de comprimento, para cada testemunho coletado. É importante ressaltar que para a coleta de mais de 0,50 m de testemunho é necessário a realização de furos vizinhos, para não haja contaminação e que o sedimento inconsolidado não seja afetado pelo furo já aberto.

Após a coleta do testemunho, foi realizada a separação para a análise das amostras no laboratório de Paleontologia do DEGEO/UFOP. Foram separadas 30 amostras, com o seguinte critério: de 5 em 5 cm, de cada manobra, coletou-se aproximadamente 20 g de sedimento inconsolidado, e armazenou-se cada amostra em um saco *ziplock* para sua conservação. Na separação das amostras foi utilizado um estilete, para cortar o testemunho, e uma espátula para a coleta, sendo todos esses equipamentos esterilizados a cada corte para não ocorrer contaminação. A esterilização foi efetuada através da lavagem dos equipamentos com álcool 70%. No final, as amostras foram armazenadas em uma geladeira para conservação.

1.6.3 Descrição de testemunho

Antes de separar as amostras para as análises geoquímicas, foi realizada a descrição do testemunho, que possuiu um caráter tátil visual. A descrição se limitou a análise mineralógica, granulométrica e textural, realizada no laboratório de Paleontologia do DEGEO/UFOP, com auxílio de lupa com aumento de 30x, para uma melhor visualização, e régua milimétrica para a medição dos grãos.

Para a descrição do testemunho foram utilizados 6 critérios: o primeiro é embasado na espessura das camadas de sedimentos incosolidados presentes; o segundo critério relaciona a cor do material; o terceiro é mais complexo, uma vez que abrange mais de uma característica da amostra, como granulometria e a composição do material, limitado a uma descrição tátil visual; o quarto e quinto critério abordam a questão orgânica das amostras, ou seja, contabiliza, em uma escala de alta, média e baixa, a concentração de matéria orgânica e a quantidade de detritos vegetais presente nos trechos; e o último critério consiste nas observações de contato entre as camadas ou outras características particulares que não se enquadram nos outros parâmetros.

Para a designação da granulometria de cada trecho, foi realizado a medição dos grãos maiores e menores quando possível, e foi inferido o intervalo entre os dois. O trabalho de referência para se classificar a granulometria foi do Wentworth (1922), conforme ilustrado na Figura 1. 6. Por fim, para o cálculo dos trechos, nos tubos de PVC que comportavam os testemunhos foram graduados de 1 em 1 cm, com auxílio de uma régua, para facilitar na medição do tamanho de cada camada.

Zamora, C. G. M. 2023, Análise Geoquímica do Sedimento dos Lagos de Altitude da Serra do Gandarela.

THE GRADE TERMS					
The Pieces	The Aggregate	The Indurated Rock			
Bowlder	Bowlder gravel	Bowlder conglomerate			
256 mm. Cobble	Cobble gravel	Cobble conglomerate			
64 mm. ———— Pebble	Pebble gravel	Pebble conglomerate			
4 mm. Granule	Granule gravel	Granule conglomerate			
2 mm. Very coarse sand grain	Very coarse sand	Very coarse sandstone			
r mm. Coarse sand grain	Coarse sand	Coarse sandstone			
1/2 mm. Medium sand grain	Medium sand	Medium sandstone			
1/4 mm. Fine sand grain	Fine sand	Fine sandstone			
Very fine sand grain	Very fine sand	Very fine sandstone			
Silt particle	Silt	Siltstone			
1/256 mm. Clay particle	Clay	Claystone			

TABLE I The Grade Terms

Figura 1. 6: Tabela com as granulometrias e seus devidos tamanhos (Wentworth 1922).

1.6.4 Métodos geoquímicos e preparação amostral

Os métodos geoquímicos escolhidos para o presente trabalho foram: determinação dos elementos maiores e traços e perda por calcinação. O equipamento para a realização do primeiro método geoquímico é o Espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) - Agilent 725, que se encontra em funcionamento no laboratório de Geoquímica do DEGEO/EM/UFOP. Já o segundo método conta com a utilização do forno mufla digital, que também se encontra no DEGEO/EM/UFOP. O funcionamento e a explicação dos métodos utilizados serão apresentados posteriormente no capítulo 3: Métodos Geoquímicos.

A preparação das amostras seguiu um passo a passo similar para os dois métodos apresentados. A sequência de preparação conta com, primeiramente, a secagem das amostras por meio de uma estufa, o tempo necessário para a secagem total varia conforme a humidade do material, e a temperatura a ser utilizada é 100 graus Celsius. Após a secagem do material, é feito a separação dos detritos vegetais, por meio da catação, com auxílio de uma pinça, separando o sedimento de restos vegetais, como galhos, folhas e raízes. Por fim, foi realizado a pulverização das amostras, para que estivessem na granulometria necessária para o equipamento, por meio do almofariz e pistilo de ágata. A partir desse momento, cada análise geoquímica parte para uma preparação química especifica, apresentada com maior detalhamento do capítulo 3.

1.6.5 Perfil estratigráfico e a variação das concentrações de elementos químicos

O perfil estratigráfico geoquímico é um produto essencial desse trabalho, pois facilita a visualização dos resultados e traz uma síntese dos dados obtidos em apenas um local. A coluna foi graduada de 10 em 10 cm no eixo Y, e no eixo X foi graduada conforme a granulometria apresentada no trabalho Wentworth (1922). A exibição geológica (corpo da coluna) possui todos os aspectos analisados na descrição dos testemunhos. Ao lado esquerdo foram apresentados gráficos de linhas com as variações dos elementos maiores e traços identificados em cada amostra e suas perda percentuais por calor. Os intervalos de pontos que foram utilizados para a realização dos gráficos seguiram o mesmo intervalo de coleta de amostras, de 5 em 5 cm. A coluna estratigráfica foi toda desenvolvida em *software* de digitalização, sendo mais específico no *software CorelDRAW* versão 2021.

Zamora, C. G. M. 2023, Análise Geoquímica do Sedimento dos Lagos de Altitude da Serra do Gandarela.

CAPÍTULO 2

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO

A área investigada situa-se na região centro-oeste do Estado de Minas Gerais, na porção Meridional do Cráton São Francisco (Figura 2.1), onde afloram os terrenos arqueanos e proterozóicos desse domínio tectônico (Alkmim & Marshak 1998). O Quadrilátero Ferrífero é a maior província mineral do sudeste brasileiro, com depósitos de ferro localizados na Fm. Cauê, depósitos de ouro nos *greenstone-belts* Rio das Velhas e na Fm. Moeda, entre outros depósitos de relevância econômica e acadêmica. O controle estrutural dessa região é extremamente complexo e está em discussão até os dias atuais. Um dos primeiros modelos criado para se justificar a geomorfologia atípica e a evolução da região é dos pesquisadores Alkmim & Marshak (1998), que defendem o modelo de domos e quilhas para os terrenos mesoarqueanos. Já Endo *et al.* (2019) defendem o modelo de sistemas de *nappes*.



Figura 2.1: Mapa regional do Cráton São Francisco com enfoque no Quadrilátero Ferrífero (Alkmim & Marshak 1998).

Zamora, C. G. M. 2023, Análise Geoquímica do Sedimento dos Lagos de Altitude da Serra do Gandarela.

2.2 QUADRO ESTRATIGRÁFICO

O Quadrilátero Ferrífero (QF) é um grande edifício tectônico, sendo marcado litoestratigraficamente por quatro unidades, conforme Alkmim & Marshak (1998) : (i) embasamento cristalino arqueano, composto de complexos gnáissicos e migmatiticos 2.9 - 3.2 Ga (Teixeira, 1985, 1993) e granitóides de composição tonalitica-trondhjemitica-ganodioritica (TTG) (Hippertt & Davis 2000); (ii) Supergrupo Rio das Velhas, que consiste em um greenstonebelt arqueano de rochas metavulcânicas e metassedimentares (Alkmim & Marshak 1998); (iii) Supergrupo Minas, formado por rochas metassedimentares depositadas durante o Neoarqueano e Paleoproterozoico, que sobrepõe sobre inconformidade o Supergrupo Rio das Velhas (Farina et al. 2015); (iv) e o Grupo Itacolomi, formado por quartzitos e conglomerados polimíticos (Farina et al. 2015; Dorr 1969; Lacourt 1935). Já no trabalho de Endo e colaboradores (2019) existem algumas divergências com a pesquisa referenciada acima, sendo elas: O Grupo Itacolomi se encontra dentro do Supergrupo Estrada Real, que é constituído de rochas metassedimentares clásticas e químicas além de rochas metavulcânicas variando de félsicas a ultramáficas; a segunda diferença é a presença do Grupo Barbacena, que possui a mesma constituição do Supergrupo Estrada Real, porém as metavulcânicas variam de máficas a ultramáficas; e por fim, a última divergência é a presença do Supergrupo Espinhaço, composto por rochas metassedimentares clásticas.

2.2.1 Unidades do embasamento

No Quadrilátero Ferrífero e em seus arredores, encontra-se exposição do embasamento do Cráton São Francisco, sendo assim uma das 3 regiões em que as unidades cristalinas afloram. As unidades metamórficas do embasamento, no QF, são representadas pelos complexos: Belo Horizonte, Divinópolis, Bonfim, Bação, Santa Barbará, Caeté e Guanhães.

Conforme o trabalho de Endo *et al.* (2019), os complexos metamórficos são compostos, macroscopicamente, por ortognaisses, tanto laminados quanto bandados, migmatitos, granitóides leucocráticos, veios e diques máficos de diferentes gerações. Além disso, esse mesmo trabalho apresenta 4 eventos tecno-magmáticos, que formaram o embasamento cristalino, que ocorreram entre 3.220 Ma a 2.680 Ma. Os eventos citados no trabalho foram, em ordem cronológica, Santa Barbará, Rio das Velhas I e II e Mamona. No trabalho de Alkmim & Marshak, (1998), são reconhecidos 3 eventos magmáticos que formaram o embasamento cristalino, o primeiro evento é datado de 2,9 – 3,2 Ga formando o complexo gnaisse/migmatito, em seguida há duas gerações de dois plutons arqueanos, o primeiro de 2,78 - 2,77 e o segundo em 2,73 - 2,61.

2.2.2 Supergrupo Rio das Velhas

O Supergrupo Rio das Velas representa uma sequência do tipo *greenstone-belts* (Alkmim & Marshak 1998; Endo *et. al.* 2019), possuindo uma intercalação de rochas vulcânicas junto a rochas sedimentares. Esta unidade apresenta uma idade máxima de deposição de 2,857 Ga (Schrank & Machado 1996 b *apud* Alkmim & Marshak 1998), conforme datações de U-Pb em zircões e monazitas detríticas. O Supergrupo é constituído por 3 Grupos, da base para o topo, sendo eles: Gr. Quebra Osso, Gr. Nova Lima e Gr. Maquiné. O contato entre as unidades do embasamento e o Supergrupo Rio das Velhas apresenta uma discordância e um descolamento basal (Endo *et al.* 2019).

O Gr. Quebra Osso é composto por rochas metavulcânicas máfica-ultramáficas e félsicas (Endo *et al.* 2019). Conforme Schorscher (1992), essa unidade está distribuída em interações de metakomatiltos, rochas metaultramáfias extrusiva subaquática, com sedimentos químicos. Uma importante característica litoestratigráfica do Grupo é a presença das formações ferríferas bandadas do tipo algoma e komatiítos, rocha que possui relevância econômica (Ferreira 2020).

Em seguida, o Grupo Nova Lima é formado por uma associação metavulcanossedimentar química, metavulcanoclástica e metassedimentar clástica marinha (Endo *et al.* 2019). O grupo, não apresenta nenhuma formação em sua composição, assim como os Gr. Quebra Ossos, isso se dá pois os pacotes de rochas não atendem todos os critérios para serem classificados como formação. Vale ressaltar que esta unidade também apresenta formações ferríferas bandadas do tipo algoma, o que indica um intervalo temporal, sendo datado do Arqueano. Na coluna estratigráfica da Endo *et al.* (2019), o Gr. Nova Lima está datado de 2.774 Ma.

Por fim, o Gr. Maquiné, última unidade do Supergrupo Rio das Velhas, possui duas formações: Palmital e Casa Forte (base para o topo). Conforme Dorr *et al.* (1957) o contato entre o Gr. Maquiné e o Gr. Nova Lima apresenta uma natureza de discordância angular e erosiva (Zucchetti 1998). A Fm. Palmital é constituída por xisto, quartzo-clorita xisto e filito e a Fm. Casa forte, que por sua vez é composta por metaconglomerado, metadiamictito e quartzitos. Em suma, o Gr. Maquiné é composto, de forma geral, por rochas metassedimentares de origem não marinha (Endo *et al.* 2019). A presença de conglomerados e metadiamictitos na base da Fm. Casa Forte indica uma delimitação das unidades por descontinuidade por fluxos sedimentares (Angeli 2015).

2.2.3 Supergrupo Minas

O contato entre o Supergrupo Minas e o Rio das Velhas é marcado por uma discordância caracterizando um hiato deposicional e a passagem do Arqueano para o Paleoproterozóico (Alkmim & Marshak 1998). A unidade a ser discutida nesse tópico é de extrema importância em questões
econômicas, uma vez que nessa unidade está alojada a Fm. Cauê, que contempla as formações ferríferas bandadas do tipo lago superior, rocha originária dos itabiritos explorados atualmente. Também deve se ressaltar que o Supergrupo Minas marca as serras da região do quadrilátero ferrífero.

Conforme Endo *et al.* (2019), o Supergrupo Minas é divido em 4 grupos, da base o para o topo: Tamanduá (Fm. Cambotas e Fm. Morro Grande), Caraça (Fm. Moeda e Fm. Batatal), Itabira (Fm. Cauê e Fm. Ganderela) e Piracicaba (Fm. Cercadinho, Fm. Fecho do Funil, Fm. Taboões e Fm. Barreiro). Alkmim & Marshak (1998), interpretam essa sequência estratigráfica como um registro da fase *rifte* com a transição para uma fase margem passiva.

A Fm. Cambotas é composta em geral por quartzitos, em que algumas porções apresentam lâminas ferruginosa, e por xistos quartzosos e argilosos, marcando a fase rifte por sedimentos clásticos. Já a Fm. Morro Grande, é constituída por dois tipos de rochas, xistos filíticos e quartzosos, xisto ferruginosos e formações ferríferas dolomítica, marcando já a deposição de sedimentos químicos, indicando ambientes subaquático (Alkmim & Marshak 1998; Endo *et al.* 2019)

O Gr. Caraça é composto em sua base por quartzitos, filitos e metaconglomerados, representando a Fm. Moeda, sedimentos clásticos associados a ambiente continental, como fluvial, leques aluviais e deltaico (Bizzi *et al.* 2003). Vale salientar, que essa unidade apresenta depósitos auríferos do tipo *placer* nos conglomerados (Pires 2005). Em seguida, a Fm. Batatal, é constituída de maneira geral por filitos, apresentando formações ferríferas, filito grafitoso, mármore dolomítico e metachert (Endo *et al.* 2019).

A Fm. Cauê, base do Gr. Itabira, é constituída majoritariamente por itabirito, em que seu protólito são formações ferríferas bandadas do tipo lago superior. Ademais, essa unidade apresenta filitos, quartzitos e mármore subordinados. A Fm. Gandarela, é marcada por uma sedimentação química, assim as principais rochas dessa unidade são: dolomitos ferruginosos e filiticos, itabiritos e filitos (Endo *et al.* 2019). Por fim, Alkmim & Marshak (1998), interpretam que essa sequência de rochas representa o registro de uma bacia de margem passiva.

Por último, o Gr. Piracicaba está sobreposto a Fm. Gandarela por meio de uma discordância, conforme Alkmim & Marshak (1998), e é composto por uma sequência de rochas de ambiente marinho. Em sua base, há presença de filitos prateados e quartzitos ferruginosos. Em seguida, por meio de um contato gradacional, tem-se a Fm. Fecho do Funil constituída por filitos, metassiltitos e dolomitos. Por fim, a Fm. Taboões que é composta por ortoquartzitos, e a Fm. Barreitos caracterizada pela presença de xistos e filitos (Dorr *et al.* 1957 *apud* Endo *et al.* 2019).

2.2.4 Supergrupo Estrada Real

O Supergrupo Estrada Real, ainda se encontra em discussão entre os cientistas da área, uma vez que alguns trabalhos consideram os Grupos Sabará e Itacolomi dentro dessa unidade (Almeida *et al.* 2005, Endo *et al.* 2019). Porém, os demais trabalhos não consideram a unificação dessas unidades em um Supergrupo, pois não há características suficientes para tal (Dorr *et al.* 1969; Alkmim & Marshak 1998). Trabalhos como Dorr *et al.* (1969) e Alkmim & Marshak (1998), consideram o Gr. Sabará dentro da Série Minas e o Grupo Itacolomi em uma época pós Minas. Por fim, um trabalho que deve ser ressaltado é o de Gonçalves (2021) que mostra, por meio de geoquímica, a diferença das assinaturas geoquímicas entre os zircões do Gr. Sabará com os restantes das unidades do Supergrupo Minas, se assemelhando mais a assinatura do Gr. Itacolomi.

No presente trabalho foi utilizado como referência o trabalho de Endo *et al.* (2019) para retratar a estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero. Logo, o Supergrupo Estrada Real é composto por três Grupos, da base para o topo: Barbacena, Sabará (Fm. Córrego do Germano, Fm. Saramenha e Fm. Catarina Mendes) e Itacolomi (Fm. Florália e Fm. Pico do Itacolomi).

O Gr. Barbacena, alocado na base do Supergrupo Estrada Real, é composto por xistos com presença de xistos manganesíferos, micaxisto e grafita xisto, gonditos queluzitos, rochas metaultramáficas, filitos e quartzo feldspático. Na base do Gr. Sabará a Fm. Córrego do Germano é constituída, em sua maioria, por duas rochas: Formações ferríferas bandadas do tipo granular e quartzitos ferruginosos. A Fm. Saramenha é composta, majoritariamente, por xistos, sendo os principais clorita xisto e mica xisto, intercalados com metragrauvacas, formações ferríferas bandadas e quartzitos. Por fim, fechando o Gr. Sabará, a Fm. Catarina Mendes é formada por biotita-quartzo-xisto, filitos e quartzitos Endo *et al.* (2019). Vale ressaltar, que no trabalho de Reis *et al.* (2002), o Gr. Sabará é descrito como um depósito de leques submarino com planície de bacia e leques de encontras proximais, sendo esse pertencentes de uma bacia do tipo antepaís compartimentada.

O Gr. Itacolomi é composto em sua base por ortoquartzitos, representados pela Fm. Florália, unidade formalizada no trabalho de Endo *et al.* (2019). Em seguida, a Fm. Pico do Itacolomi, consiste majoritariamente, por metarenitos quartzosos com estratificações cruzadas acanaladas, marcadas por óxido de ferro, quartzitos maciços, itabiritos, filitos e metaconglomerados. É importante ressaltar que a Fm. Pico do Itacolomi representa o Gr. Itacolomi no trabalho de Dorr (1969).

2.2.5 Coberturas cenozoicas

Endo *et al.* (2019), considera que os depósitos cenozoicos são compostos por formações rochosas, além de cangas, depósitos aluvionares, coluvionares e eluvionares. Dentre as Formações se

encontram: Fm. Fonseca, Fm. Fazenda do Ganderela, Fm. Chapa da Canga, Fm. Cata Preta e Fm. Gongo Soco.

A composição de cada Formação, em termos litológicos, é bem variada, porém os ambientes de formação se assemelham, uma vez que todas as unidades caracterizam ambientes de sedimentação continental. A Formação Fonseca é constituída, principalmente, por conglomerados, linhitos, arenitos, siltitos e argilitos, sendo originados em ambiente flúvio-lacustre. Em seguida a Fm. Fazenda do Gandarela, é composta, majoritariamente, por arenitos, linhitos, recobertos por uma cama da de argila avermelhada, argilitos e canga. Maizatto (2001) interpreta a Formação Fazenda do Gandarela como depósitos de fluxo de detritos e lacustre. Em terceiro, a Formação Chapada de Canga é composta por ortoconglomerados oligomíticos com seixos de itabiritos e uma matriz ferruginosa fina, interpretado como rochas típicas de leques aluviais (Sant'anna 1994 *apud* Endo *et al.* 2019). A Fm. Cata Preta é formada principalmente por arenitos maciços de coloração avermelhada e por diamictitos, em que seus seixos variam de subangulosos a subarredondados, indicando ambiente de leques aluvial. Por fim, a Fm. Gongo Soco, é constituída, principalmente, por diamictitos, de diferentes composições de seixos, arenito de coloração amarelada e granulometria média e brechas. Dorr (1969) considera que na Bacia do Fonseca, do Gandarela e do Gongo Soco encontram-se os principais depósitos de sedimentos de idade cenozoica.

2.3 ARCABOUÇO ESTRUTURAL

Como dito anteriormente, ainda há uma discussão científica acerca do modelo de arcabouço estrutural do Quadrilátero Ferrífero. Os dois principais trabalhos que abordam esse tema são o de Endo *et al.* (2019) e Alkmim & Marshak, (1998). O primeiro trabalho defende o modelo de dobras de várias gerações, gerando um sistema de *nappes*, já o segundo trabalho interpreta o arcabouço estrutural como um modelo de domos e quilhas.

O trabalho de Alkmim & Marshak (1998) defende o modelo de domos e quilhas em que as estruturas foram formadas a partir de um colapso orogênico, do Orógeno Transamazônico. O início do embasamento estrutural do QF, conforme esses autores, se iniciou com a formação do Supergrupo Rio das Velhas. A constituição do supergrupo se deu por meio de três eventos magmáticos, sendo esses datados de 3,2; 2,8-2,7 e 2,7-2,6 Ga, o último consagrando a formação das clássicas rochas supracrustais granito-*greenstones-belts* Arqueano. A geometria das rochas configura os domos representados pelos granitos e os *greenstones belts* os rodeando em formatos de quilhas. Em seguida o Supergrupo Minas é formado em um ambiente de bacia de margem passiva, entre 2,6 e 2,4 Ga, em que o Quadrilátero Ferrífero se encontra na plataforma continental dessa bacia. Ranger *et al.* (1993) defendem que os Grupos Caraça e Tamanduá, devido a sua distribuição de fácies, representam o evento extensional do

início da formação da bacia. O final da Bacia Minas se dá por meio de uma orogenia colisional, formando assim o Orógeno Transamazônico, antes do desenvolvimento do cinturão de falha e cavalgamento, há a sedimentação dos estratos da Formação Sabará, datada de 2,125 Ga, com direção noroeste sobre uma bacia de antepaís, com uma sequência *flysch*. Por fim, há 2,095 Ga o terreno do QF sofreu uma extensão regional, causando o colapso do Orógeno Transamazônico, com isso uma nova estrutura de domos e quilhas é formada, cortando o terreno Arqueano. Dessa vez as rochas supracrustais se alojam nas quilhas e os domos são ocupados pelas rochas do embasamento. Durante esse evento de colapso o Gr. Itacolomi é formado, sendo essa unidade depositada em *narrow basins*

Já Endo *et al.* (2019) caracteriza o QF em 3 classes de dobras que constituem o arcabouço estrutural da região, as dobras regionais são: *Nappe* Curral (vergência N-NE), Sistemas de *Nappes* Ouro Preto (vergência S-SW) e demais dobras de terceira geração (resultado de redobramento e ou amplificação). A *Nappe* do Curral, é a principal estrutura que domina a porção ocidental do QF, sendo uma megadobra alóctone, conforme apresentado no trabalho de Endo *et al.* (2005), e as principais dobras que constituem essa *nappe* são: Anticlinal Bonfim, Anticlinal Curral, Sinclinal Moeda, Sinclinal da Mutuca, Anticlinal dos Fechos, Anticlinal Catarina, Sinclinal da Gaivotas e Sinclinal Mangabeiras.

Em relação a sequência estratigráfica da *nappe*, o Supergrupo Minas se encontra invertido dentro do domínio fisiográfico da Serra do Curral, interpretado como o flanco inverso dessa *nappe*, e o Supergrupo Rio das Velhas representa o núcleo da *Nappe* do Curral. O flanco normal da nappe, a sul da Serra do Curral, encontra-se redobrado formando a Sinclinal Moeda. A zona de charneira da *nappe* Curral está localizada na junção serra do Curral-Sinclinal Moeda, representando a anticlinal Curral, cuja atitude axial é 120/30. Por fim, o Sistemas de *Nappes* Ouro Preto delimita a *nappe* Curral a sul a recobrindo.

O Sistemas de *Nappes* Ouro Preto é constituído por 4 *nappes: Nappe* Ouro Preto, *Nappe* Santa Rita, *Nappe* Itabira-Rio Piracicaba, superior e *Nappe* Maquiné, inferior. Essa estrutura marca um segmento crustal alóctone sobre a *Nappe* Curral. As principais dobras associadas ao Sistema de *Nappes* Ouro Preto são, Sinclinal Gandarela, Sinclinal Ouro Fino, Sinclinal Santa Rita, Sinclinal Dom Bosco, Anticlinal Mariana, Anticlinal Conceição, Sinclinório de Itabira e Sinclinório João Monlevade-Rio Piracicaba. A *Nappe* Maquiné é contituidas pelas megadobras Sinclinal Gandarela, Siclinal Ouro Fino e pela Anticlinal Conceição, essa grande estrutura envolve os *greenstone-belts* do Supergrupo Rio das Velhas e o Supergrupo Minas em um conjunto de dobras regionais com vergência SSW e com uma geometria em estilo "M". A *Nappe* Santa Rita apresenta fatias dos *greenstone-belts* e unidades do Supergrupo Minas, sendo essa estrutura representada pela Sinclinal Santa Rita. A *Nappe* Itabira-Rio Piracicaba, é constituída pelo Sinclinório Itabira e o pelo Sinclinório João Monlevade-Rio Piracicaba, o flano inverso da *nappe* é representado pelo Sinclinório Itabita, sendo composto pelas unidades do Supergrupos Rio das Velhas e Minas, apresentando uma estratigrafía normal (Rossi *et al.* 2019), já o

flanco normal é composto pelo Sinclinório João Monlevade-Rio Piracicaba, apresentando unidades do Supergrupo Minas e Estrada Real. Por fim, a *Nappe* Ouro Preto é representada pelas megadobras, Anticlinal Mariana, Sinclinal Dom Bosco e pelo flanco inverso do sinclinal Santa Rita.

2.4 POSICIONAMENTO GEOLÓGICO DA LAGOA DOS COUTOS

A Lagoa dos Coutos, local em foco nesse trabalho, se encontra no Sinclinal Gandarela na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero. Os lagos dessa região, incluindo a Lagoa dos Coutos, se encontram entre as Fm. Cauê e a Fm. Gandarela que por sua vez a estratigrafia apresenta-se invertida, ou seja, nesse local a Fm. Cauê está por cima da Fm. Gandarela. Conforme Chemale Jr. *et al.* (1991) a Sinclinal Gandarela (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta uma estrutura sinforme, dívida em dois flancos, sendo um normal e o outro invertido. O flanco Nordeste apresenta uma natureza normal e por sua vez o flanco Sudeste apresenta-se invertido. Logo, a Lagoa dos Coutos se encontra no flanco Sudeste desse alto estrutural.

Em relação a geomorfologia desse local, a Lagoa dos Coutos se encontra em uma zona de de baixa altitude comparada ao seus arredores. Ou seja, a lagoa estudada se encontra em uma zona encaixada dentre duas serras.

2.5 LAGOAS, LAGOS E MARÉS

Os lagos são domínios hidrológicos típicos de ambientes continentais, formados por uma massa de água suficientemente profunda. Esses domínios são circundados por terra e apresentam uma extensão considerável, sendo que a vegetação terrestre não consegue se enraizar em seu substrato. A questão da extensão de um domínio hidrológico é importante para a sua classificação, uma vez que se essa massa de água apresenta uma extensão reduzida é classificada como lagoa, se a extensão é demasiada é denominado como maré, exemplo o Mar Morto, e se a extensão se mantém no meio termo o domínio é considerado um lago. Vale ressaltar, que a salinidade de um lago pode variar de doce, salobra ou salgada (Neumann *et al.* 2008 *apud* Silveira *et al.* 2014).

Na natureza apresentam-se dois tipos de lagos, os abertos e os fechados. Os lagos abertos apresentam efluentes permanentes, com o aporte hídrico em equilíbrio com a evaporação, logo as margens desse tipo de lago são estáveis apresentando pouca mobilidade. Nesse tipo de lago predomina a deposição do tipo de material clástico. Já nos lagos fechados as margens apresentam muita mobilidade, pois não há equilíbrio entre o aporte hídrico e a taxa de evaporação. Nesse tipo de lago não há presença de efluentes, e apenas a água de chuva controla os ciclos de expansão e contração. Nesse ambiente

predomina-se a deposição de sedimentos químicos, devido à alta concentração iônica (Neumann *et al.* 2008 *apud* Silveira *et al.* 2014).

O trabalho de Esteve (1998) aborda os fatores que regem a gênese de um lago, e pode-se destacar os fenômenos endógenos (que possuem origem no interior da crosta) e os exógenos (originários por causas exteriores) como os dois principais fatores para a formação de lagos. Em seu trabalho o autor classifica as gêneses dos lagos em 10 classes: lagos formados por movimentos diferenciais da crosta terrestres, lagos de origem vulcânica, lagos glaciares, lagos formados pela dissolução de rochas (lagos de dissolução ou erosão), lagos formados pela atividade de pastores, lagos formados pelo impacto de meteoritos, lagos formados pela atividade de rios, lagos formados pela atividade do vento (lagos de barragem eólica), lagos associados à linha costeira, lagoas costeiras e represas e açudes. Conforme o trabalho de Pereira & Salgado (2010), levanta-se a hipótese dos lagos da região estudada são formados por uma subsidência cárstica, assim se associando a classificação de lagos com gêneses de dissolução de rocha.

Os corpos d'água formados a partir de movimentos da crosta terrestre apresentam dois mecanismos diferentes para a gênese, o primeiro se trata de movimento epirogénicos, ou seja, são movimento de rebaixamento e elevação da crosta em busca de um equilíbrio isostático. O segundo movimento se trata de falhas tectônicas, isso significa que uma falha ao se alojar na crosta terrestre essa estrutura irá marcar uma depressão e uma descontinuidade no terreno, onde o corpo d'água irá se acomodar.

A gênese por meio da dissolução de rochas apresenta fatores de formação voltado ao intemperismo da rocha, logo como cada rocha apresenta uma reologia única, não são todos os ambientes que se formará um lago dessa natureza. Esteve (1998) apresenta 3 possibilidades para a formação desse tipo da lago, a primeira é referente a solubilização de rocha calcária, a segunda é referente a solubilização de salgema (cloreto de sódio) e o terceiro é referente a solubilização da gipsita (sulfato de cálcio). O autor ressalta que os lagos de rocha calcária apresentam geometria circular a ovalada e suas principais ocorrências são nos Alpes austríacos, Alpes suíços e Flórida e na península Balcânica.

CAPÍTULO 3

MÉTODOS GEOQUÍMICOS

3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, serão apresentados os métodos geoquímicos utilizados para a elaboração deste trabalho. São dois tipos de análises geoquímicas e cada uma delas busca trazer uma assinatura composicional das amostras. No caso deste trabalho, utilizaram-se os métodos: determinação dos elementos maiores e traços, e perda por calcinação (*loss on ignition*), que caracteriza a concentração de elementos voláteis das amostras, podendo ser nas amostras estudadas uma boa estimativa da presença de matéria orgânica. Os métodos geoquímicos são fundamentais para se ter dados precisos acerca da composição e concentração elementar de amostras e se calcular o percentual de material volátil presentes em sedimentos, solos e rochas. Durante essa pesquisa se optou a escolher esses métodos devido a acessibilidade ao equipamento, que é fornecido pelo laboratório de geoquímica do DEGEO/EM/UFOP, e por serem métodos muito eficazes para o objetivo do trabalho. Vale ressaltar, que existem vários métodos geoquímicos diferentes, logo, cabe ao pesquisador escolher aquele que melhor atende sua pesquisa e a sua acessibilidade.

3.2 DETERMINAÇÃO ELEMENTOS MAIORES E TRAÇOS POR ICP-OES

A espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) é uma maneira prática e com boa acurácia para a determinação de elementos maiores e traços, além de ser uma técnica difundida nos trabalhos geoquímicos atuais. Essa técnica consiste na emissão de radiação eletromagnética, causada pela colisão de um fóton, gerado de maneira eletromagnética, com o átomo de gás em seu estado fundamental, acarretando a energização do átomo, ou seja, o elétron que se encontra na camada de valência passa para a próxima camada mais externa. Porém, quando o átomo se encontra nesse estado, esse não se apresenta na forma estável, assim o elétron volta para sua camada de origem, o que acarreta a liberação de energia por parte do átomo, gerando assim uma emissão de radiação. A determinação dos elementos está intrinsicamente ligada a essa emissão, uma vez que cada elemento que entra em contato com essa emissão gera um espectro, logo, quando é um conjunto de elementos, esse espectro terá um comportamento único devido a proporção deles (Nogueira 2018).

A amostra é introduzida no ICP com um fluxo de argônio, através do tubo central de quartzo (tocha). O meio mais comum de introdução de amostras é o nebulizador pneumático. A solução a ser analisada é aspirada para o nebulizador por uma bomba peristáltica, onde a amostra é convertida em um aerossol fino. As gotículas são selecionadas na câmara do nebulizador, e somente gotas menores que 10 µm de diâmetro chegam ao plasma e as grandes gotículas são expelidas para descarte. As gotículas têm um diâmetro médio de aproximadamente 2 µm, e permitem vaporização eficiente e excitação da amostra durante o tempo de residência do plasma (3–5 ms). Ao atingir ICP, as gotículas selecionadas sofrem dessolvatação, formando um aerossol seco e volatilizando-se. Nesta etapa, os elementos de interesse são convertidos em átomos livres e posteriormente excitados (Nogueira 2018).

Já em relação a preparação do material para se colocar no ICP-OES é necessário seguir um passo a passo. No caso desse experimento, em específico, foi realizado uma etapa de pré-digestão que constituem na adição de 2 ml de ácido nítrico e 1 ml de peróxido de hidrogênio e esse ácido são mantidos em contato com a amostra por 24 h a frio. Após isso é necessário que a amostra passe por digestão ácida total antes de ser analisada, que no caso desse trabalho foi utilizado a pesquisa de Nogueira (2018) como base. Para a realização desse processo é necessário seguir os 6 estágios demonstrado na figura (Figura 3. 1). Primeiramente é necessário coletar 0,25g de cada amostra que será pesada em frascos de PFA (60 mL) (Savillex, Eden Prairie, MN, EUA), em seguida é adicionado 1 mL de HCl 10 mol/L e 3 mL de HNO3 10 mol/L, e o frasco com a solução é deixado em uma chapa aquecedora com temperatura de 110 graus Celsius até a secagem do material. No terceiro estágio se adiciona 2 mL de HF concentrado ao frasco esses são fechados e aquecidos a mesma temperatura anterior, por 30 h, após isso as amostras são abertas e ficam na chapa aquecedora na mesma temperatura até secarem. O quarto estágio consiste em adicionar 2mL de HNO3 10 mol/L ao material seco misturar e esperar secar novamente na chapa aquecedora, essa etapa deve ser feita duas vezes, após isso o mesmo processo é repetido, porém com HCl 10 mol/L. Em seguida, depois do material estar seco, é adicionado 25 mL de HCl 2 mol/L no frasco, e o material é aquecido por duas horas, com o frasco fechado. Por fim, o material é resfriado e pesado, e se tudo ocorreu conforme os passos acima o material está pronto para ser inerido ao ICP-OES.

Como toda análise geoquímica deve ter seu material de referencial, nessa pesquisa foi utilizado o BRP1, para atestar o funcionamento do equipamento. Vale lembrar que para esse estudo o intuito é determinar a concentrações do máximos de elementos que o ICP-OES conseguir capitar, pois dependendo da concentração do elementos o equipamento não consegue registrar, além do que esse equipamento e método não capitam a concentração da sílica.



Figura 3. 1: Fluxograma para preparação da digestão total de carbonatos utilizando frasco Savillex (Nogueira 2018).

Após os resultados da composição e concentração elementar esses dados serão interpretados com intuito de se conhecer a assinatura geoquímica dos sedimentos lacustres do local, contribuindo para a busca do entendimento de suas áreas-fonte e a possível gênese desses lagos. A concentração elementar é fundamental para se compreender as gênese dos lagos, pois conforme o trabalho de Esteve (1998) as rochas apresentam um papel importante para a formação desses corpos d'água. Assim, com a

concentração dos elementos é possível traçar uma associação elementar e distinguir quais os tipos de rochas que controlam a perpetuação dessas feições, levando em conta o contexto em que os lagos estão situados. Como por exemplo, o caso dos lagos por dissolução de rocha, que apresentam rochas específicas para a sua formação, como rochas cársticas, salgemas e rochas ricas em gipsita, assim possivelmente os sedimentos desses lagos apresentaram concentrações de Ca e Mg elevadas. Vale um ressalva que as concentrações elementares não é o único fator que irá diagnosticar a gêneses dos lagos/lagoas.

3.3 PERDA POR CALCINAÇÃO(PPC)

A perda por calcinação consiste em um procedimento que busca eliminar a matéria orgânica da amostra, porém devido as altas temperaturas que as amostras são submetidas alguns elementos podem ser volatilizados. Para a realização desse procedimento é necessário a utilização de um forno mufla, cadinho, pinça de cabo longo e luvas para altas temperaturas.

O procedimento para a perda por calcinação consiste em alguns passos. O primeiro passo é identificar os cadinhos que serão utilizados conforme cada amostra, após isso é necessário fazer a calcinação desse cadinho. A calcinação é um procedimento endotérmico, que nessa etapa é realizada ligando-se o forno mufla e atingindo-se a temperatura de 1000 graus Celsius. Quando é atingindo essa temperatura se coloca os cadinhos dentro da mufla por uma hora a 1000 graus celsius. Esse procedimento é fundamental para eliminar qualquer contaminação que o cadinho possui, e assim, passando-se uma hora, os cadinhos são retirados e colocados em uma placa de porcelana para que ocorra seu resfriamento. O próximo procedimento se baseia na pesagem dos cadinhos vazios na adição de um grama da sua amostra no cadinho para pesá-lo novamente. Por fim, liga-se novamente o forno mufla em que se deve aguardar o atingimento de 1000 graus célsius para adicionar as amostras. Ali as amostras permanecem por uma hora dentro da mufla e logo em seguida são retiradas e colocadas em uma placa de porcelana para resfriamento. Depois de frias o último passo é realizar a pesagem do cadinho com a amostra calcinada. É importante ressaltar que todo o procedimento de colocar e retirar as amostras dentro da mufla são realizados com a pinça de cabo longo e com auxílios de luvas que suportam altas temperaturas.

Para o cálculo do percentual de perda é necessário se ter o resultado da massa do cadinho calcinado, a massa do cadinho com a amostra e a massa do cadinho com a amostra calcinada. Para realização do cálculo é feita a subtração da massa do cadinho com a massa do cadinho mais amostra e a massa do cadinho mais amostras calcinados, aí se terá o valor exato da amostra antes da calcinação e pós calcinação. Em seguida se faz uma regra de três em que a massa da amostra antes da calcinação é

100 por cento e a massa dá a amostra calcinada é X, sabendo-se de X é necessário subtrair 100 por cento de X por cento, assim o resultado será o percentual de perda.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE QUALITATIVA

4.1 INTRODUÇÃO

Nesse capítulo serão abordados os primeiros resultados obtidos nesse trabalho. Os estudos dos sedimentos da Lagos dos Coutos só foram possíveis devido a coleta de testemunho de sondagem realizada no local, assim nos tópicos a seguir serão apresentados a descrição desse testemunho de sondagem e a metodologia utilizada para tal.

Conforme citado anteriormente, o testemunho de sondagem obtido atingiu uma profundidade de 1,24 m. O testemunho final obtido foi composto por 3 intervalos amostrados por meio do testemunhador *Russian Peat Borer*. Esses 3 intervalos foram amostrados em 3 manobras realizadas a poucos centímetros de distância uma das outras, sendo cada um desses testemunhos representativo de um intervalo de profundidade (0-50cm; 51-100cm e 76-124cm). As seções realizadas por esse amostrador têm comprimento de 0,50 m, logo o testemunho teria que ter um comprimento de 1,50 m. Porém, isso não ocorreu uma vez que a cada seção realizada é necessário mudar de lugar para que as paredes do furo anterior não influenciem nas próximas amostras. Portanto, ao realizar essa mudança de local não foi possível atingir a cota exata, devido a profundidade de 1,24 ser impenetrável, de onde o furo anterior parou, o que ocasionou uma pequena redução no comprimento do testemunho.

A primeira análise feita no testemunho foi a diferença entre proporções de material de cada camada, que teve sua observação realizada através da categorização das seções em ordem da base para o topo. A diferença de proporção está relacionada a quantidade de material obtido por meio do testemunho. As camadas mais próximas à superfície apresentavam menos material que aquelas em profundidade, isso se deve principalmente ao grau de compactação do material, sendo os mais profundos mais compactados. Assim ao se transportar o testemunho para o cano de PVC uma parte do material inconsolidado era perdido. Outro detalhe importante a ser citado é a diferença do material quando este era mais arenoso. Nota-se que camadas que apresentavam uma granulometria arenosa, após a desidratação e pulverização do material, apresentavam menos matéria, por apresentarem menor volume, que as amostras de camadas pelíticas, demonstrado a presença de poros nestes trechos.

4.2 DESCRIÇÃO DO TESTEMUNHO

Com a descrição do testemunho coletado na Lagoa do Coutos (Figura 4.1) foi possível dividi-lo em 6 intervalos, que apresentavam principalmente textura e cor diferentes. O testemunho por inteiro apresentava uma coloração escura, devido a presença de matéria orgânica, sendo que em algumas camadas essa concentração era maior, o que trazia essa coloração escura mais acentuada. As demais camadas variavam entre uma coloração marrom a cinza. Já em relação à granulometria, o testemunho apresentava um maior teor de silte e argila, mas por vezes apresentava algumas camadas mais arenosas. Apenas em uma camada do testemunho foram localizadas granulometrias acima de areia, sendo a maior fração encontrada de cascalho fino. Em relação aos restos vegetais nota-se que há concentração desses detritos mais ao topo do testemunho, caracterizados principalmente pela presença de raízes. Por fim, as principais observações tiradas das camadas foi a relação de contato que esses estratos apresentavam entre si, variando de descontinuidade a contato gradacionais.

O primeiro intervalo do testemunho apresenta um comprimento de 13 cm, entre o intervalo de 112,00 cm - 124,00 cm., vale ressaltar que esse é o profundidade máxima dessa camada, uma vez que a paralização da sondagem se deu nesse ponto. A coloração do trecho é de marrom escura, com uma textura argilo-arenosa, na fração de areia fina, sendo esses grãos compostos por quartzo.

O segundo trecho presente no testemunho apresenta 12 cm de comprimento, presente no intervalo de 100,00 cm – 112,00 cm. O material se apresentava com uma coloração preta e sua textura é de uma argila pouco siltosa. A taxa de matéria orgânica é alta e notou-se a ausência de restos vegetais. A única observação retirada dessa trecho é que o material apresentava homogeneidade em toda a sua extensão, não apresentando variação lateral e/ou níveis de outro material.

O terceiro intervalo do testemunho possui um comprimento de 51 cm, trecho mais espesso do testemunho, presente no intervalo de 49,00 cm – 100,00 cm. A coloração é marrom escura e a textura diagnóstica foi de um material argilo-siltoso, com lentes de areia grossa (predominante de quartzo). A concentração de matéria orgânica variou de média a alta e os restos vegetais apresentavam-se com baixa concentração. Nesse trecho, foi diagnosticada uma variação lateral no intervalo de 50 cm – 74 cm para um material mais arenoso e na cota 80,00 cm – 86,00 cm apresenta-se uma lente de material arenoso.

Em seguida o quarto intervalo do estrato possui um comprimento de 15 cm, entre o intervalo de 34,00 cm – 49,00 cm. Esse trecho apresenta um coloração marrom acinzentada, com textura predominante de silte arenoso, de fração areia fina (quartzo). A concentração de matéria orgânica nesse intervalo se apresenta de média a alta com baixa concentração de detritos vegetais. Em relação ao contato, foi diagnosticado uma descontinuidade com o trecho acima.

O quinto trecho, penúltimo do testemunho, possui 22 cm de comprimento, presente no intervalo de 12,00 cm - 34,00 cm. O intervalo se apresenta com uma coloração preta de granulometria argilo siltosa,

com grãos esporádicos de cascalho fino (3-4mm). A matéria orgânica nesse trecho apresentava alta concentração e os detritos vegetais também, com uma variação de média a alta. Por fim, as observações anotadas acerca desse intervalo notam-se a maior concentração de restos vegetais na base do estrato no intervalo de 30,00 cm - 34,00 cm.

Por fim, o sexto intervalo do testemunho apresenta um comprimento de 12 cm, variando da cota 0,00 cm – 12,00 cm. Esse trecho apresentava uma coloração cinza, com material majoritariamente silte argiloso, apresentando também lentes de um material arenoso com fração de areia média a grossa de composição quartzosa. A concentração de matéria orgânica nessa camada foi considerada média, assim como a concentração de restos vegetais. As principais observações desse intervalo foi a presença dos detritos vegetais concentrados em seu topo e a presença de uma descontinuidade na base com o próximo material.



Figura 4. 1: Perfil estratigráfico do testemunho da Lagos dos Coutos.

Vale ressaltar que a associação de presença da matéria orgânica e a coloração do material foi comprovada ao realizar a análise de perda por calcinação (PPC), uma vez que os materiais que perderam o maior percentual de matéria foram as amostras que estavam nos intervalos das camadas de coloração preta. Outro fator a ser apresentado é a combustão instantânea de algumas amostras ao serem introduzidas no forno mufla, demonstrando mais uma vez a alta taxa de matéria orgânica no testemunho. Por fim, corroborando com esta interpretação, tem-se o resultado da digestão total das amostras para a determinação de elementos maiores e traços, pois após esse processo a solução se apresentava heterogênea, com uma fase translucida e baixa viscosidade e a outra fase apresentava um material de coloração preta amarronzada muito viscosa. Tendo em vista que o procedimento de digestão total adotado apresenta dificuldades em digerir matéria orgânica, se interpretou que essa segunda fase representa a matéria orgânicas presentes nas amostras.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS GEOQUÍMICOS

5.1 INTRODUÇÃO

Nesse capítulo serão apresentados os resultados das análises geoquímicas desenvolvidas no laboratório de geoquímica do DEGEO/EM/UFOP. As duas análises feitas nas amostras do testemunho foram: Determinação de elementos maiores e traços por ICP-OES e perda por calcinação (PPC).

5.1.1 Determinação de elementos maiores e traços

Levando em consideração os elementos da crosta terrestre, nessa análise foi possível ser obter a concentração dos elementos maiores, da litosfera: Mn, Al, Fe, Ca, K, Mg, Na, P e Ti. E os elementos traços que se obteve a concentração elementar foram: Ba, Co, Cr, Cu, Li, Ni, Sc, Sr, Th, V, Y, Zn, Be, Zr e S.

As tabelas com os resultados das concentrações elementares serão apresentadas a seguir. Os resultado foram divididos em 4 tabelas, nas duas primeiras serão apresentados os elementos maiores, da litosfera, e as duas últimas os elementos traços. As duas primeiras colunas das tabelas apresentam a identificação da amostra, sendo a primeira representativa da profundidade e o local em que amostra foi coletada (Lagoa dos Coutos). O código aparente nessa coluna apresenta a sigla da localidade seguida da numeração do intervalo, como exemplo tem-se o código LC-15-14 em que a sigla LC demonstra amostra foi retirada da Lagoa dos Coutos e a numeração indica que foi na profundidade de 14 a 15 cm. O código da segunda coluna segue o padrão adotado pelo laboratório de geoquímica do DEOGEO/EM/UFOP. Por fim, as duas primeiras linhas da tabela representam os resultados da amostra do branco analítico e do material de referência utilizado durante a análise geoquímica.

A mostuo	Identificação	Mn	Al	Fe	Ca	K
Amostra	Interna	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Branco	Branco	<lq< th=""><th>58.10</th><th>30.29</th><th>37.84</th><th><lq< th=""></lq<></th></lq<>	58.10	30.29	37.84	<lq< th=""></lq<>
LKSD-2 (MRC)	LKSD-2 (MRC)	2006	57815	39157	14873	21562
LC-01-00	PQ22-1007	144	114836	28284	199	12751
LC-05-04	PQ22-1008	76.14	132506	26672	163	13507

Tabela 5. 1: Concentração de parte dos elementos maiores da litosfera medido pelo ICP-OES.

LC-10-09	PQ22-1009	65.10	133583	25749	136	12696
LC-15-14	PQ22-1010	66.35	135099	28083	130	12318
LC-20-19	PQ22-1011	29.88	92007	7702	204	8113
LC-25-24	PQ22-1012	76.73	145513	34959	146	12359
LC-30-29	PQ22-1013	28.55	126613	7074	155	12142
LC-35-34	PQ22-1014	38.30	130780	9923	163	13478
LC-40-39	PQ22-1015	148	144785	35400	156	9556
LC-45-44	PQ22-1016	138	112883	37933	127	7289
LC-50-49	PQ22-1017	142	107441	39595	185	6744
LC-55-54	PQ22-1018	75.79	129888	25951	133	11585
LC-60-59	PQ22-1019	110	123131	30906	140	8624
LC-65-64	PQ22-1020	133	129717	33878	154	7718
LC-65-64	PQ22-1020 (D)	133	132484	34016	128	8368
LC-70-69	PQ22-1021	156	140568	39236	319	8071
LC-75-74	PQ22-1022	104	77065	23464	118	4053
LC-80-79	PQ22-1023	146	104291	27696	133	5739
LC-80-79B	PQ22-1024	114	115542	31384	130	7554
LC-85-84	PQ22-1025	130	104401	28008	126	5648
LC-85-84B	PQ22-1026	112	153970	33631	126	9340
LC-90-89	PQ22-1027	106	143001	32537	139	6807
LC-90-89B	PQ22-1028	111	149787	35530	120	8742
LC-95-94	PQ22-1029	117	152989	34290	143	8447
LC-95-94B	PQ22-1030	106	142709	35740	134	8349
LC-100-99	PQ22-1031	112	152359	35180	176	8106
LC-100-99B	PQ22-1032	118	151471	39400	175	7271
LC-100-99B	PQ22-1032 (D)	120	152926	39456	119	7274
LC-105-104	PQ22-1033	108	153390	37101	125	8271
LC-110-109	PQ22-1034	116	160573	39730	133	8641
LC-115-114	PQ22-1035	110	152562	36947	122	8750
LC-120-119	PQ22-1036	101	153923	33578	130	8999
	LQ	11.10	49.0	14.48	8.56	24.48

Amostro	Identificação	Mg	Na	Р	Ti
Amostra	Interna	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Branco	Branco	27	<lq< th=""><th>16</th><th><lq< th=""></lq<></th></lq<>	16	<lq< th=""></lq<>
LKSD-2 (MRC)	LKSD-2 (MRC)	9446	13958	1294	3284
LC-01-00	PQ22-1007	1110	2085	870	7247
LC-05-04	PQ22-1008	1046	2404	726	8049
LC-10-09	PQ22-1009	1110	2177	659	8231
LC-15-14	PQ22-1010	920	2180	844	7328
LC-20-19	PQ22-1011	640	1138	1027	4022
LC-25-24	PQ22-1012	905	2415	951	8102
LC-30-29	PQ22-1013	806	2571	956	6252
LC-35-34	PQ22-1014	874	2964	812	6550
LC-40-39	PQ22-1015	1380	845	735	14615
LC-45-44	PQ22-1016	979	480	616	11035
LC-50-49	PQ22-1017	942	402	600	10972
LC-55-54	PQ22-1018	1008	2156	771	8668
LC-60-59	PQ22-1019	999	983	668	10697
LC-65-64	PQ22-1020	1077	822	661	12777
LC-65-64	PQ22-1020 (D)	1083	804	654	12766
LC-70-69	PQ22-1021	1157	737	708	14060
LC-75-74	PQ22-1022	614	159	399	7652
LC-80-79	PQ22-1023	915	421	537	11388
LC-80-79B	PQ22-1024	874	1015	619	9435
LC-85-84	PQ22-1025	807	399	549	10173
LC-85-84B	PQ22-1026	1006	1268	762	11419
LC-90-89	PQ22-1027	939	873	806	12949
LC-90-89B	PQ22-1028	979	1238	814	12017
LC-95-94	PQ22-1029	954	1028	814	12183
LC-95-94B	PQ22-1030	917	1058	835	11814
LC-100-99	PQ22-1031	960	1097	898	12593
LC-100-99B	PQ22-1032	896	738	1024	13017
LC-100-99B	PQ22-1032 (D)	905	769	1026	13585
LC-105-104	PQ22-1033	995	932	1307	12356
LC-110-109	PQ22-1034	976	960	1499	13080

Tabela 5. 2: Concentração de parte dos elementos maiores da litosfera medido pelo ICP-OES.

LC-115-114	PQ22-1035	966	974	1304	12111
LC-120-119	PQ22-1036	968	1080	1244	11310
	LQ	6.08	6.98	13.86	21.50

	Identificação	Ba	Со	Cr	Cu	Li	Ni	Sc
Amostra	Interna	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Branco	Branco	0.06	<lq< th=""><th><lq< th=""><th><lq< th=""><th><lq< th=""><th><lq< th=""><th><lq< th=""></lq<></th></lq<></th></lq<></th></lq<></th></lq<></th></lq<>	<lq< th=""><th><lq< th=""><th><lq< th=""><th><lq< th=""><th><lq< th=""></lq<></th></lq<></th></lq<></th></lq<></th></lq<>	<lq< th=""><th><lq< th=""><th><lq< th=""><th><lq< th=""></lq<></th></lq<></th></lq<></th></lq<>	<lq< th=""><th><lq< th=""><th><lq< th=""></lq<></th></lq<></th></lq<>	<lq< th=""><th><lq< th=""></lq<></th></lq<>	<lq< th=""></lq<>
LKSD-2	LKSD-2							
(MRC)	(MRC)	801	15.49	49.32	36.56	20.8	24.9	10.45
LC-01-00	PQ22-1007	278	6.41	617	70.61	5.67	85.5	23.73
LC-05-04	PQ22-1008	273	7.07	678	63.92	6.39	101.3	25.04
LC-10-09	PQ22-1009	286	7.44	726	60.67	6.61	103.5	23.14
LC-15-14	PQ22-1010	250	6.24	781	64.65	6.24	101.0	29.51
LC-20-19	PQ22-1011	172	<lq< th=""><th>724</th><th>133.56</th><th><lq< th=""><th>60.0</th><th>32.56</th></lq<></th></lq<>	724	133.56	<lq< th=""><th>60.0</th><th>32.56</th></lq<>	60.0	32.56
LC-25-24	PQ22-1012	244	7.61	734	59.24	7.50	139	26.87
LC-30-29	PQ22-1013	236	4.46	788	96.12	6.82	104	35.24
LC-35-34	PQ22-1014	270	5.01	784	98.68	7.65	110	38.01
LC-40-39	PQ22-1015	422	18.00	670	55.65	7.97	140	24.20
LC-45-44	PQ22-1016	319	12.11	501	33.10	5.48	79.71	21.49
LC-50-49	PQ22-1017	299	11.75	515	31.78	5.13	62.12	22.82
LC-55-54	PQ22-1018	292	7.99	791	66.56	7.18	116	31.96
LC-60-59	PQ22-1019	335	11.20	592	49.75	6.31	92.7	27.56
LC-65-64	PQ22-1020	395	14.93	620	46.77	6.83	83.8	27.14
LC-65-64	PQ22-1020 (D)	407	14.13	621	47.35	6.89	83.9	28.46
LC-70-69	PQ22-1021	429	16.48	694	48.20	7.40	78.5	31.55
LC-75-74	PQ22-1022	171	6.63	367	23.32	<lq< th=""><th>36.5</th><th>16.88</th></lq<>	36.5	16.88
LC-80-79	PQ22-1023	266	12.42	567	35.68	5.07	53.0	26.46
LC-80-79B	PQ22-1024	226	9.48	580	40.66	5.58	75.6	24.74
LC-85-84	PQ22-1025	222	10.03	524	35.36	4.52	49.6	24.81
LC-85-84B	PQ22-1026	257	12.67	729	54.84	6.92	91.3	31.67
LC-89-90	PQ22-1027	236	14.23	734	52.15	6.64	81.9	30.28
LC-90-89B	PQ22-1028	253	12.41	719	52.08	7.05	91.6	30.00
LC-95-94	PQ22-1029	240	12.74	720	52.72	6.80	83.4	32.40

Tabela 5. 3: Concentração de parte dos elementos traços da litosfera medido pelo ICP-OES.

LC-95-94B	PQ22-1030	241	11.68	676	51.23	6.43	80.8	30.68
LC-99-100	PQ22-1031	231	13.11	737	55.67	6.98	84.8	32.70
LC-100-99B	PQ22-1032	201	13.87	704	51.77	6.39	73.9	32.31
LC-100-99B	PQ22-1032 (D)	204	14.38	709	52.55	6.54	73.4	32.51
LC-105-104	PQ22-1033	220	12.57	724	59.20	7.45	82.0	32.52
LC-110-109	PQ22-1034	212	13.26	736	60.57	7.36	80.8	34.61
LC-115-114	PQ22-1035	228	11.79	685	57.11	7.32	79.2	31.74
LC-120-119	PQ22-1036	236	10.45	693	60.16	7.43	82.6	32.20
	LQ	1.09	3.12	2.16	2.46	4.18	6.04	0.5

 Tabela 5. 4: Concentração de parte dos elementos traços da litosfera medido pelo ICP-OES.

	Identificação	Sr	Th	V	Y	Zn	Be	Zr	S
Amostra	Interna	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Branco	Branco	<lq< th=""><th><lq< th=""><th><lq< th=""><th><lq< th=""><th>3.43</th><th><lq< th=""><th>3.37</th><th>29</th></lq<></th></lq<></th></lq<></th></lq<></th></lq<>	<lq< th=""><th><lq< th=""><th><lq< th=""><th>3.43</th><th><lq< th=""><th>3.37</th><th>29</th></lq<></th></lq<></th></lq<></th></lq<>	<lq< th=""><th><lq< th=""><th>3.43</th><th><lq< th=""><th>3.37</th><th>29</th></lq<></th></lq<></th></lq<>	<lq< th=""><th>3.43</th><th><lq< th=""><th>3.37</th><th>29</th></lq<></th></lq<>	3.43	<lq< th=""><th>3.37</th><th>29</th></lq<>	3.37	29
LKSD-2	LKSD-2								
(MRC)	(MRC)	240	23.18	74.92	40.13	199	1.624	162	1529
LC-01-00	PQ22-1007	32.44	25.37	159	14.33	22.18	0.646	207	875
LC-05-04	PQ22-1008	33.75	23.78	194	19.04	15.67	0.592	223	669
LC-10-09	PQ22-1009	28.58	26.16	207	22.84	14.64	0.567	241	681
LC-15-14	PQ22-1010	30.10	28.55	219	20.30	14.38	0.525	217	780
LC-20-19	PQ22-1011	16.53	27.15	90.6	9.44	8.18	0.651	134	1183
LC-25-24	PQ22-1012	35.72	27.32	261	15.44	18.06	0.440	232	554
LC-30-29	PQ22-1013	33.18	30.68	145	16.33	12.13	0.789	186	813
LC-35-34	PQ22-1014	37.92	29.70	164	14.85	17.49	0.983	183	659
LC-40-39	PQ22-1015	43.50	37.88	253	42.23	41.51	0.391	401	745
LC-45-44	PQ22-1016	32.27	35.11	240	30.01	30.50	<lq< th=""><th>335</th><th>440</th></lq<>	335	440
LC-50-49	PQ22-1017	31.35	35.83	255	31.52	28.03	0.303	346	349
LC-55-54	PQ22-1018	35.14	33.90	218	19.82	18.15	0.602	252	594
LC-60-59	PQ22-1019	36.02	35.61	227	27.54	25.46	0.339	314	463
LC-65-64	PQ22-1020	41.21	40.62	249	38.72	36.88	0.303	398	383
LC-65-64	PQ22-1020 (D)	42.43	40.37	250	39.16	31.76	0.290	399	387
LC-70-69	PQ22-1021	47.29	46.68	286	41.89	44.78	<lq< th=""><th>449</th><th>366</th></lq<>	449	366
LC-75-74	PQ22-1022	23.69	24.20	155	20.90	18.74	<lq< th=""><th>264</th><th>186</th></lq<>	264	186
LC-80-79	PQ22-1023	36.96	37.04	195	32.23	28.23	0.315	391	261
LC-80-79B	PQ22-1024	35.84	30.41	219	22.71	30.45	0.321	301	331

LC-85-84	PQ22-1025	33.96	32.65	192	30.46	25.22	<lq< th=""><th>348</th><th>260</th></lq<>	348	260
LC-85-84B	PQ22-1026	46.08	40.32	266	26.86	34.69	0.355	344	405
LC-90-89	PQ22-1027	44.90	42.89	254	33.50	35.88	0.381	393	383
LC-90-89B	PQ22-1028	44.82	39.75	277	33.31	34.42	0.323	365	402
LC-95-94	PQ22-1029	48.42	41.19	264	28.19	37.99	0.337	354	382
LC-95-94B	PQ22-1030	43.02	39.03	267	28.59	35.34	0.303	342	406
LC-100-99	PQ22-1031	47.14	42.90	278	30.88	41.73	0.348	376	415
LC-100-99B	PQ22-1032	47.46	43.98	298	30.25	47.20	<lq< th=""><th>372</th><th>387</th></lq<>	372	387
LC-100-99B	PQ22-1032 (D)	47.85	45.38	302	39.26	45.99	<lq< th=""><th>402</th><th>385</th></lq<>	402	385
LC-105-104	PQ22-1033	44.23	41.63	286	31.82	46.08	0.439	360	420
LC-110-109	PQ22-1034	47.06	43.40	300	33.21	49.08	0.418	378	463
LC-115-114	PQ22-1035	46.40	41.13	277	33.07	48.92	0.413	355	429
LC-120-119	PQ22-1036	45.79	40.36	265	24.62	46.93	0.437	323	460
	LQ	0.61	8.88	1.26	0.38	0.62	0.273	0.810	16.42

5.1.2 Perda Por Calcinação (PPC)

A seguir será apresentada a tabela com a síntese dos resultados de perda por calcinação que cada amostra sofreu. Optou-se por realizar essa análise com o mesmo intervalo de distância das amostras das demais análises, ou seja, de 5 em 5 centímetros. Logo, essa análise foi realizada em um total de 30 amostras.

O sistema de identificação de amostras seguiu o mesmo padrão de nomenclatura das demais análises, demonstrando local e profundidade de onde a amostra foi coletada. Afim de se ter transparência em relação aos cálculos feitos, foi disponibilizado na tabela todos os pesos dos cadinhos em cada passo para a realização da análise. Por fim, a porcentagem de perda ao fogo foi calculada com a massa da amostra inicial com a final após a calcinação.

Tabela 5. 5: Tabela síntese do percentual por perda por calcinação.

Amostra	Identificação interna	Massa do cadinho calcinado	Massa do cadinho calcinado + amostra	Massa do cadinho após calcinação	Perda ao fogo (%)
LC-01-00	PQ22-1007	23.7627	24.7611	24.4490	31.26
LC-05-04	PQ22-1008	28.8893	29.0856	29.0296	28.53

LC-10-09	PQ22-1009	21.0492	22.0414	21.7452	29.85
LC-15-14	PQ22-1010	25.7688	26.7670	26.4122	35.54
LC-20-19	PQ22-1011	26.2722	27.2718	26.6947	57.73
LC-25-24	PQ22-1012	21.1514	22.1595	21.9045	25.30
LC-30-29	PQ22-1013	26.2751	27.2752	26.8603	41.49
LC-35-34	PQ22-1014	25.6394	26.6358	26.2468	39.04
LC-40-39	PQ22-1015	23.8319	24.8350	24.5817	25.25
LC-45-44	PQ22-1016	19.1391	20.1325	19.9585	17.52
LC-50-49	PQ22-1017	21.5746	22.4217	22.2858	16.04
LC-55-54	PQ22-1018	19.1396	20.1309	19.8420	29.14
LC-60-59	PQ22-1019	21.9938	22.9957	22.7874	20.79
LC-65-64	PQ22-1020	21.9913	22.9938	22.7928	20.05
LC-70-69	PQ22-1021	26.6244	27.6238	27.4062	21.77
LC-75-74	PQ22-1022	21.1524	22.1551	22.0348	12.00
LC-80-79	PQ22-1023	21.0499	22.0443	21.8567	18.87
LC-80-79B	PQ22-1024	21.5787	22.5775	22.3845	19.32
LC-85-84	PQ22-1025	25.7654	26.7694	26.5950	17.37
LC-85-84B	PQ22-1026	28.8933	29.8920	29.6382	25.41
LC-89-90	PQ22-1027	23.1149	24.1147	23.8601	25.47
LC-90-89B	PQ22-1028	27.1232	28.1259	27.8831	24.21
LC-95-94	PQ22-1029	23.2786	24.2777	24.0255	25.24
LC-95-94B	PQ22-1030	23.2821	24.2816	24.0376	24.41
LC-99-100	PQ22-1031	23.7710	24.7785	24.5139	26.26
LC-100-99B	PQ22-1032	25.6427	26.6438	26.3775	26.60
LC-105-104	PQ22-1033	23.8343	24.8368	24.5597	27.64
LC-110-109	PQ22-1034	26.6258	27.6215	27.3332	28.95
LC-115-114	PQ22-1035	23.1125	24.1118	23.8480	26.40
LC-120-119	PQ22-1036	27.1236	28.1282	27.8453	28.16

6.1 INTRODUÇÃO

Ao decorrer desse capítulo serão apresentadas as análises quantitativas obtidas por meio dos resultados geoquímicos que irão abranger os dois métodos geoquímicos aplicados nas amostras. Em cada método geoquímico será aplicado uma metodologia diferente de análise, uma vez que o resultado de cada método indica uma característica diferente do material.

Um dos principais objetivos da análise quantitativa é correlacionar o resultado de cada amostra em cada método, para assim saber a variabilidade do resultado no intervalo do testemunho. Outro fator fundamental para o trabalho é associar o perfil estratigráfico da Lagoa dos Coutos com os resultados de cada método. Afim de facilitar a visualização serão realizados gráficos de linhas paralelos ao perfil estratigráfico. Vale ressaltar que a conciliação do gráfico com a coluna será realizada para todos os métodos.

6.2 METODOLOGIA

Para a análise da determinação de elementos maiores e traços foram utilizados dois métodos estatísticos o primeiro foi a determinação da média, mediana, maior concentração e menor concentração. Já o segundo método utilizado foi o cálculo do coeficiente de correlação de Pearson, que consiste em uma medida de associação linear entre duas variáveis (Filho & Júnior 2009). Esse coeficiente tem variabilidade de -1 até 1, caso o resultado seja positivo significa que as duas variáveis apresentam uma correlação positiva, logo quando a variável X, por exemplo, aumento a variável Y também aumenta, caso contrário o coeficiente possui um valor negativo. Já em relação ao valor, o coeficiente que mais se aproximar de 1 (correlação positiva) ou -1 (correlação negativa) indica que as variáveis envolvidas apresentam um forte grau de dependência estatística linear. Porém, se o coeficiente se aproximar do zero, indica um baixo grau de dependência. Conforme o trabalho de Dancey & Reidy (2005), a classificação de grau de intensidade de correlação entre variáveis se dá na seguinte escala: 0,10 - 0,30 é fraco; 0,40 - 0,60 é moderado e de 0,70 - 1,00 é forte, tantos para valores positivos como negativos.

O segundo método utilizado para analisar os resultados geoquímicos da determinação de elementos maiores e traços foi a correlação das amostras com o perfil estratigráfico. Nessa análise o principal objetivo é buscar anomalias e associar com contatos entre camadas ou níveis de diferentes

litotipos dentro das camadas. Além disso, essa correlação será fundamental para se compreender o comportamento dos elementos dentro da camada.

Já para a análise do PPC, os parâmetros estatísticos utilizados foram o cálculo da média, moda e mediana da perda por calcinação, pois com esses valores é possível se comparar cada amostra e se saber qual o comportamento dessa em termos gerais do testemunho. Como nos outros métodos, também ocorreu a correlação do gráfico de percentual de perda com a coluna estratigráfica, para que seja possível a análise dos contatos entre camadas e o comportamento da matéria orgânica dentro de cada estrato.

6.3 DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS MAIORES E TRAÇOS

No tópico a seguir serão descritas as concentrações elementares encontradas por meio do ICP-OES de cada amostra ao longo do testemunho. Com intuito de facilitar a análise será apresentado no tópico a seguir o perfil estratigráfico acompanhado dos gráficos de linha da concentração elementar de cada elemento. Analisando os dados é possível perceber que os elementos foram divididos em diferentes gráficos, isso foi necessário para uma melhor visualização da variabilidade desses conforme a escala de sua concentração. Vale ressaltar que o gráfico e a coluna se apresentam na mesma escala, logo cada amostra se encontra na profundidade na qual foi retirada do testemunho.

Os primeiros elementos a serem descritos serão os maiores e em seguida os traços. Com objetivo de uma melhor organização serão apresentados primeiramente os elementos com maior concentração e em seguida os de menor concentração.

O elemento mais abundante nas amostras é o Al, com uma média de 132246 ppm. A maior concentração registrada foi de 160573 ppm na profundidade de 110 cm, e a menor concentração foi 77065 em 75 cm. A mediana apresentou um valor de 134341 ppm, e tanto ela quanto a média não apresentam profundidade, pois por se tratar de um conjunto de 30 amostras não há um valor de amostra central.

O segundo elemento mais abundante nas amostras é o Fe, que apresenta sua maior concentração na profundidade de 110 cm, assim como o Al, com 39730 ppm e sua menor concentração é de 7074 ppm a 30 cm de superfície. A média de concentração de Fe foi de 30519 ppm e sua mediana de 33605 ppm.

O Ti e o K apresentam concentrações próximas, a médias dos dois respectivamente é de 10403 e 9056 ppm, com mediana de 11173 e 8535 ppm. As concentrações maiores e menores desses elementos foram 14615 (40 cm) e 13507 (5 cm) ppm e 4022 (20 cm) e 4053 (75 cm) ppm, respectivamente.

Os penúltimos elementos maiores Na, Mg e P apresentam concentrações similares também, porém o Na apresenta maiores concentrações até 40 cm de profundidade e possui um pico positivo em

55 cm. As maiores concentrações desses elementos foram, respectivamente, 2964 (35 cm), 1380 (40 cm) e 1499 (110 cm) ppm e suas menores concentrações foram 159 (75 cm), 614 (75 cm) e 399 (75 cm) ppm, já a média de concentração foi de 1253, 957 e 834 ppm. Por fim a mediana da concentração do Na, Mg e P foram, respectivamente, 1022, 963 e 809 ppm.

O Ca e Mn são os elementos que apresentam menores concentrações entre os elementos maiores, que no caso dessas amostras se comportam como traços devido a suas baixas concentrações, registrando concentrações máximas de 319 (70 cm) e 156 (70 cm) ppm, por sua vez as menores concentrações desses elementos foram de 118 (75 ppm) e 29 (30 cm) ppm. Já as médias e medianas dos dois elementos foram de 151 e 105, 138 e 111 ppm, respectivamente.

Seguindo o mesmo modelo apresentado acima, a ordem dos elementos será do de maior concentração para o menor, apresentando a média, mediana, maior e menor concentração. Os primeiros dois elementos apresentados são o S e Cr. A maior concentração desses elementos foram, respectivamente, 1183 (20 cm) e 791 (55 cm) ppm, já suas menores concentrações foram de 186 (75 cm) e 367 (75 cm) ppm. Com a relação estatística dos dois elementos a média de cada uma foi de 505 e 670 ppm e para completar a mediana de cada um foi de 425 e 699. Com isso é possível perceber que por mais que o S tenha tido a maior concentração em uma amostras, a média e mediana do Cr é maior, apresentando uma homogeneidade ao longo do testemunho.

Em seguida há três elementos que apresentam concentrações próximas, o Zr, Ba e V, com médias de concentração de, respectivamente, 313, 265 e 232 ppm e com medianas de 343, 247 e 251 ppm. As concentrações máxima e mínimas foram 449 (70 cm), 429 (70 cm) e 300 (110 cm) ppm; 134 (20 cm), 171 (75 cm) e 91 (20 cm) ppm, respectivamente.

O Ni e Cu também apresentam concentrações similares ao longo do testemunho. Um caso particular desses dois elementos é que até 40 cm de profundidade as suas concentrações são inversamente proporcionais e depois dessas profundidade suas curvas de concentrações se paralelizam, apresentando assim concentrações proporcionais. Em relação aos dados estatísticos, a média desses elementos foi de, respectivamente, 86 e 57 ppm e suas medianas foram de 83 e 55 ppm. As concentrações máxima e mínimas desses elementos ao longo do furo foram de 140 (40 cm) e 134 (20 cm) ppm, 36 (75 cm) e 23 (75 cm) ppm, respectivamente.

Os penúltimos elementos traços a serem apresentados são Sr, Th, Sc, Zn e Y. Esses elementos foram agrupados pelo mesmo motivo dos demais, porém por ser muitos elementos os dados estatísticos serão apresentados em formato de tabela (Tabela 6.1).

Por fim, os elementos traços com menor concentração são o Co, Li e o Be, o Co e o Li apresentam concentrações similares, porém o Be possui concentrações muito baixas não passando de 1 ppm. As médias desses elementos foram 11, 7 e 0,46 ppm, as medianas 12, 7 e 0,41 ppm, já as concentrações

maiores foram de 18 (40 cm), 8 (40 m) e 0,98 (35 cm) ppm. Por sua vez as concentrações menores desses elementos não foram possíveis de se registrar devido ao limite de quantificação, que no caso são 3,12 (Co), 4,18 (Li) e 0,27 (Be), o Co apresentou apenas uma amostra com LQ na profundidade de 20 cm, o Li apresentou duas LQ nas profundidades de 20 e 75 cm, já o Be apresentou cinco LQ nas profundidades de 45, 70, 75, 85 e 100.

Tabela 6. 1:	Tabela	com dados	estatísticos	da an	álise ge	oquímica	referente	aos	elementos	Sr,	Th,	Sc,
Zn e Y.												

Elemento	Média	Mediana	Concentração máxima	Profundidade C MÁX	Concentração mínima	Profundidade C MÍN
Sr	38	37	48	95 cm	17	20 cm
Th	36	36	47	70 cm	24	5 cm
Sc	29	30	38	35 cm	17	75 cm
Zn	30	30	49	110 cm	8	20 cm
Y	27	28	42	40 cm	9	20 cm

6.3.1 Concentração elementar ao longo do testemunho

No tópico a seguir serão apresentadas as principais características geoquímicas do testemunho, abordando as anomalias presentes e também os intervalos que apresentam concentrações mais homogêneas. Para isso, foram elaboradas duas figuras com a coluna estratigráfica, uma apresentando os gráficos de linha dos elementos maiores (Figura 6.1) e a segunda dos elementos traços (Figura 6.2). O único elemento não comtemplado nessas figuras foi o Be, devido a sua baixa concentração, estando inclusive abaixo do limite de quantificação em cinco das trinta amostra. É importante salientar que a ordem dos gráficos apresentados foi estabelecida dos elementos mais abundantes pra os menos abundantes, da esquerda pra a direita nos gráficos.

Ao longo do testemunho, tanto para os elementos maiores e traços, é possível se diagnosticar duas zonas de homogeneidade, a primeira localizada no trecho de 80 cm de profundidade até o final do furo, e a segunda da superfície do furo até a profundidade de 15 cm. Essa zona de homogeneidade foi caracterizada comparando esses intervalos com o restante do furo, pois nesses locais é possível se notar que há uma variabilidade entre os elementos. Alguns elementos se mantêm no mesmo nível de concentração, outros apresentam um decréscimo em sua concentração, e por vezes alguns apresentam um acréscimo em sua concentração é menos drástica que o restante do furo, apresentando assim um padrão.

Com foco nas anomalias encontradas ao longo do testemunho deve-se enaltecer três trechos, o primeiro se situa-se no intervalo de 15 a 25 cm, em que a maioria dos elementos apresentam um pico negativo em relação a suas concentrações e os restante dos elementos apresentam um pico positivos em suas concentrações, esses elementos foram: Ca, Sc, Cu e S, nesse trecho apenas os elementos Cr, Th e P que não apresentam anomalias em suas concentrações.

O segundo trecho que apresenta anomalia está localizado no intervalo de 70 a 80 centímetros de profundidade. Esse trecho, diferente do anterior, mostra que todos os elementos apresentam uma anomalia negativa em sua concentração. Um outro ponto que chama a atenção na análise do gráfico é a anomalia presente no intervalo de 35 a 55 cm, entre os elementos Fe, Na, Mn, Cu e V, porém com uma natureza diferentes as citadas acima. Nesse intervalo esses elementos apresentam um acréscimo ou decréscimo em suas concentrações, se estabilizam entre 40 a 50 cm e retornam próximos a suas concentrações anteriores a 35 cm. Esse trecho chama muita atenção pois em 34 cm tem-se o contato entre o segundo e terceiro trecho, e em 49 cm tem-se o contato entre o terceiro e o quarto intervalo, podendo assim demonstrar uma assinatura geoquímica desse estrato.

Nas demais anomalias também buscou esse raciocínio de relaciona-las aos contatos presentes entres os trechos, porém as mesmas se encontraram no meio do segundo e quarto estrato, não estando próximos a contato. Todavia esse diferencial de concentração pode estra marcando um nível de sedimento diferente da camada em que está alojada.



Zamora, C. G. M. 2023, Análise Geoquímica do Sedimento dos Lagos de Altitude da Serra do Gandarela.

Figura 6. 1: Perfil estratigráfico com gráficos de concentração elementar dos elementos maiores da litosfera em ordem de abundância.



Figura 6. 2: Perfil estratigráfico com gráficos de concentração elementar dos elementos traços da litosfera em ordem de abundância.

6.3.2 Coeficiente de correlação de Pearson

Iniciando pela análise do coeficiente de correlação de Pearson, a seguir serão apresentadas 3 tabelas evidenciando os resultados do coeficiente de correlação de Person entre todos os elementos. A primeira tabela apresenta a interação entre os elementos maiores entre si, a segunda reflete a interação entre os elementos traços e a última tabela apresenta a interação entre os elementos maiores e traços.

Em parâmetros gerais, o total de interações, consideradas fortes conforme o trabalho de Dancey & Reidy (2005) foram de 58, sendo 46 dessas interações positivas e 12 negativas. A correlação positiva mais forte entre elementos foi do Ti e do Co, apresentando um coeficiente de 0,98, já a correlação negativa mais forte ocorreu entre Be e o Fe, com um coeficiente de - 0,83. Os elementos que mais apresentaram correlação foram o Co, Zr, V e o Be; em ordem de mais correlação, o Co e o Zr apresentaram 11 correlações fortes, o V e o Be apresentaram 10. Vale ressaltar que foram analisados 24 elementos.

Elementos	Mn	Al	Fe Ca	K	Mg	Na	Р	Ti
Mn	-	0.07	0.78 0.12	-0.57	0.47	-0.72	-0.22	0.76
Al	-	-	0.51 -0.08	0.27	0.48	0.18	0.63	0.57
Fe	-	-	0.05	-0.37	0.47	-0.54	0.15	0.83
Ca	-	-		0.10	0.21	0.05	-0.06	-0.01
K	-	-		-	0.32	0.95	0.20	-0.48
Mg	-	-		-	-	0.07	0.00	0.53
Na	-	-		-	-	-	0.16	-0.62
Р	-	-		-	-	-	-	0.14
Ti	-	-		-	-	-	-	-

Tabela 6. 2: Resultado do coeficiente de correlação de Pearson entre os elementos maiores da litosfera.

Em relação aos elementos maiores é possível notar que existem apenas 5 correlações fortes, sendo essas, da menor para maior correlação: Na com Mn apresentando uma correlação negativa com coeficiente de -0,72, Ti e Mn com um coeficiente de 0,76 demonstrando uma correlação positiva; Fe e Mn com correlação positiva e o coeficiente de 0,78; Ti e Fe com 0,83 de coeficiente com correlação positiva; e Na e K, apresentando a maior correlação com um coeficiente de 0,95. Nota-se que há uma tendência entre as fortes correlações de serem positivas, uma vez que de cinco correlações quatro foram de natureza positiva (Tabela 6.2).

Analisando a tabela com os resultados dos coeficientes de correlação de Pearson, nota-se que quatro elementos não tiveram correlações fortes, sendo esses: Al, Ca, Mg e P. Dentre esses elementos o Ca foi o que menos se correlacionou com os demais elementos, uma vez que quase todos os seu coeficientes deram abaixo de 0,20, apenas a interação entre Ca e Mg que o coeficiente deu 0,21. Porém,

a menor correlação elementar foi entre o P e Mg registrando um coeficiente 0,00. Por outro lado, o elemento que mais demonstrou correlações fortes foi o Mn, possuindo 3 correlações maiores que 0,70 ou -0,70.

Por fim, pode-se observar que há variabilidade em relação aos coeficientes de correlação, apresentando correlações fortes, medianas e fracas, já ao se analisar a variabilidade das correlações positivas e negativas, existe uma predominância de correlações positivas, totalizando 25 e apenas 10 negativas, o total de interações foram 36, porém o coeficiente de P e Mg foi zerado, logo não há nenhum tipo de correlação.

Elementos	Ba	Со	Cr	Cu	Li	Ni	Sc	Sr	Th	V	Y	Zn	Be	Zr	S
Ba	-	0.41	-0.08	-0.21	0.17	0.37	-0.19	0.16	0.19	0.17	0.48	0.09	-0.23	0.36	-0.02
Со	-	-	-0.06	-0.46	0.17	-0.14	0.09	0.72	0.85	0.76	0.94	0.81	-0.78	0.96	-0.48
Cr	-	-	-	0.65	0.74	0.61	0.81	0.34	0.20	0.19	-0.16	0.04	0.54	-0.18	0.47
Cu	-	-	-	-	0.54	0.32	0.58	-0.29	-0.29	-0.50	-0.59	-0.40	0.80	-0.66	0.86
Li	-	-	-	-	-	0.65	0.59	0.53	0.29	0.37	0.09	0.30	0.23	0.04	0.28
Ni	-	-	-	-	-	-	0.21	0.15	-0.13	0.13	-0.14	-0.15	0.33	-0.23	0.44
Sc	-	-	-	-	-	-	-	0.50	0.48	0.24	-0.01	0.28	0.38	0.02	0.19
Sr	-	-	-	-	-	-	-	-	0.86	0.85	0.67	0.87	-0.48	0.75	-0.49
Th	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.81	0.81	0.89	-0.63	0.86	-0.51
\mathbf{V}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.73	0.84	-0.71	0.79	-0.57
Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.28	-0.21	0.40	-0.41
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.61	0.84	-0.54
Be	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.82	0.71
Zr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.73
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 6. 3: Resultado do coeficiente de correlação de Pearson entre os elementos traços da litosfera.

Ao se analisar a correlação entre os elementos traços foi diagnosticado 27 correlações fortes, contabilizando correlações positivas e negativas. Em quesitos de percentual, essa interações equivalem ao entorno de 25% do total, uma vez que foi calculado 105 interações entre os elementos traços. Para descrever as correlações, serão apresentadas da mais forte para a mais fraca, em relações as correlações fortes, ou seja, até 0,70 ou -0,70: Co e Zr 0,96; Co e Y 0,94; Th e Zn 0,89; Sr e Zn 0,87; Th e Zr 0,86; Sr e Th 0,86; Cu e S 0,86; Sr e V 0,85; Co e Th 0,85; V e Zn 0,84, Zn e Zr 0,84; Be e Zr -0,82; Co e Zn, 0,81; Th e V 0,81; Th e Y 0,81; Cu e Be 0,80; Co e Be -0,78; V e Zr 0,79; Co e V 0,76; Sr e Zr 0,75; Cr e Li 0,74; V e Y 0,73; Zr e S -0,73; Co e Sr 0,72; Be e S 0,71 e V e Be -0,71. Observando os resultados das correlações fortes, nota-se uma tendência de essas serem positivas, pois de 27 correlações apenas quatro foram de natureza negativa (Tabela 6.3).

Dentre todos os elementos traços analisados apenas o Ba e o Ni não apresentaram correlações fortes com demais elementos, sendo o maior coeficiente de correlação de cada um 0,48 com Y e 0,65 com Li, respectivamente.

Ao se observar todos os resultados de coeficiente de correlação, o Ba foi o que apresentou resultados menos expressivos, possuindo apenas seis coeficientes de correlações que ultrapassam 0,20 ou -0,20, sendo que nenhum deles apresentou coeficiente maior que 0,50 ou -0,50.

A menor correlação elementar foi a do Y com o Sc registrando o coeficiente de -0,01. Vale salientar que o Sc e o Zr apresentam uma correlação muita baixa também, com um coeficiente de 0,02. Por outro lado, os elementos que mais possuem correlações fortes são: Co, V e Zr, todos possuindo sete correlações fortes. Nota-se também que apenas o Be e o Cu não apresentaram nenhuma correlação abaixo de 0,20 ou -0,20, e o Be apresentou três das quatros correlações fortes negativas.

Por fim, pode-se dizer que há variabilidade entre os resultados de coeficiente, uma vez que há correlações fracas, médias e fortes aproximadamente na mesma proporção, já em quesitos de relações positivas e negativas, há uma tendência de correlações positivas, uma vez que há 35 correlações negativas e 70 positivas.

Elementos	Mn	Al	Fe	Ca	K	Mg	Na	Р	Ti
Ba	0.43	0.06	0.23	0.37	0.13	0.77	-0.05	-0.38	0.36
Со	0.75	0.40	0.76	0.18	-0.57	0.49	-0.70	0.10	0.98
Cr	-0.52	0.69	-0.17	0.11	0.63	0.20	0.64	0.58	-0.05
Cu	-0.76	0.04	-0.71	0.25	0.57	-0.19	0.62	0.43	-0.59
Li	-0.30	0.78	0.01	0.09	0.38	0.39	0.33	0.54	0.20
Ni	-0.31	0.49	-0.05	-0.01	0.77	0.56	0.69	0.16	-0.06
Sc	-0.38	0.61	-0.15	0.11	0.25	-0.07	0.31	0.66	0.10
Sr	0.46	0.84	0.65	-0.03	-0.14	0.45	-0.22	0.41	0.84
Th	0.53	0.64	0.65	0.07	-0.46	0.31	-0.53	0.36	0.89
V	0.54	0.78	0.90	-0.09	-0.23	0.45	-0.35	0.36	0.86
Y	0.27	0.09	0.21	-0.19	-0.29	0.10	-0.27	-0.19	0.40
Zn	0.64	0.64	0.77	0.00	-0.45	0.36	-0.56	0.46	0.90
Be	-0.76	-0.23	-0.83	0.39	0.75	-0.27	0.82	0.16	-0.77
Zr	0.81	0.41	0.80	0.01	-0.62	0.42	-0.72	0.00	0.97
S	-0.62	-0.10	-0.61	0.26	0.67	0.04	0.64	0.24	-0.63

Tabela 6. 4: Resultado do coeficiente de correlação de Pearson entre os elementos maiores e traços.

A última correlação analisada será entre os elementos maiores e elementos traços, totalizando 135 interações, dentre essas há 26 correlações fortes, sendo 19 positivas e 7 negativas. Como nos outros casos as correlações fortes serão demonstradas da maior correlação para a menor: Ti e Co 0,98; Ti e Zr 0,97; Fe e V 0,90; Ti e Zn 0,90; Ti e Th 0,89; Ti e V 0,86; Al e Sr 0,84; Ti e Sr 0,84; Fe e Be -0,83; Na e Be 0,82; Mn e Zr 0,81; Fe e Zr 0,80; Al e Li 0,78; Al e V 0,78; Mg e Ba 0,77; Fe e Zn 0,77; K e Ni 0,77; Ti e Be -0,77; Mn e Be -0,76; Fe e Co 0,76; Mn e Cu -0,76; Mn e Co 0,75; K e Be 0,75; Na e Zr - 0,72; Fe e Cu -0,71 e Na e Co -0,70 (Tabela 6.4).

Ao se observar a tabela de correlação entre elementos maiores e traços, diagnosticou-se que apenas o Ca e o P não tiveram correlações fortes com os elementos traços, por outro lado o Cr, Sc e o Y foram os únicos elementos que não possuem correlações fortes com os elementos maiores. Com o mesmo raciocínio, o Ca foi o elemento maior que demonstrou menor correlação com os elementos maiores, registrando apenas 4 correlações acima de 0,20 ou -0,20. Porém, nenhuma delas o coeficiente de correlação de Pearson ultrapassou o 0,50 ou -0,50.

Já em relação aos elementos traços o que menos demonstrou correlação com os elementos maiores foi o Sc apresentando 4 correlações fracas. Existem duas interações de devem ser ressaltados, por não apresentarem nenhuma correlação e possuírem o coeficiente zerado, sendo essas a interação do Ca com o Zn e a do P com o Zr. É importante citar também que as interações do Ca e Zr e Fe e Li apresentaram coeficiente de 0,01 demonstram que não há correlações entre esses elementos. Já elementos que apresentaram maior número de correlações tem-se o Ti com 7 e o Fe com 6 correlações fortes, dos elementos maiores, e o Co com 4 e o Be com 5 correlações fortes. Ao se analisar a variabilidade dos resultados, pode-se concluir que há variabilidade igual as situações acima, porém em relação a natureza dessa correlação predomina, assim como os outros contextos, a correlação positiva.

6.4 PERDA POR CALCINAÇÃO (PPC)

A PPC por sua vez, é um método que busca eliminar por completo o conteúdo de voláteis e a matéria orgânica presente nas amostras. Devido as altas temperaturas que o material é exposto, alguns elementos e moléculas podem ser perdidos. A matéria orgânica a ser eliminada pode se encontrar em diferentes tipos de compostos, como: petróleo, querogênio, ácidos graxos, carvão e/ou detritos vegetais, dependendo obviamente do contexto geológico-geoquímico presente.

Devido a suspeita de presença de muita matéria orgânica nas amostras optou-se por realizar a análise da PPC, porém, devido ao receio de perder material para a análise de determinação de elementos maiores e traço essa análise foi efetuada com outra alíquota da mesma amostra.

A interpretação de presença de matéria orgânica nos sedimentos da Lagoa do Couto iniciou-se com a descrição do testemunho, pois em muitas partes o material se apresentava ou em coloração preta ou em tons muito escuros. Outro fator que corroborou com esse pensamento, foi o resultado obtido no estágio pós digestão total do material para a análise no ICP-OES, pois junto ao material dissolvido em
solução havia um segundo material que apresentava uma coloração escura, tangenciando para preto, e com um certa viscosidade. Vale ressaltar que a digestão total aplicada nas amostras apresenta dificuldade em solubilizar o material quando se trata de matéria orgânica, dependendo de sua composição.

Assim, ao se analisar os resultados obtidos pode-se concluir que há presença de muita matéria orgânica no material, uma vez que se observam valores elevados de PPC. Uma das amostras superou os 50%, a média de PPC do conjunto de amostras ficou em 26,52%, portanto ultrapassando um quarto da massa total. A mediana de perdas foi de 25,44% e não foi possível se obter a moda, uma vez que não houve repetição de valores, devido a precisão de duas casas decimais.

Outro ponto que evidencia essa interpretação das cores mais escuras marcarem os níveis ricos em matérias orgânicas são os resultados obtidos na amostra PQ22-1011, que possui uma perda total de 57,73%, a maior registrada, e se encontra na primeira camada, topo base, descrita como de coloração preta. O outro estrato de coloração preta se encontra no intervalo 100,00 a 112,00 cm, dentre esse intervalo estão alocadas 4 amostras, sendo que apenas uma delas possui uma perda menor que a média. O mesmo comportamento se dá para a primeira camada da amostra PQ22-1011. Nesse estrato há 5 amostras alocadas e apenas uma delas apresenta o valor de perda abaixo da média.

Por fim, ao se analisar o gráfico (Figura 6.3), nota-se que em termos quantitativos existe uma tendência de diminuição da porcentagem de perda por calcinação dentro do intervalo do testemunho. Analisando o gráfico percebe-se que a porcentagem de PPC das amostras possui um pico no início do testemunho, em seguida há uma baixada nos valores de PPC e a partir da amostra PQ22-1025 começa a se ter um aumento e depois se estabiliza.



Figura 6. 3: Gráfico do resultado do Percentual de Perda por Calor (PPC).

Observando o gráfico junto a coluna estratigráfica (Figura 6.4) nota-se que alguns aumentos e perdas no percentual de perda marcam contatos entre camadas. Isso pode ser diagnosticado no contato entre a primeira e a segunda camada, no contato entre as duas na altura de 12 cm, em que há um pico de perda ao fogo indicando uma camada mais rica em matéria orgânica. O mesmo é válido para o contato entre a segunda e a terceira camada. Ao se aproximar do contato entre as duas é possível perceber que há uma queda no percentual de perda ao fogo.

O último contato da coluna que é possível associar com o gráfico, é entre a terceira e a quarta camada, uma vez que entre a descontinuidade entre esses dois estratos é possível se analisar um aumento considerável no percentual de perda ao fogo. Após esse contato o gráfico apresenta uma homogeneidade, porém analisando apenas desse ponto para baixo, é possível notar que existem duas fases. A primeira representada pelo topo da quarta camada, apresenta menores teores de matéria orgânica em sua composição, e a segunda composta pela base da quarta camada a quinta e sexta camada apresenta maior taxa de matéria orgânica em sua composição, evidenciando uma homogeneidade durante todo o seu intervalo.



Zamora, C. G. M. 2023, Análise Geoquímica do Sedimento dos Lagos de Altitude da Serra do Gandarela.

Figura 6. 4: Correlação do perfil estratigráfico referente ao testemunho da Lagoa dos Coutos, com o gráfica de percentual de perda ao fogo.

CAPÍTULO 7

DISCUSSÕES

7.1 GENESES DOS LAGOS, ÁREAS FONTES E COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

Conforme os resultados e as análises realizadas, o primeiro tópico a ser discutido é a gênese desses lagos de alta altitude. Se baseando na classificação de gêneses de lagos apresentadas por Esteve (1998) e o trabalho de Pereira & Salgado (2010) há a possibilidade desse lagos terem se formado por dissolução de rochas calcárias. O principal indício dessa possibilidade é o posicionamento geológico dos lagos (inclusive a Lagoa dos Coutos, foco do presente estudo), sendo a região composta principalmente por itabiritos e dolomitos, rochas metamórficas de protólitos sedimentar químico.

Com a análise geoquímica dos sedimentos foi possível notar que a concentração que Ca e Mg foi baixa para uma região rica em dolomitos, porém, uma explicação para essa baixa concentração é devido ao ambiente de deposição. Por se tratar de um lago de alta altitude e com presença de muita matéria orgânica levantou-se a hipóteses de uma alta taxa de lixiviação desses sedimentos, devido a presença de ácidos orgânicos, gerando um pH ácido nas água (Dias 2014; Silvia 2018), e a rotatividade de água no local, já que todo ano no período de chuva o lago enche e na seca o lago esvazia, caracterizando um lago e altitude do tipo temporário.

Outro motivo da explicação da baixa concentração de Ca e do Mg que corrobora com a possibilidade desses lagos serem formados por colapso de rochas carbonáticas, é o fato desses lagos estarem situados em um local onde a estratigrafía se apresenta invertida. Com isso observa-se que a rocha aflorante no local é o itabirito da Fm. Cauê e cangas do Holoceno, por sua vez os dolomitos da Fm. Gandarela se encontram por baixo (sotopostos), assim a água em subsuperfície solubilizou os dolomitos causando um colapso nesses locais. Devido a esse espaço vazio criado houve uma subsidência nos itabiritos gerando zona de depressão que podem ter sido formadoras desses lagos. Devido a isso, pelo fato de as rochas carbonáticas estarem em baixo, a concentração de Ca e Mg nos sedimentos sobrepostos é baixa.

Em relação a área fonte do sedimento, existem algumas hipóteses que podem ser sugeridas conforme os resultados geoquímicos obtidos. Por conta das anomalias e das zonas de homogeneidade que o testemunho apresenta, a primeira hipótese que se levantou é que ao longo dos anos de deposição de sedimento nesses lagos a área fonte se manteve a mesma, porém devido a erosão e ao intemperismo que as rochas sofriam as rochas fontes se alteravam com as sotopostas. Ou seja, cada rocha, mesmo que essa seja da mesma natureza, apresenta assinaturas geoquímicas que podem ser diferentes, e essas

características geoquímicas refletem nos sedimentos oriundos dessa rochas. Assim, conforme a análise realizada ao longo do testemunho, pode-se dividir esse intervalo de sedimento em três partes, sendo a primeira situada da superfície até 15 cm de profundidade, a segunda de 15 até 80 cm de profundidade e a terceira de 80 até o final do furo.

Como mostrado na análise, a primeira e a terceira zona apresentam zona de homogeneidade, e a segunda consiste em um intervalo de maior variabilidade de concentrações dos elementos, um questionamento realizado foi se a primeira e a terceira zona não poderiam ser a mesma área fonte, porém ao se analisar cada elemento percebe-se que, por mais que esses dois intervalos apresentem uma certa homogeneidade, a concentração e o comportamento dos elementos é diferente nas duas. O exemplo mais claro disso é o Ni com Cu, uma vez que na primeira zona os dois apresentam concentrações inversamente proporcionais, porém na segunda zona esses elementos apresentam concentrações proporcionais, demonstrando um diferente comportamento entre os dois trechos.

A outra hipótese referente a essa diferenciação na concentração elementar dentro do testemunho é o tipo de transporte dos sedimentos. Nota-se que a primeira hipótese leva em consideração que a área fonte é a mesma, porém, com a erosão das rochas, novos litotipos de composição diferentes (mesmo que levemente) afloraram ao passar dos anos. Entretanto, essa segunda hipótese consiste que o tipo de transporte pode estar alterando a origem da área fonte, uma vez que sedimentos transportados por água ou por ventos possuem características diferentes. Os sedimentos transportados por cursos d'água superficiais possuem uma área fonte muito mais restrita que os sedimentos transportados por ventos, já que as partículas capturadas pelas águas superficiais que irão formar o sedimento estão restritas à bacia desse curso d'água, contudo os sedimentos formados por ações dos ventos apresentam uma área mais ampla de atuação para transportar essa partícula até a área de deposição, sobretudo considerando as partículas finas. Deve-se levar em conta, naturalmente, os processos de selecionamento das partículas sedimentares em cada um dos tipos de transporte. Essa hipótese é levantada, pois no intervalo estudado no testemunho, de cerca de 100 mil anos, a lagoa pode ter sido aberta, o que acarreta na mudança da área fonte comparada a atual, que se da por meio das águas de chuva.

Assim o grande diferencial entre as duas hipóteses não é em relação a alteração (intemperismo físico, químico e biológico, fortemente vinculado às variações climáticas) de rocha para a geração de sedimentos, pois isso nos dois casos ocorre, mas sim em relação a localidade da área fonte. Sintetizando, a primeira hipótese evidencia que a área fonte sempre foi a mesma e no segundo caso a área fonte pode ter mudado ao longo do anos devido a variações geográfica dos cursos d'água superficiais e dos diferentes transportes.

É importante salientar que hoje esses lagos apresentam características de lagos fechados, sendo assim as águas da chuva e os ventos são os principais meios de transporte do sedimento, porém estimase que na profundidade coletada as amostras essas apresentam um intervalo de 100 mil anos, logo ao decorrer desses anos o meio de transporte de sedimento pode ter se alterado.

Por fim, a última hipótese está entrelaçada com a segunda, pois essa compreende que a diferenciação entre as concentrações de elementos se dá por meio de mudanças de paleoclima, o que consequentemente vai alterar no transporte de sedimentos. Porém para melhor discutir essa hipótese é necessário que seja realizada uma análise de isótopos estáveis, preferencialmente de oxigênio, carbono e nitrogênio.

Em uma interpretação de possíveis rochas que geram os sedimentos presentes na Lagoa dos Coutos, conforme a concentração elementar, a principal hipótese está relacionada as rochas fontes serem referentes aos depósitos lateríticos da Serra do Gandarela. Essa hipótese foi levantada devido as altas concentrações de Fe e principalmente Al presentes nas amostras, conforme o trabalho de Roberto (2010) os principais minerais que compõem esse tipo de rocha, em geral, são hematita, goethita e gibbisita, sendo que esses minerais apresentam principalmente Fe e Al em suas composições. Pensou-se, também, que outra o itabirito poderia ser a rocha principal da origem dos sedimentos, porém nesse tipo de rocha, conforme o mesmo autor supracitado, apresenta teores baixo de minerais ricos em Al, como gipsita e caulinita, mas não se descarta de uma parte dos sedimentos provir dessas rochas. Por fim, a última rocha que se pensou devido a localização foram os dolomitos, porém de acordo com as baixas concentrações de Ca e Mg nos sedimentos essa hipótese não se apresentou-se a mais viável, contudo com a o pH ácido que a água da Lagoa dos Coutos apresenta, esses teores de Ca e Mg podem estar ofuscados. Por fim, conclui-se que provavelmente a principal rocha que gera os sedimentos da Lagoa dos Coutos, são as cangas que contornam essa feição.

Em relação aos minerais que constituem esse sedimento estima-se devido a concentração elementar que os principais minerais presentes são goethita, gibbisita, caulinita e quartzo. Devido à falta de um difratômetro de raio x, não foi possível se realizar uma análise para se obter um dado preciso acerca da mineralogia dos sedimentos, porém se baseando no trabalho de Costa *et al.* (2005), em que foi analisado sedimento lacustre de uma região de cangas em Carajás, mesmo contexto do estudado, notou-se que a concentração elementar é relativamente similar, apresentando Si, Fe e Al (Sílica devido a descrição do testemunho) como os três elementos mais abundantes no sedimento, nessa pesquisa foi realizada a difração de raio x e os principais minerais encontrados foram os supracitados. Não foi possível se determinar a concentração da Si devido ao método escolhido nesse trabalho, porém ao se realizar a descrição do testemunho foi encontrado muitos grãos de quartzo ao longo do furo.

7.2 CORRELAÇÃO DE PEARSON

Em parâmetros gerais, após a análise do coeficiente de correlação de Pearson, percebe-se que a correlação entre os elementos apresenta uma relação com a mobilidade, ou seja, os elementos imóveis podem apresentar fortes correlações com outros elementos imóveis.

Conforme o gráfico (Figura 7.1) de mobilidade de Smith & Huyck (1999 *apud* Alleoni *et al.* 2005), os autores classificam os elementos em três classes: Oxiânios móveis, Íons imóveis e Cátions móveis. Assim percebe-se que os elementos que eram da mesma classe em sua maioria demostravam um coeficiente de correlação alto. O principal elemento que evidenciou essa relação foi o Ti, da classe íon imóveis, conforme os autores citados acima.



Figura 7. 1: Mobilidade dos elementos químicos em ambiente superficial, levando-se em consideração apenas o potencial iônico (Modificado Smith & Huyck 1999 apud Alleoni et al. 2005).

Os principais exemplos que contribuíram para essa análise foram do Ti e V, Ti e Fe, Ti e Zr, Na e K, P e Mg e P e Zr. Dentre todos os elementos citados, conforme de Smith & Huyck (1999), os que são classificados como íons imóveis são: Ti, Fe, V, Zr; já o K, Na e Mg são cátions móveis e por fim o P é o único oxiânion móvel. Com isso, é possível notar que todos os elementos que são de mesma natureza apresentam coeficiente de correlações altos, como o Ti e V com 0,86; o Ti e Fe com 0,83; o Ti

e Zr com 0,97; e o Na e K, que de todos apresentados são o único que não são íons imóveis, mas cátions móveis, com coeficiente de 0,95.

O caso contrário também ocorre, ou seja, baixos coeficiente de correlação com elementos de natureza diferente, sendo o caso do P e Mg, um sendo oxiânion móvel e um cátion móvel, registrando coeficiente de 0,00 e o P com o Zr, sendo um íon imóvel e o outro um oxiânion móvel, com coeficiente de 0,00.

Para facilitar a visualização, foram elaborados gráficos (Figura 7.2) de dispersão das interações citadas acima, com os resultados das concentrações elementares de cada elementos. Nesses gráficos são apresentados pontos plotados, a linha de tendencia e o coeficiente de determinação. É importante ressaltar que o valor desse coeficiente é diferente do coeficiente de Pearson, uma vez que esses apresentam métodos de cálculos diferentes.



Figura 7. 2: Quadro com os gráficos de dispersão entre os elementos: Ti e V; Fe e Ti; Ti e Zr; Na e K; P e Mg; P e Zr.

7.3 MATÉRIA ORGÂNICA

Um fator que chamou a atenção desde o começo foi a presença de muita matéria orgânica no testemunho, os primeiros índicos dessa matéria orgânica em abundância foi a coloração que o testemunho apresentava, uma coloração preta ou em muito escura. O segundo indício da presença dessa matéria orgânica foi após a digestão total que as amostras sofreram para a análise no IC-OES, que na solução havia duas fases uma quase transparente com o material solubilizada e uma segunda fase mais escura, de consistência viscosa. O último indicio que levou a interpretar essa presença exacerbada de

matéria orgânica foi com os resultados o PCC, pois a média de perda ao fogo foi de um quarto do material.

Ao se analisar esses três indícios surgiu a hipótese que essa matéria orgânica está se manifestando por meio de ácidos orgânicos que está presente em todo o testemunho, porém com maiores concentrações em certas porções. Essa interpretação dos ácidos orgânicos corrobora com a hipótese do Ca e do Mg apresentarem baixas concentrações, pois devido a presença de altos teores desses ácidos isso contribui para a lixiviação desses elementos.

Conforme dito anteriormente, as feições lacustres estudadas se encontram em regiões de alta altitude, assim com a combinação desses dois fatores, regiões de lagos e região altas, há o acumulo de matéria orgânica em ambiente subaquático de baixa energia se tornando uma ambiente favorável para a formação desses compostos químicos.

CAPÍTULO 8

CONCLUSÕES

Em conclusão, com base nas análises realizadas, pode-se levantar hipóteses sobre a gênese dos lagos de alta altitude, como a possibilidade de terem sido formados por dissolução de rochas calcárias. O posicionamento geológico dos lagos, principalmente na região composta por itabiritos e dolomitos, reforça essa possibilidade. A baixa concentração de Ca e Mg nos sedimentos pode ser explicada pelo ambiente de deposição, caracterizado pela presença de ácidos orgânicos que levam à lixiviação dos sedimentos devido à alta taxa de rotatividade de água na Lagoa dos Coutos.

Outra explicação para a baixa concentração de Ca e Mg é o fato desses lagos estarem situados em uma área onde a estratigrafia se apresenta invertida. Com a presença de dolomitos (Fm. Gandarela) abaixo dos itabiritos (Fm. Cauê) de das cangas, a água em subsuperfície solubilizou os dolomitos, causando colapsos e formando zonas de depressão que podem ter dado origem aos lagos. Essa inversão estratigráfica também contribui para a baixa concentração de Ca e Mg nos sedimentos lacustres.

A análise dos sedimentos sugere duas hipóteses, a primeira sugere a existência de uma possível área fonte que se manteve ao longo dos anos, já a segunda indica a possibilidade de variações na área fonte devido à erosão e ao transporte de sedimentos. Para se saber qual das hipóteses está certa, é necessário um estudo a fundo acerca do tipo de transporte de sedimento ao longo desse tempo e com isso estuda o paleoclima da região, que está intrinsicamente ligado aos meios de transporte.

Além disso, os resultados geoquímicos e a análise de correlação entre os elementos indicam uma relação com a mobilidade dos mesmos. Elementos imóveis tendem a apresentar correlações mais fortes entre si, enquanto elementos de diferentes naturezas, em relação a mobilidade, apresentam baixos coeficientes de correlação.

No entanto, para uma análise mais precisa e aprofundada das hipóteses, seria necessário realizar análises de isótopos estáveis, principalmente de O, N e C, além de contar com outros métodos de geoquímicos para novos resultados. Esses dados adicionais ajudariam a confirmar as hipóteses levantadas e a compreender melhor a influência do paleoclima, das variações na área fonte dos sedimentos e da gêneses dos lagos. Vale ressaltar que seria adequado realizara uma difração de raio x nos sedimentos para se obter, com precisão, os minerais que constituem o sedimento, pois os apresentados aqui são uma suposição conforme o trabalho de Costa *et al.* (2005).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alleoni, L. R. F., Borba, R. P., & Camargo, O. A. de. 2005. Metais pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros. In Tópicos em Ciência do Solo (Vol. 4, p. 1-42). Viçosa: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

Almeida L. G., Castro P. de T. A., Endo, I., Fonseca, M. A. 2005. O Grupo Sabará no sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferríferro: Uma revisão estratigráfica. *Rev. Bras. de Geoc.* **35(2)**: 177-186.

Alkmim F.F., Marshak S. 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, **90**(1-2):29-58.

Angeli G., 2015. Arcabouço estrutural e contribuição à estratigrafia do Grupo Maquiné, Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais. MS Dissertation, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, p. 129. Bizzi L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M., Gonçalves, J. H.. 2003. Geologia Tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG. Brasília, CPRM. 643 p.

Carmo, F.F., 2010. Importância Ambiental e Estado de Conservação dos Ecossistemas de Cangas no Quadrilátero Ferrífero e Proposta de Áreas-Alvo para a Investigação e Proteção da Biodiversidade em Minas Gerais. Univ. Fed. Minas Gerais, Belo Horiz. - Minas Gerais Dissertação, 1–90.

CorelDRAW Graphics Suite 2021. Project for Windows 10, version 2.2: project planning software. Copyright 2023 Corel Corporation.

da Costa, M. L., do Carmo, M. S., & Behling, H. 2005. Mineralogia e geoquímica de sedimentos lacustres com substrato laterítico na Amazônia brasileira. *Brazilian Journal of Geology*, *35*(2), 165-176.

da Silveira, A. C., Varejão, F. G., Neumann, V. H., Sial, A. N., Assine, M. L., Ferreira, V. P., & Fambrini, G. L. 2014. Quimioestratigrafia de carbono E oxigenio dos carbonatos lacustres aptianos da Serra do Tonã, Sub-Bacia de Tucano Norte, ne do Brasil. *Estudos Geológicos*, 24, 2.

Dancey, C. & Reidy, J. 2006. Estatística Sem Matemática Para Psicologia: Usando SPSS Para Windows. Porto Alegre, Artmed.

Dias, E.S., 2014. A decomposição de macrófitas não é influenciada pela comunidade de invertebrados: um estudo de caso em uma lagoa temporária na Serra do Gandarela (MG). Universidade Federal de Ouro Preto.

Dorr II J.V.N., Gair J. E., Pomerene J. B., Rynearson G. A.. 1957. Revisão da estratigráfia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero. *Brazil Depart. Nac. Produção Mineral, Div. Fomento Produção Mineral*, Avulso 81, 31 p.

Dorr II J.V.N. 1963. Geologic map and sections of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil, scale 1:150.000. Washington: USGS/DNPM.

Dorr II J.V.N. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Brazil. Washington: USGS/DNPM. Professional Paper. 641(A):110 p.

Endo, I., Oliveira, A. H., Peres, G. G., Guimarães, M. L. V., Lagoeiro, L. E., Machado, R., & Melo, R. J. 2005. Nappe Curral: uma megaestrutura alóctone do Quadrilátero Ferrífero e controle da mineralização. *X Simpósio Nacional de Estudos Tectônico/ IV Internacional Symposium on Tectonics*. Curitiba, Boletim de Resumos Expandidos, p.:279-282.

Endo, I., Machado, R., Galbiatti, H. F., Rossi, D. Q., Zapparoli, A. de C., Delgado, C. E. R., et al. 2020. Estratigrafia e evolução estrutural do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In *Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos* (p. 70-113). Belo Horizonte, MG: 3i Editora. Recuperado de https://repositorio.usp.br/directbitstream/ce698998-978f-41fd-b9fe-d6cf749cda33/3086757.pdf

Endo, I., Galbiatti, H. F., Delgado, C. E. R., Oliveira, M. M. F., de, Zapparoli, A., de C., Moura, L. G. B., de, Peres, G. G., Oliveira, A. H., de, Zavaglia, G., Danderfer, F^o. A., Gomes, C. J. S., Carneiro, M. A., Nalini Jr., H. A., Castro, P de T.A., Suita, M. T. de F., Tazava E., Lana, C. de C., Martins-Neto, M. A., Martins, M. de S., Ferreira, F^o. F. A., Franco, A. P., Almeida, L. G., Rossi, D. Q., Angeli, G., Madeira, T. J. A., Piassa, L. R. A.,

Mariano, D. F., Carlos, D. U. 2019. *Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil, escala 1:150.000*. Ouro Preto, Departamento de Geologia, Escola de Minas – UFOP – Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero: www.qfe2050.ufop.br.

Farina F., Albert C., Lana C. 2015. The Neoarchean transition between medium and high-K granitoids: clues from the Southern São Francisco Craton (Brazil). *Precambrian Research*, **266**:375-394.

Ferreira R. C. R. 2020. Caracterização químico-faciológica dos derrames komatiíticos do Grupo Quebra Osso, greenstone belt Rio das Velhas, no setor leste do Quadrilátero Ferrífero/MG. PhD Thesis, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p. 167.

Figueiredo Filho, D. B., & Silva Júnior, J. A. 2009. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). *Revista Política Hoje*, *18*(1), 115-146.

Gonçalves, G. F. 2021. Estratigrafia de sequências e proveniência sedimentar do Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi no Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 139 p.

Hippertt J. & Davis B. 2000. Dome emplacement and formaon of kilometer-scale synclines in a granitegreenstone terrain (Quadrilátero Ferrífero, southeastern Brazil). *Precambrian Research*, **102**: 99–121.

Lacourt, F. 1935. *Resumo da geologia da folha de Ouro Preto*. In: Anais da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, **28**: 103–139.

Leibowitz, Z. W., & Preto, O. 2016. *Diatoms as Proxies for Environmental Change: a Paleolimnological Investigation of a Shallow Iron Outcrop Lake (Lagoa dos Coutos, Serra do Gandarela, MG)*. MS Dissertation, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 99 p.

Maizatto J. R. 2001. Analise bioestratigráfica, paleoecolôgica e sedimentológica das bacias terciárias do Gandarela e Fonseca – Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais, com base nos aspectos palinológicos e sedimentares. PhD Thesis, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 333 p.

Neumann, V. H., Aragão, M. A. F., Valença, L. M. M., Leal, J. P. 2008. Ambientes Lacustres (Cap. 5). In: Silva et al., Eds. *Ambientes de Sedimentação Siliciclástica do Brasil*, Beca-BALL Edições, São Paulo, 343p.

Nogueira, L. B. 2018. Estudo geoquímico e isotópico de rochas carbonáticas das formações gandarela e fecho do funil–Quadrilátero Ferrífero-Brasil. PhD Thesis, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 145 p.

Pereira, M. C., & Salgado, A. A. R. 2010. Mapeamento e análise das depressões cársticas presentes na Serra do Gandarela–Quadrilátero Ferrífero/MG: Resultados Preliminares. *Simpósio Nacional de Geomorfologia*, 8, 1-14.

Pires P.F.R. 2005. Gênese dos depósitos auríferos em metaconglomerados da Formação Moeda, Quadrilátero Ferrífero, MG: o papel do metamorfismo e associação com a matéria carbonosa. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 208 p.

Renger, F. E., Suckau, V. E., Silva, R. M. P., 1993. Sedimentologia e analise de bacia da Formação Moeda, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *In: Anais VII Simpósio de Geologia de Minas Gerais, Belo Horizonte*. Soc. Bras. Geol., Núcleo Minas Gerais, p. 41–45.

Reis L. A., Martins-Neto M. A., Gomes N. S., Endo I. 2002. A bacia de antepaís paleoproterozóica Sabará, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Ver. Bras. de Geoc.* **32:** 43-58.

Roberto, J. B. 2010. Influência dos diversos tipos litológicos nas operações de concentração da instalação de beneficiamento de Brucutu. Dissertação Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p. 119.

Rossi D. Q., Endo I., Gabriel E. G.. 2019. Structural framework of the iron district of Itabira, Iron Quadrangle, Minas Gerais. *Int. Eng. Jour.*, Ouro Preto, **72(1):** 39-45.

Sant'anna L. G. 1994. *Mineralogia das argilas e evolução geológica da bacia Fonseca, Minas Gerais.* MS Dissertation, Instituto Geociências Universidade da São Paulo, 151 p.

Schorcher H. D.. 1992. Arcabouço petrográfico e evolução crustal dos terrenos precambrianos do sudeste de Minas Gerais: Quadrilátero Ferrífero, Espinhaço Meridional, e domos granitoides-gnaissicos adjacentes. Universidade da São Paulo, São Paulo, Tese de Livre Docência. 393p. Schrank, A., Machado, N., 1996b. Idades U–Pb em monazitas e zircões do distrito aurífero de Caeté, da Mina de Cuiabá e do Depósito de Carrapato, Quadrilátero Ferrífero (MG). In: Anais 39th Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador. Sociedade Brasileira de Geologia, v.6, p. 473–475.

Silva, E. E. C. 2018. O que uma lagoa pode nos contar sobre mudanças ambientais? Uma reconstrução do passado utilizando subfósseis de cladocera. Dissertation, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 116 p.

Silva, M. A. D., Goulart, L. E. A., Barros, R. D. A., Pinheiro, M. A. P., Silva, R. D. N., Sotero, M. P., ... & Sálvio, L. P. D. 2021. Projeto estratigrafia, recursos minerais e arquitetura crustal do Quadrilátero Ferrífero-*Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero e seu entorno, escala 1:250.000.* Belo Horizonte: CPRM.

SMITH, K.S. & HUYCK, H.L.O. 1999. An overview of the abundance, relative mobility, bioavailability and human toxicity of metals. In: PLUMLEE, G.S. & LOGDSON, M.J., eds. The environmental geochemistry of mineral deposits, Part A. Process, techniques and health issues: Soc. Econ. Geol., Ver. Econ. Geol., 6A:29-70.

Souza, S. R., Oliveira, A. D. O. D., & Hartmann, C. 2008. Utilização do testemunhador Russian Peat Borer no saco do Martins e Arraial, estuário da Laguna dos Patos: RS, Brasil. Departamento de Geociências/Laboratório de Oceanografia Geológica - LOG/FURG, Instituto de Geociências/Laboratório de Análise de Imagem do Trópico Úmido (IG/LAIT/UFPA).

Teixeira, W., 1985. A evolução geotectônica da porção meridional do Cráton São Francisco, com base em interpretações geocronológicas. PhD Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, 224 p.

Teixeira, W., 1993. Avaliação do acervo de dados geocronológicas e isotópicos do Cráton São Francisco-Implicações tectônicas. In: Dominguez, J.M.L., Misi, A. (Eds.), O Cráton do São Francisco. Soc. Bras. Geol., Núcleo Bahia/Sergipe, Salvador, pp. 11–33.

Viana, C. B. D. O. 2017. Reconstituição da paleovegetação da região da Lagoa dos Coutos, Barão de Cocais-MG na primeira metade do Holoceno. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, p. 83.

Zucchetti M., Baltazar O. F., Raposo F. O. 1998. Estratigrafia. In: M. Zucchetti & O. F. Baltazar (Org.). Projeto Rio das Velhas: *Texto explicativo do mapa geológico integrado, escala: 1:100.000*. Convênio DNPM/CPRM, Belo Horizonte.

Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. J. Geology, 30:377-392.