

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

PLINIO BRIOSCHI NETO

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DE SOLOS E ÁREA DE INFLUÊNCIA DOS
CARBONATITOS PICADA DOS TOCOS E PASSO FEIO, CAÇAPAVA DO SUL-RS**

**Caçapava do Sul
2019**

PLINIO BRIOSCHI NETO

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DE SOLOS E ÁREA DE INFLUÊNCIA DOS
CARBONATITOS PICADA DOS TOCOS E PASSO FEIO, CAÇAPAVA DO SUL-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geologia da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dra. Cristiane Heredia
Gomes

**Caçapava do Sul
2019**

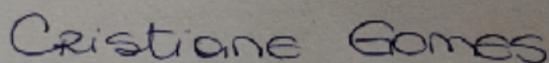
PLINIO BRIOSCHI NETO

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DE SOLOS E ÁREA DE INFLUÊNCIA DOS
CARBONATITOS PICADA DOS TOCOS E PASSO FEIO, CAÇAPAVA DO SUL-RS**

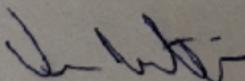
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geologia da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 9 de dezembro de 2019.

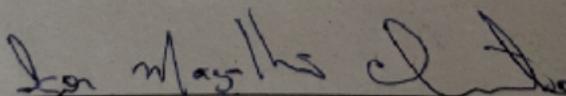
Banca examinadora:



Prof. Dra. Cristiane Heredia Gomes
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. Vinicius Matté
UNIPAMPA



Prof. Dr. Igor Magalhães Clemente
UNIPAMPA

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

B858c Brioschi Neto, Plinio

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DE SOLOS E ÁREA DE INFLUÊNCIA DOS
CARBONATITOS PICADA DOS TOCOS E PASSO FEIO, CAÇAPAVA DO SUL-RS
/ Plinio Brioschi Neto.

63 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2019.

"Orientação: Cristiane Heredia Gomes".

1. Geoquímica. 2. Carbonatito. 3. Solo. I. Título.

AGRADECIMENTO

Aos meus pais (Leu e Juni) por sempre mostrar que os sonhos devem ser seguidos. Por estar ao meu lado o tempo todo, me dando apoio nos mais diversos empecilhos, por confiar em mim e acreditar em meu sonho. Obrigado a todo amor que demonstraram para mim durante toda minha vida e todos os ensinamentos que foram essenciais para a formação do meu caráter.

A minha irmã (Bia) que é minha segunda metade e sempre foi minha parceira e meu amor, onde um cuidava do outro nos mais diversos momentos de nossas vidas e provavelmente de outras vidas.

A minha orientadora (Cris) por todo apoio, ajuda, ensinamentos e conhecimentos a mim passados.

A todos meus professores que fizeram parte do meu caminho acadêmico, passando com prazer seus conhecimentos.

A todos meus familiares (Carlos Silva/Oliveira) e (Brioschi/Caliman), que também sempre estiveram presentes em minha vida desde o momento em que nasci até os dias atuais, com um amor e ligação fora do comum.

A Athena, minha parceira incondicional neste último ano.

A Karol, minha namorada, companheira e parceira, que foi extremamente importante durante os últimos dois anos da faculdade oferecendo todo tipo de apoio necessário.

Aos meus melhores amigos que consegui conquistar durante minha caminhada na universidade (Andreas, Daniel, Guilherme, Guto, Hugo, Jorge e Rodrigo) que foram essenciais para que eu completasse essa parte da minha vida. A outros amigos muito importantes nesse período (Alberto, Alice, Brutos, Fabiano, Gilberto, Guigo, Gio, Isa, Kenya, Murilo e Zoio).

*“If you try to remember you will lose!
Empty your mind. Be formless, shapeless,
like water. Put water into a cup, it
becomes the cup. Put water into a teapot,
it becomes the teapot. Water can flow or
creep or drip or crash. Be water, my
friend.” -*

Bruce Lee

RESUMO

A mineração é de fato um dos maiores contribuidores para o desenvolvimento da humanidade. Sem a presença dela, definitivamente não teríamos evoluído tanto. Atualmente, carbonatitos são alvos de diversos estudos prospectivos devido a sua grande chance de conter carbonato de cálcio, magnésio e ferro, bem como serem, também, extremamente ricos em fosfato e minerais ricos em Elementos Terra Rara (ETR). Os carbonatitos vem sendo alvo de estudos acadêmicos e econômicos por serem excelentes fontes de fertilizantes pela presença dos minerais fosfatados e também conter os ETR muito utilizados no desenvolvimento de tecnologia de ponta. Neste contexto, o município de Caçapava do Sul possui duas ocorrências conhecidas de carbonatitos, o Carbonatito Picada dos Tocos e o Carbonatito Passo Feio. No intuito de enriquecer o conhecimento e auxiliar na prospecção de carbonatitos, este trabalho teve como principal objetivo a caracterização geoquímica dos solos associados as ocorrências de carbonatitos em Caçapava do Sul. Neste sentido, foram realizadas análises em Espectrometria de Fluorescência de Raios-X com Dispersão Indutiva. Os dados obtidos revelaram que existe uma presença anômala dos elementos Ca, Mg, Fe, Ti, P, Mn, Co, Th e Ce. Essa anomalia esta diretamente ligada a presença dos carbonatitos na região e suas composições químicas. O Carbonatito Picada dos Tocos possui uma área de influência no sentido nordeste notada através da visualização dos mapas de teor produzidos, enquanto o Carbonatito Passo Feio possui uma área de influência no sentido sul.

Palavras-Chave: Solo, ETR, Mineração, Mobilidade Geoquímica.

ABSTRACT

Mining is indeed of the largest contributors to the development of humanity. Without its presence, we definitely would not have evolved as much as humanity. Currently, carbonatites are several prospective studies due to their high chance of containing calcium carbonate, magnesium and iron, and are also considered extremely rich in phosphate and minerals rich in Rare Earth Elements (ETR). Phosphates are currently being studied for their excellent soil correctives and ETRs for their use in the development of cutting-edge technology. In this context, the municipality of Caçapava do Sul has two occurrences of carbonatites, Carbonatito Picada de Tocos and Carbonatito Passo Feio. In order to enrich knowledge and assist in carbonate prospecting, this work aimed to characterize the soil geochemistry as occurrences of carbonatites in Caçapava do Sul. The soil where analyzed with Inductive Dispersion X-ray Fluorescence Spectrometry. The data obtained revealed that there is an anomalous presence of Ca, Mg, Fe, Ti, P, Mn, Co, Th and Ce elements. This anomaly is directly linked to the presence of carbonatites in the region and their chemical composition. The Carbonatito Picada dos Tocos has an area of influence to the northeast, while Carbonatito Passo Feio has an area of influence to the south.

Keywords: Soil, REE's, Mining, Geochemistry Mobility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de Localização da área e estudo.....	16
Figura 2 – Classificação de Goldschmidt dos elementos químicos.....	18
Figura 3 – Classificação química para carbonatitos com SiO ₂ < 20% (% em peso de óxidos).....	20
Figura 4 – Variedades morfológicas dos carbonatitos: A. tipo central e B. tipo linear.	21
Figura 5 – Distribuição dos carbonatitos ao redor do mundo.	24
Figura 6 – Distribuição espacial dos carbonatitos, com suas respectivas idades (Ma).....	25
Figura 7 – Unidades geológicas do Terreno São Gabriel.....	27
Figura 8 – Mapa de contorno radiométrico, canal eTh e geológico local.	29
Figura 9 – Afloramento do Carbonatito Passo Feio.....	31
Figura 10 – Uso do Cavador manual.....	32
Figura 11- Mapa com pontos de amostragem, (a) Carbonatito Picada dos Tocos, (b) Carbonatito Passo Feio.....	32
Figura 12- (a) Quarteamento da amostra; (b) Uso do cadinho para homogeneizar.....	33
Figura 13- Fotografia do equipamento de EDXRF portátil S1 Turbo SD Bruker.....	35
Figura 14- Mapas de isolinhas com teor de P, Th e Ce.....	51
Figura 15- Mapas de isolinhas com teor de Fe, Ti, Mn e Co.....	52
Figura 16- Mapas de isolinhas com teor de P, Co e Fe.....	53
Figura 17- Mapas de isolinhas com teor de Ca.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos solos amostrados, Coordenadas em WGS 84, 22J	38
Tabela 2 - Características dos solos amostrados, Coordenadas em WGS 84, 22J.....	39
Tabela 3 - Geoquímica qualitativa do solo representativo do Carbonatito Picada dos Tocos.....	41
Tabela 4 - Geoquímica qualitativa do solo representativo do Carbonatito Passo Feio.....	42
Tabela 5 - Estatísticas Descritivas, Carbonatito Picada dos Tocos.....	45
Tabela 6 - Estatísticas Descritivas, Carbonatito Passo Feio.....	46
Tabela 7 - Correlação de Pearson Carbonatito Picada dos Tocos, valores considerados representativos estão destacados.....	48
Tabela 8 - Correlação de Pearson Carbonatito Passo Feio, valores considerados representativos estão destacados.....	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Sete principais litologias que acompanham os carbonatitos ao redor do mundo.....	23
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EDXRF - Espectrometria de Fluorescência de Raios-X com Dispersão Indutiva

ESRG – Escudo Sul-Rio-Grandense

NE – Nordeste

N – NE – Norte-Nordeste

NW– SE – Noroeste-Sudeste

NW – Noroeste

Ga – Giga Anos (Bilhões de anos)

Ma – Mega Anos (Milhões e anos)

ETR – Elementos Terras Raras

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
2.3 Justificativa	16
3 ÁREA DE ESTUDO	16
4 ESTADO DA ARTE	17
4.1 Pedogênese	17
4.2 Dispersão Química	17
4.3 Os Carbonatitos	19
4.4 Cenário Mundial dos Carbonatitos	23
4.5 Cenário Brasileiro dos Carbonatitos	24
4.6 Geologia Regional	25
4.7 Geologia Local	28
5 METODOLOGIA	30
5.1 Etapa Pré Campo	30
5.1.1. Revisão Bibliográfica	30
5.1.2. Sensoriamento Remoto e dados SIG	30
5.2 Etapa de Campo	31
5.3 Etapa pós Campo	33
5.3.1 Descrição Macroscópica	33
5.3.2 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (EDXRF)	34
5.3.3 Análise Estatística dos Dados Geoquímicos	35
6 RESULTADOS	36
6.1 Características dos Solos	36
6.2 Geoquímica Qualitativa dos Solos	40
6.3 Estatísticas Descritivas	43
6.4 Correlação de Pearson	47
6.5 Mapas de Isotores	50
7 CONCLUSÕES	54
8 REFERÊNCIAS	55

1. INTRODUÇÃO

O ato de utilizar certos tipos de rochas específicas data do paleolítico e a retirada de minérios do solo e das próprias rochas é documentada desde a Idade dos metais. Esse processo tende a continuar e evoluir tecnologicamente na medida em que a população aumenta e necessita cada vez mais de produtos derivados da mineração. Segundo Farias (2002), a mineração é considerada como uma atividade fundamental para o desenvolvimento econômico e social de muitos países, tendo em vista que os minerais são essenciais para a vida moderna.

Hoje, a mineração está presente em diversos setores brasileiros, dentre eles os fertilizantes fosfatados. A crescente demanda por fertilizantes no cenário atual de incentivo ao cultivo é grande e conseqüentemente, também, é elevada a procura por depósitos minerais ricos em fósforo. Neste sentido, os carbonatitos apresentam significativas vantagens, pois contêm elevados teores de fósforo presentes na apatita, além de potássio (biotita e flogopita), cálcio (calcita), magnésio (dolomita) e metais raros (MARIANO, 1989).

Os carbonatitos são rochas ígneas incomuns compostas por mais de 50% de carbonato primário, nomeadas a partir do principal mineral carbonatado que as constitui, sendo assim divididas em: carbonatitos calcíticos, dolomíticos, ferrocarbonatitos e natrocarbonatitos (LE MAITRE, 2002). Este tipo de rocha é reconhecido em vários continentes, desde o Pré-cambriano. No Rio Grande do Sul quatro intrusões de corpos de carbonatitos são descritas: Picada dos Tocos e Passo Feio, na região de Caçapava do Sul (alvos deste presente trabalho), Três Estradas em Lavras do Sul e Joca Tavares em Bagé.

Neste sentido, o estudo direcionado a geoquímica abrange a distribuição e migração dos elementos químicos que constituem um determinado ambiente. A abundância dos elementos químicos tanto em ambientes primários (rocha) quanto em ambientes secundários (solo, sedimento e água) está intrinsecamente relacionada. A mobilidade química entre a atmosfera e a litosfera, que modifica, transporta e realoca os elementos químicos em resposta aos diversos processos que existem neste percurso (MEYBECK & HELMER, 1992).

A afinidade geoquímica dos elementos é um dos princípios que embasam a geoquímica aplicada à exploração mineral, pois elementos que pertencem à mesma

classe (classificação de Goldschmidt) podem formar associações geoquímicas indicativas de determinadas mineralizações (SANTOS, 2014). Por outro lado, elementos de afinidades geoquímicas similares podem apresentar mobilidade química distinta de acordo com as condições ambientais. Desta forma, aqueles de maior mobilidade no ambiente superficial são utilizados em prospecção como elementos farejadores daqueles menos móveis.

O ambiente secundário é extremamente importante em exploração geoquímica e historicamente, a maior ênfase é dada as análises dos materiais deste meio (Levinson, 1974). A mobilidade química dos elementos, particularmente dos metais, neste ambiente é a base da dispersão secundária, onde elementos com baixo potencial iônico como o Cu, Zn, Cd e Ag tendem a permanecer em solução como simples cátions durante os processos de intemperismo; os elementos com potencial iônico intermediário são menos móveis em virtude de sua facilidade em precipitar como hidróxidos e forte tendência à adsorção (Licht, 2001); e aqueles com potenciais iônicos mais elevados se combinam com o oxigênio e formam oxianions que também tendem a ser solúveis (SANTOS, 2014).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivo geral caracterizar geoquimicamente de forma qualitativa os solos presentes nas proximidades dos Carbonatitos Picada dos tocos e Passo Feio encontrados no município de Caçapava do Sul – RS.

2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos dessa pesquisa são:

- 1- Realizar estudos de solo;
- 2- Realizar análises qualitativas do solo;
- 3- Traçar similaridades geoquímicas do solo com os carbonatitos, já descritos na literatura, da região;
- 4- Identificar área de influência dos carbonatitos no solo.

2.3. Justificativa

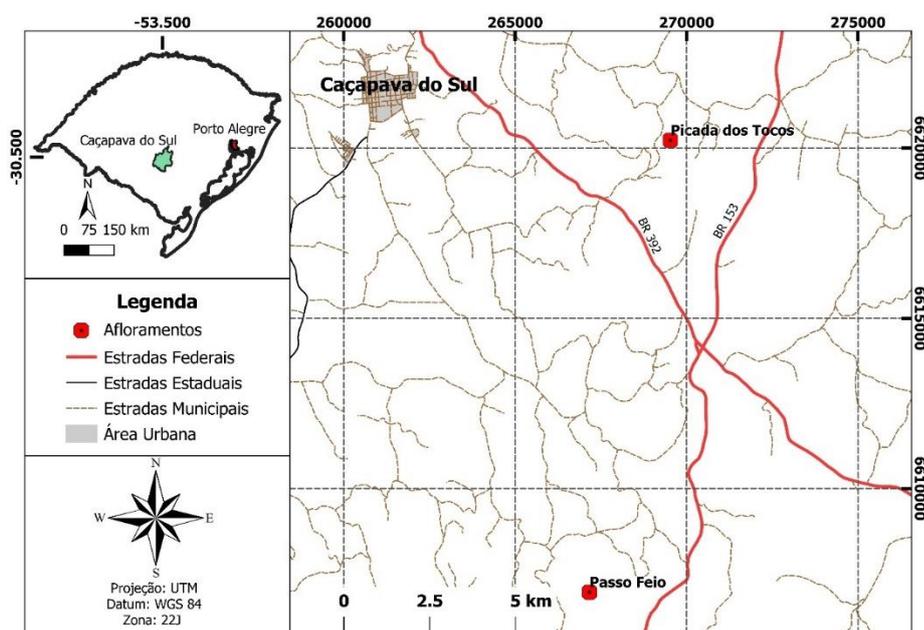
Este trabalho se justifica devido a importância da caracterização geoquímica dos solos oriundos dos carbonatitos, visando observar a correlação solo-rocha presentes. Esta correlação trará conhecimento científico tanto em termos acadêmicos quanto para futuros estudos voltados à prospecção mineral. Os carbonatitos são rochas bastante restritas quando comparadas com outros litotipos. Contudo, seu potencial econômico as torna extremamente importantes. Outra característica dessas rochas é que elas são a principal fonte de Elementos Terras Raras e ocorrência associada a mineralizações de fósforo, cobre, magnetita, hematita e outros.

Justifica-se também pela carência de estudos que contemplam a associação geoquímica solo-rocha dos carbonatitos em Caçapava do Sul. Assim, os estudos de reconhecimento voltados para esse enfoque se tornam uma contribuição significativa para o conhecimento científico da região.

3. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo se localiza no município de Caçapava do Sul 6.621.240mN e na 260.050mE, a uma altitude de 444 metros. Distante a aproximadamente 255 km da capital Porto Alegre. As principais vias de acesso ao município são as rodovias federais BR-290, que liga Porto Alegre a Caçapava do Sul e a BR-392 que liga Santana da Boa Vista a Caçapava do Sul (Figura 1).

Figura1- Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Autor

4. ESTADO DA ARTE

4.1 Pedogênese

A pedologia é uma Ciência do Solo relativamente nova, que foi iniciada pela escola russa no fim do século passado. Ela se baseia no quesito do solo não ser mais considerado somente como um material inerte que reflete puramente a composição da rocha fonte, mas como um material que é formado através de efeitos ativos como os fatores climáticos e a vegetação (DUCHAUFOR, 2012).

Como consequência o solo passa por sucessivas fases jovens e só posteriormente ele é considerado um solo maduro, tendendo para um estado de equilíbrio com a vegetação. A matéria orgânica, que essa vegetação contribui para com o solo, possui propriedades que são ativadores e formadores dos principais solos. Contudo, existem outros tipos de solos que são formados em locais com pouquíssima precipitação e nenhuma vegetação (DUCHAUFOR, 2012).

O processo de formação de solos é constantemente chamado de Pedogênese, onde as camadas de solos são originadas sucessivamente mais finas para o topo e mais grossas para a base. A separação destas camadas é conhecida como horizontes, onde os horizontes O, A, B e C são considerados os mais importantes. O horizonte O é uma camada fina de matéria puramente orgânica; o horizonte A contém presença de material orgânico junto com material mineral da rocha fonte; o horizonte B é uma zona intermediária, onde normalmente ocorre interação da área mineral com os fatores climáticos; e o horizonte C corresponde, basicamente, ao início da zona de transição entre o solo e a rocha (DUCHAUFOR, 2012).

4.2. Dispersão Geoquímica

Dispersão geoquímica é o processo no qual os íons e partículas se movem para novos locais e ambientes geoquímicos (LICHT, 1998). A dispersão geoquímica expressa o comportamento dos elementos e minerais quanto às variações nas condições de pressão, temperatura e química do ambiente. Segundo Licht (1998), fissuras e espaços inter-granulares são os principais canais de migração e redistribuição na dispersão profunda. Nos ambientes superficiais os processos de dispersão envolvem não apenas a formação de feições nas fissuras e juntas, mas

também na cobertura consolidada, nas drenagens, lagos, vegetação e mesmo no ar (ROSE et al. 1979).

Quanto ao comportamento geoquímico dos elementos, bem como quando inseridos nas fases sólidas dos minerais, esses podem ser classificados (figura 2) como siderófilos, calcófilos, litófilos, atmófilos ou biófilos, (WHITE, 2005). A figura 2 expressa a seguinte relação: siderófilos tem afinidade pelo ferro e se concentram no núcleo da Terra; calcófilos apresentam afinidade pelo enxofre e tendem a se concentrar nos sulfetos; litófilos expressão alta relação com sílica e são concentrados na crosta terrestre sob forma de silicatos; atmófilos são os elementos presentes nos gases da atmosfera e; biófilos são comumente encontrados nos organismos vivos.

Figura 2- Classificação de Goldschmidt dos elementos químicos.

GRUPO		CLASSIFICAÇÃO DE GOLDSCHMIDT																				
IA																	VIIIA					
1	H																	He				
2	Li	Be															B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB	VIIIB	IB	IIB	Al	Si	P	S	Cl	Ar						
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr				
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe				
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn				
7	Fr	Ra	Ac																			
				La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				
				Ac	Th	Pa	U	Nu	Pu													

 Litófilo	 Siderófilo	 Calcófilo	 Atmófilo
--	---	--	--

Fonte: White, 2005

Os elementos tendem a se associar nos processos geológicos devido às suas mobilidades relativas (LICHT, 1998). O que se observa é que a razão entre elementos associados se mantém relativamente constante em diferentes ambientes e que teores elevados de um são acompanhados por valores elevados do outro.

Segundo Licht (1998), alguns elementos podem permanecer associados em diversos ambientes geológicos e se moverem juntos durante a maioria dos processos no ambiente hipogênico, podendo romper essa relação no ambiente supergênico.

Não é possível entender a composição e as características de uma determinada classe de solo sem levar em consideração seu material de origem e suas propriedades em geral, tais como: menor ou maior resistência ao intemperismo, composição química, orientação estrutural, planos de fratura, entre outros (GUERRA, 2001). Existe uma conexão entre processos geoquímicos de superfície e contexto geológico local, principalmente no que diz respeito à composição mineral dos solos e intemperismo das rochas (FONSECA, 1999).

Os fatores que afetam a distribuição química dos metais no solo evidentemente controlam sua solubilidade e mobilidade no ambiente, influenciando diretamente na disponibilidade destes. A quantidade de metais disponíveis nos solos está regulada, em parte, pelas trocas iônicas. A troca catiônica e a formação de quelatos com a matéria orgânica são os principais processos que facilitam a disponibilidade dos metais e o grau do impacto ambiental causado pelos mesmos (RODRIGUES 2008).

Em condições normais, a principal fonte dos elementos traços nos solos deriva do material parental das rochas que lhe deram origem. A influência do material parental no conteúdo total e a forma como os elementos traços se comportam em solos é modificada por uma variedade de processos pedogenéticos, que afetam a mobilidade e redistribuição dos elementos traços nos perfis de solo (TEÓDULO et al., 2003).

Neste sentido, os dados geoquímicos dos carbonatitos de Caçapava do Sul (CERVA-ALVES et al., 2017) foram utilizados aqui para a correlação da composição química com o solo.

4.3. Os Carbonatitos

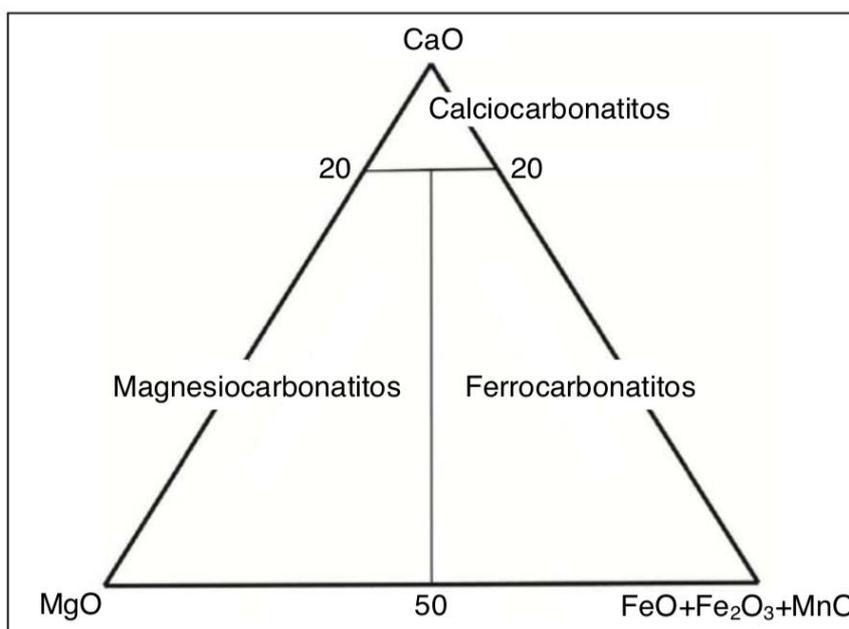
Segundo a *International Union of Geological Sciences* (IUGS) (LE MAITRE, 2002) os carbonatitos são considerados rochas ígneas intrusivas ou extrusivas que contém mais de 50% em volume (modal) de minerais carbonáticos. Os carbonatitos podem ser divididos em quatro grupos principais de acordo com o carbonato dominante (WERNICK, 2004; CERVA-ALVES, 2017), sendo estes:

1. Carbonatito calcítico, composto essencialmente por calcita, sendo também denominados de sovitos, quando possuem granulação grossa,

- e alvikitos, quando a granulação varia de média à fina;
2. Carbonatito dolomítico, também denominado de beforsito e compostos por dolomita;
 3. Carbonatito ferrífero ou ferrocarbonatito, compostos por carbonatos ricos em ferro;
 4. Carbonatito alcalino, também denominado de natrocarbonatito, que é constituído por carbonatos ricos em potássio e sódio.

A classificação dos carbonatitos também leva em consideração a composição química de rocha total (Figura 3).

Figura 3 - Classificação química para carbonatitos com $\text{SiO}_2 < 20\%$ (% em peso de óxidos).



Fonte: Woolley & Kempe (1989).

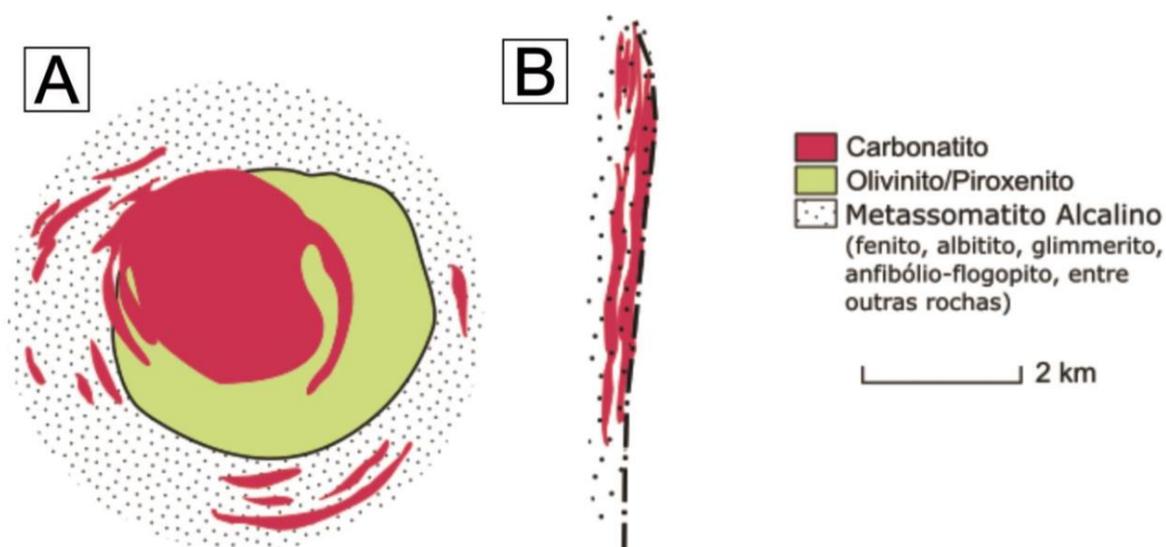
Apesar de seus tamanhos reduzidos, estes corpos possuem um grande potencial econômico, já que é comum a presença de apatita, minerais de ETR e de nióbio. Além destes também, podem conter anomalias de urânio, tório, cobre, ferro, titânio, bário, flúor, zircônio e outros elementos raros ou incompatíveis (MODRESKI et al., 1995). Outros minerais comuns em carbonatitos são a barita, magnetita, fluorita e pirocloro (BEST, 2003).

A apatita, além de cristalizar nas fases precoces, também pode ocorrer como um mineral tardio, sob a forma de fluorapatita ou carbonato-fluorapatita, rica em ETR e Sr. As variedades de apatita nos carbonatitos normalmente são zonadas, havendo

comumente um enriquecimento de ETR e Na no anel periférico e de Sr e F no núcleo (LAPIDO-LOUREIRO, CASTRO E SILVA, 2005).

Os carbonatitos se apresentam normalmente como corpos que podem ser classificados por sua disposição espacial no terreno e características estruturais em dois grupos. Os corpos de geometria circular ou oval são classificados como sendo do Tipo Central. Os corpos de geometria longitudinal, alongada, encaixados em falhas ou subconcordantes a essas falhas são classificados como sendo do Tipo Linear (KRAVCHENKO *et al.* 1988) (Figura 4).

Figura 4 - Variedades morfológicas dos carbonatitos: A. tipo central e B. tipo linear.



Fonte: Extraído de Lapin e Ploshko (1988).

Os carbonatitos são subdivididos em cinco fácies que variam de acordo com sua profundidade sendo estas: vulcânica, subvulcânica, hipoabissal, meso-abissal e abissal. A abissal é predominantemente associada aos carbonatitos lineares, enquanto que as outras quatro fácies estão associadas aos carbonatitos centrais. Estas subdivisões são extremamente importantes, pois o potencial econômico dos carbonatitos variam verticalmente (KRAVCHENKO *et al.*, 1988).

Levando em consideração a geoquímica dos elementos traços e o posicionamento geológico, Chakhmouradian (2009) classificou os carbonatitos em dois grupos:

1. Carbonatitos localizados em riftes e estruturas extencionais de menor escala, desenvolvidos em crátons arqueanos estáveis ou cinturões paleo-orogênicos;
2. Carbonatitos localizados em sistemas colisionais pós-orogênicos.

Em ambos os casos predominam os carbonatitos calcíticos ou sövitos. Os carbonatitos do tipo 1 se diferenciam quimicamente dos carbonatitos do tipo 2 por apresentarem grande abundância de elementos de elevado potencial iônico (HFSE - high-field-strength-elements), como o Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, além de U, Rb e V, porém apresentam baixas concentrações de Sr, Ba, Sb, ETR, F e S.

Os magmas carbonatíticos são altamente reativos e existem diversas barreiras físico-químicas durante a sua colocação na crosta superior (WOODARD & HETHERINGTON, 2014; HAMMOUDA & KESHAV, 2015). Por esta razão, é necessário que existam condutos estruturais, presentes em ambientes extencionais, ligando a fonte do manto à crosta superior, para permitir a rápida colocação destes materiais (WOODARD, 2010).

Sob altas pressões, os minerais de silicato reagem com o vapor de CO₂ para formar carbonatos (LUTH, 1995; KNOCHE *et al.*, 1999; MARTIN & HAMMOUDA, 2011). Estudos experimentais envolvendo fusão de silicatos na presença de carbono indicam que, em sistemas ultrabásicos (peridotíticos), é possível a produção de fusões silicáticas e carbonatitos (WYLLIE, 1989; WYLLIE & LEE, 1998). Os *melts* carbonatíticos em equilíbrio com o manto peridotítico têm composições dolomíticas (valores aproximadamente iguais de Ca e Mg) com uma tendência geral de se tornarem mais magnesianas com o aumento da pressão (HAMMOUDA & KESHAV, 2015).

Segundo Woolley e Kjarsgaard (2008), 76% dos carbonatitos intrusivos estão acompanhados de rochas silicatadas, enquanto que somente 24% não são acompanhadas por estes tipos de rochas (Quadro 1).

Quadro 1 – Sete principais litologias que acompanham os carbonatitos ao redor do mundo.

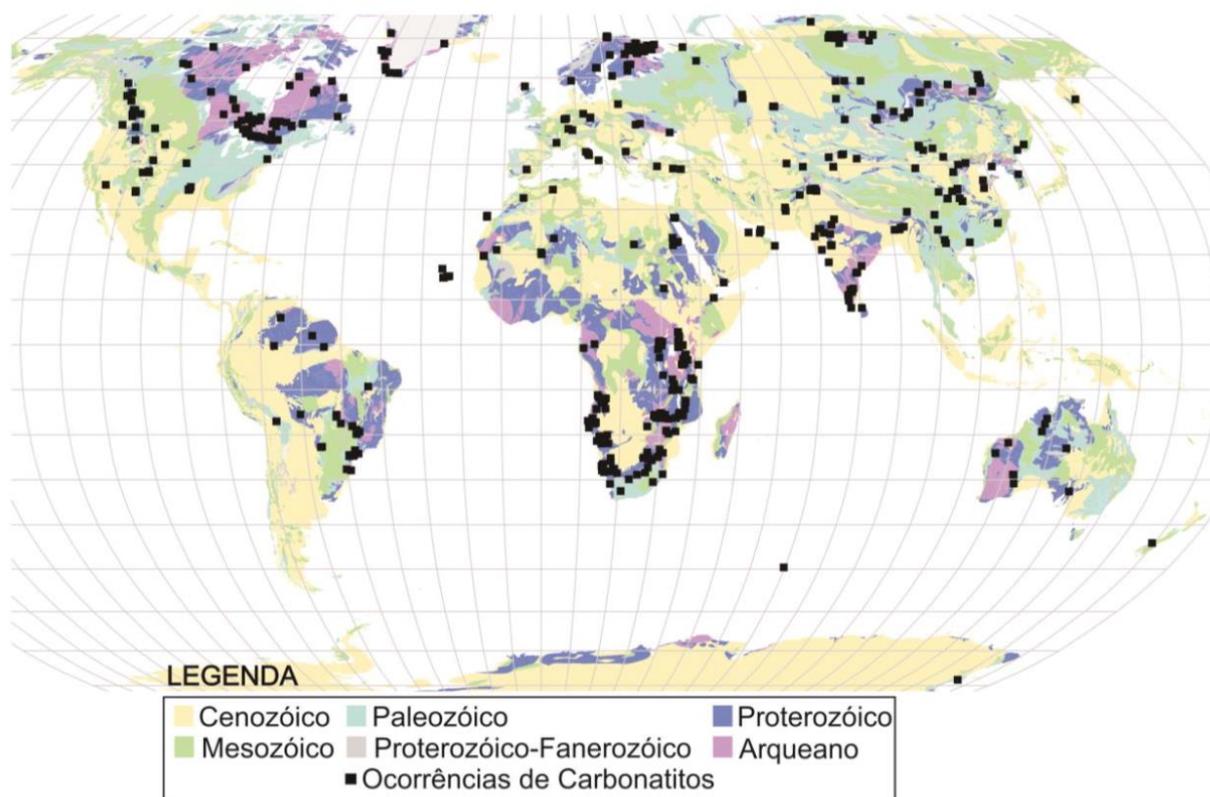
Nefelinito-ijolito	Nefelinito é uma rocha extrusiva ou hipoabissal de granulação fina ou porfírica, primariamente composta de nefelina e piroxênio. Ijolito é uma rocha rica em nefelina e piroxênio, com conteúdo de nefelina entre 30 e 70%.
Fonolito-sienito feldspatoidal	Fonolito é uma rocha constituída essencialmente por feldspato alcalino, feldspatóides e minerais máficos. (LE MAITRE, 2002)
Traquito-sienito	Traquito é uma rocha vulcânica composta essencialmente por feldspato alcalino. Sienito é uma rocha plutônica que consiste principalmente de feldspato alcalino, com quantidades subordinadas de plagioclásio sódico, biotita, piroxênio, anfibólio e ocasionalmente faialita. (LE MAITRE, 2002)
Melilito-melilitolito	Um grupo de rochas máficas, extrusivas/plutônicas, usualmente sem olivina, compostas por melilito e augita ou outros minerais máficos que componham mais de 90% da rocha. Este tipo de rocha pode conter quantidades menores de feldspatóides, apatita, calcita, e em alguns casos plagioclásio e flogopita.
Lamprófiro	Grupo de rochas porfíricas com minerais máficos (biotita, anfibólios, piroxênios) em uma matriz de feldspato alcalino. (LE MAITRE, 2002)
Kimberlito	Rocha ultramáfica composta por grandes quantidades de olivina serpentinizada e conteúdos variáveis de flogopita, ortopiroxênio, clinopiroxênio, carbonato e cromita. (LE MAITRE, 2002)
Basanito	Termo originalmente usado para um basalto porfírico contendo fenocristais de piroxênio, posteriormente utilizado para designar um grupo de rochas compostas de clinopiroxênio, plagioclásio e olivina. (LE MAITRE, 2002).
Ijolito	Rocha composta por nefelina e piroxênio com um conteúdo de nefelina entre 30 e 70%. Rochas que contêm mais de 70% de nefelina são classificadas como urtitos e aquelas com menos de 30% são denominadas melteigitos .

Fonte: Extraído e modificado de RICHARDSON & BIRKETT, 1996.

4.4. Cenário Mundial dos Carbonatitos

Segundo Wooley e Kjarsgaard (2008), há 527 ocorrências de carbonatitos ao redor do mundo (Figura 5). A grande maioria destas rochas está localizada no Continente Africano, enquanto que somente 5,5% está na América do Sul. Vale ressaltar que o único vulcão ativo de lava com composição carbonatítica no mundo é o Ol Doinyio Lengai na Tanzânia. Genericamente, existe uma concentração espacial de carbonatitos em áreas cratônicas pré-cambrianas, como observado na África, Américas, Austrália e Rússia.

Figura 5- Distribuição dos carbonatitos no mundo.

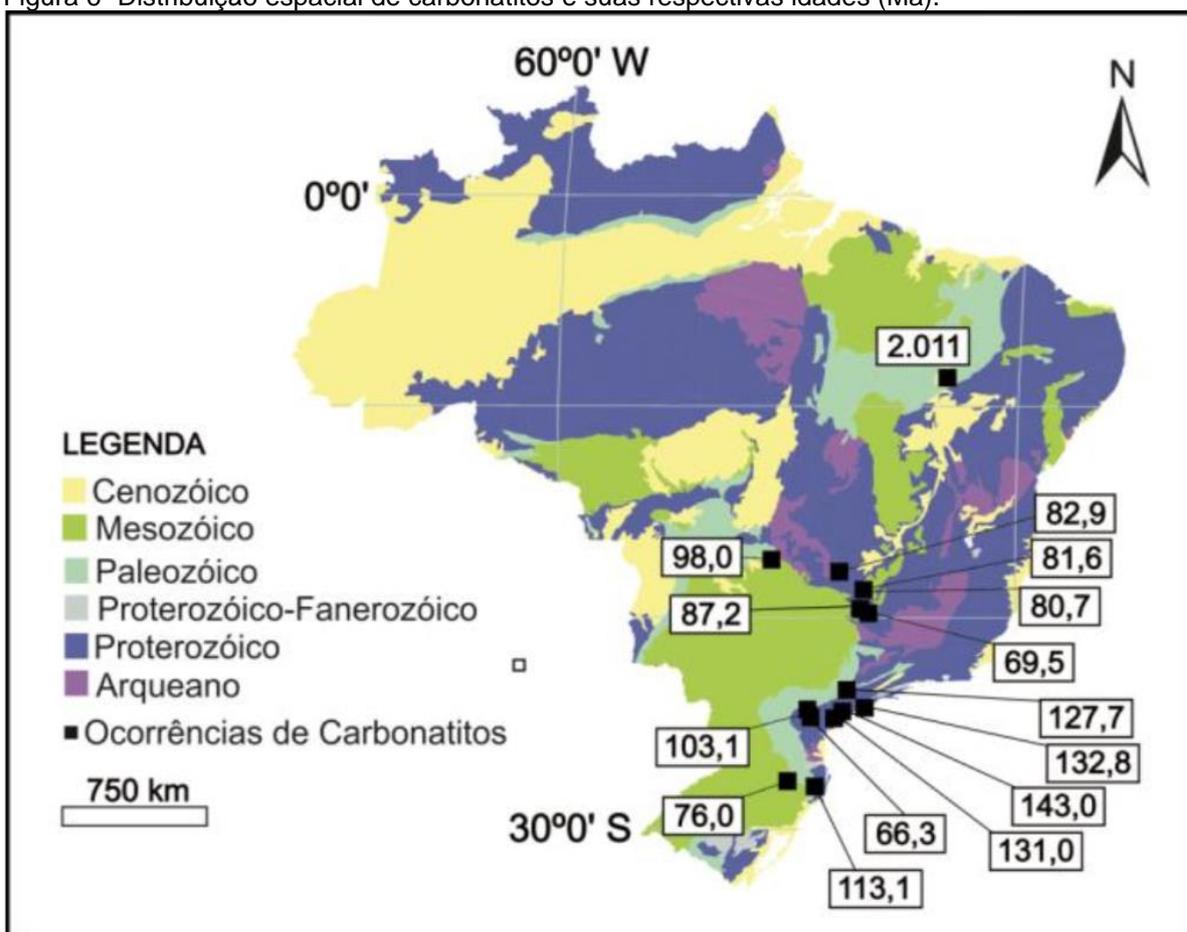


Fonte: Extraído de Wooley e Kjarsgaard (2008).

4.5. Cenário Brasileiro dos Carbonatitos

No Brasil, as ocorrências de carbonatitos estão concentradas principalmente na metade sul do país com idades variando de 66,3 a 2.011 Ma (Figura 6). Segundo Ernst & Bell (2010), os carbonatitos de idade entre 145 e 127 Ma estariam relacionados ao magmatismo basáltico de Tristão da Cunha. Contudo, apresentam diferenças quanto ao grau de fusão e a profundidade no qual os magmas foram gerados. O grau de fusão baixo gerado por temperaturas também baixas seria o provável responsável pela geração de magmas carbonatíticos, enquanto que um grau maior de fusão geraria magmas mais silicatados.

Figura 6- Distribuição espacial de carbonatitos e suas respectivas idades (Ma).



Fonte: Extraído de Wooley e Kjarsgaard (2008).

De qualquer forma, os carbonatitos são significativos para produção de fertilizantes de relevância nacional, a saber os depósitos de fosfato em Tapira, Catalão, Araxá e Anitápolis. Se destacam internacionalmente os depósitos de titânio de Tapira e Salitre, ambos em Minas Gerais; o depósito de nióbio do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Araxá; o depósito de elementos terras-raras de Catalão I, no estado de Goiás; e o depósito de urânio de Itataia, no estado do Ceará (SENHORINHO, 2012). Alguns exemplos de complexos carbonatíticos Pré-cambrianos são descritos na Bahia (Angico dos Dias) e no Pará (Maicuru e Mutum) (LAPIN *et al.*, 1999; ANTONINI *et al.*, 2003).

4.6. Geologia Regional

A área de estudo se localiza na região de Caçapava do Sul, no contexto geológico do Escudo Sul-rio-grandense (ESRG), mais detalhadamente no Terreno São Gabriel (HARTMANN *et al.*, 2007). O ESRG representa a porção meridional da

Província Mantiqueira (ALMEIDA et al., 1967), sendo constituído por terrenos arqueanos a neoproterozóicos (2,26 Ga – 535 Ma) (SOLIANI JR, 1986; HARTMANN et al., 2007). O Terreno São Gabriel é limitado a leste pela Zona de Cisalhamento Caçapava do Sul e pela Zona de Cisalhamento Ibaré, a sudeste (HARTMANN *et al.*, 2016), sendo sotoposto por coberturas fanerozóicas da Bacia do Paraná a nordeste-norte (Figura 7).

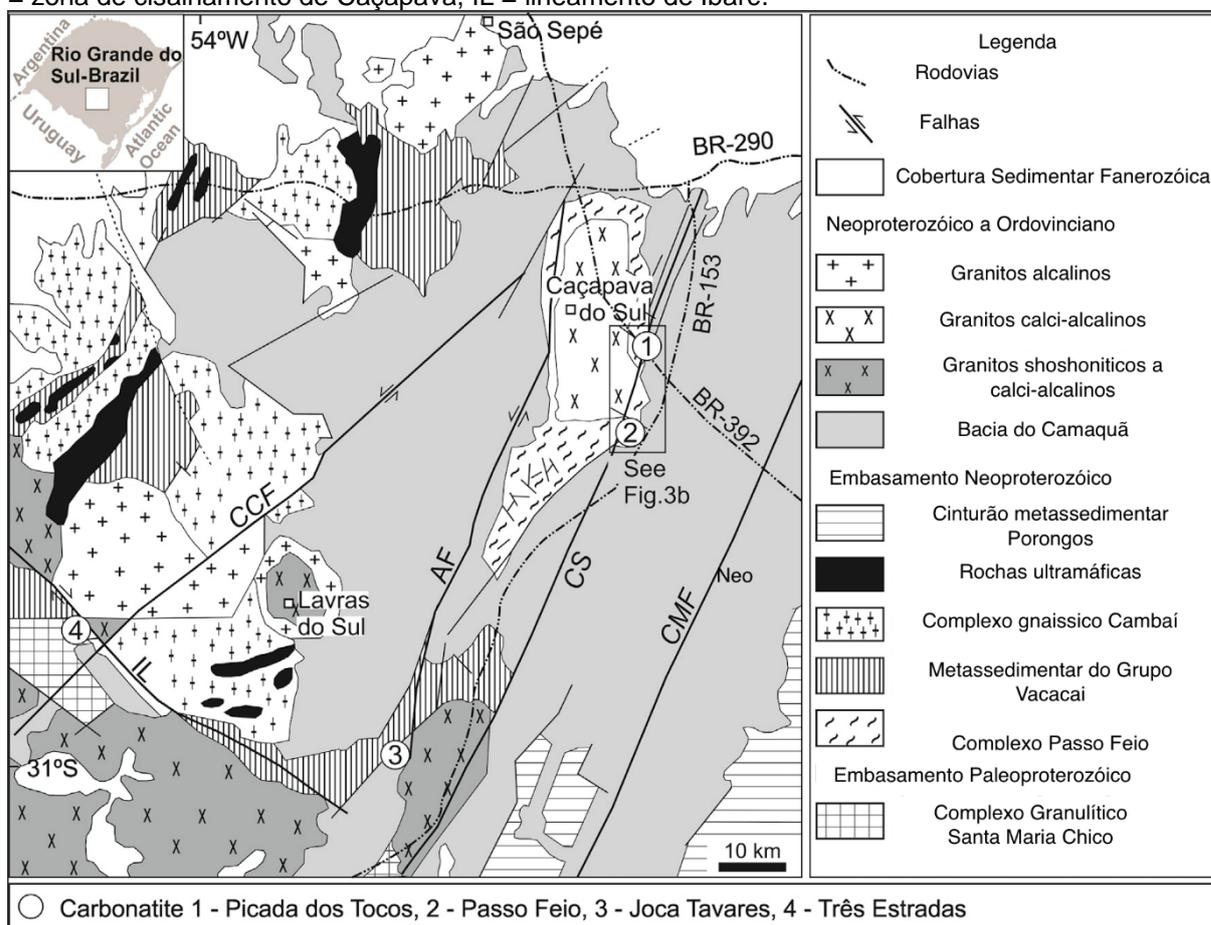
O embasamento deste terreno é constituído por gnaisses que variam de dioritos, tonalitos e trondjemitos do Complexo Cambaí, possivelmente gerados em um contexto de arco de ilha (LEITE & HARTMANN, 1997). Em meio a este cenário são observados harsburgitos, serpentinitos e basaltos derivados de sequências ofiolíticas e ocasionalmente rochas dioríticas intensamente deformadas. Ocorrem também as rochas vulcanossedimentares do Complexo Vacacaí caracterizadas por filitos, xistos pelíticos, mármore, quartzitos, metaconglomerados, anfíbolitos e rochas cálcio-silicatadas, e subordinadamente, basaltos toleíticos a alcalinos e xistos magnesianos (BITTENCOURT, 1983). O metamorfismo regional varia da fácies xisto verde a anfíbolito (HARTMANN *et al.*, 1990; REMUS *et al.*, 2000).

Na porção sul e sudeste do Brasil são descritas as ocorrências de complexos alcalino e alcalino-carbonatíticos associados a zonas fraturadas (BIONDI, 2005). Suas idades variam do Permiano-Triássico ao Cretáceo e suas ocorrências estão relacionadas a cinturões móveis e as bordas da Bacia do Paraná (RICCOMINI et al., 2005; GOMES & COMIN-CHIARAMONTI, 2005).

As rochas silicáticas alcalinas do sul do Brasil são sienitos, fonolitos, kimberlitos e picritos que ocorrem na porção centro-oriental do Escudo Sul-rio-grandense (PHILIPP *et al.*, 2006). BITTENCOURT *et al.* (2015), sugerem que o magmatismo alcalino foi tardio a pós-colisional, saturado a supersaturado e com idades entre 610 e 560 Ma.

Rochas vulcânicas e plutônicas com afinidade shoshonítica e sódica alcalina saturada do Escudo Sul-rio-grandense apresentam idades que variam de 600 a 587 Ma (GASTAL et al., 2006).

Figura 7- Unidades geológicas do Terreno São Gabriel, Escudo Sul-Riograndense Pré-Cambriano, sul do Brasil, mostrando as principais unidades geotectônicas e corpos carbonatíticos. CCF = zona de falha de Cerro dos Cabritos, AF = zona de falha de Andrade, CMF = zona de falha da mina de Camaquã, CS = zona de cisalhamento de Caçapava, IL = lineamento de Ibaré.



Fonte: Modificado de Remus et al. (2000).

Rocha et al. (2013) e Toniolo et al. (2013) descrevem a existência de quatro intrusões de carbonatitos especificamente no Rio Grande do Sul, onde ocorrem com orientações NS, NE e NW:

- Picada dos Tocos e Passo Feio, no Município de Caçapava do Sul, intrusivos em rochas metamorfisadas do Complexo Passo Feio;
- Carbonatito Três Estradas, que compreende corpos bandados intrusivos em rochas granulíticas e anfibolíticas de 2,1 - 2,5 Ga, pertencentes ao Cráton Rio de La Plata; e
- Joca Tavares, aparentemente maciço, intrudindo rochas sedimentares cambrianas pertencentes ao Grupo Guaritas, Bacia do Camaquã.

O Complexo Passo Feio (Figura 7) é composto por sequências de rochas pelíticas, anfibolitos, rochas metavulcanoclásticas, metavulcânicas, mármore, rochas

calcissilicáticas, quartzito, xisto e rochas de quartzo feldspático metamorfisado (RIBEIRO et al., 1966; BITENCOURT, 1983). Os eventos metamórficos (M1 e M2) que afetaram a região variam de facies xisto-verde a fácies anfíbolito, com um aumento do grau metamórfico em direção às intrusões graníticas (por exemplo, Granito Caçapava do Sul). Bitencourt (1983) sugere que M1 está associado com baixa pressão e retrogradação em M2, com uma temperatura mais baixa que o evento M1. Ao mesmo tempo, três eventos deformacionais são descritos pelo autor: D1 e D2, que foram concomitantes aos eventos metamórficos e D3, que foi responsável pelo soerguimento e geração da estrutura antiformal, cujo núcleo é ocupado pelo Granito Caçapava do Sul.

O Granito de Caçapava do Sul (Figura 8) faz parte do conjunto homônimo descrito por Bitencourt (1983) e consiste em dois corpos intrusivos, dos quais o maior mede 250 km² no eixo principal, geralmente formado por granodioritos de sienogranitos, predominantemente monzogranitos e raras ocorrências de tonalite. As bordas dos corpos se mostram milonitizadas devido ao alongamento de minerais de quartzo e feldspato. Seus núcleos são caracterizados por intenso fraturamento, com falhas normais comuns na direção NW-SE, com planos subverticais e falhas de direção N-NE com deslocamentos laterais.

4.7. Geologia Local

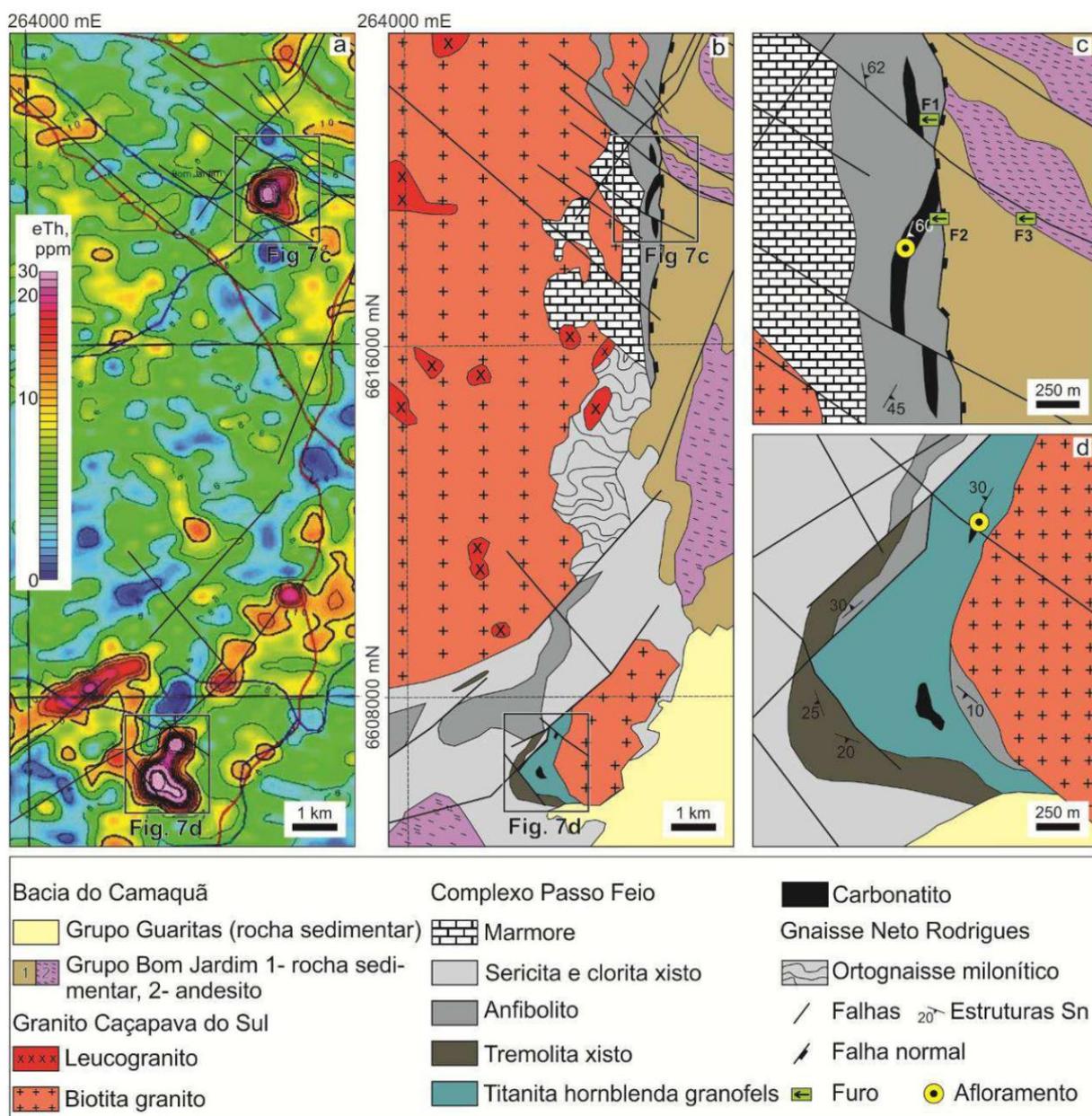
Os carbonatitos, na área de estudo, são intrusivos nas rochas do Complexo Passo Feio (Figura 8).

O carbonatito Picada dos Tocos é controlado por falhamento NS, enquanto que a ocorrência Passo Feio é controlada por falhamentos NE e NW (CERVA-ALVES *et al.*, 2017). Na ocorrência Picada dos Tocos, os carbonatitos possuem forma tabular e estão deformados juntamente com a encaixante. São corpos com aproximadamente 2,2 km de comprimento por 80 m de largura, mergulhando para sudeste (N110W/40W a 60W), concordantes com a xistosidade regional (ROCHA *et al.*, 2013).

O carbonatito Picada dos Tocos é composto por alvikitos e beforsitos. Os alvikitos possuem coloração rósea, com predomínio de calcita. Os minerais acessórios são apatita, magnetita, ilmenita, rutilo, zircão, badeleita, barita, torita, pirocloro e minerais ricos em elementos terras raras (pirocloro, rico em Nb e Th, bastnaesita e alanita). Pirita, calcopirita, clorita, hematita, quartzo e biotita também estão presentes em diferentes proporções, na matriz ou como *stockwork*. O beforsito não é aflorante,

no entanto, é esbranquiçado, composto por aproximadamente 80% de dolomita e possui os mesmos minerais acessórios e traço dos alvikitos (CERVA-ALVES et al. 2017).

Figura 8- (a) Mapa de contorno radiométrico, canal eTh, (b) Mapa geológico local com indicação dos afloramentos de carbonatito (c) Picada dos Tocos e (d) Passo Feio. Mapa em coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), Datum SAD69, Zona 22S.



Fonte: Cerva-Alves et al., (2017).

O carbonatito Passo Feio possui apenas um afloramento em lajeado e é caracterizada por alvikitos bandados com calcita, apatita, ilmenita e magnetita, além

de níveis enriquecidos em tremolita (CERVA-ALVES et al. 2017). Associados aos corpos de carbonatito ocorrem rochas denominadas titanita hornblenda granofels, com assinatura geofísica (eTh) similar à ocorrência Picada dos Tocos, inserida na mesma unidade geológica.

Nas bandas máficas descritas dentro dos pacotes de carbonatitos, predominam uma matriz composta por biotita, anfibólio (actinolita > cumingtonita) e cristais reliquiares de diopsídio. Estão presentes, em menor proporção, calcita, magnetita, ilmenita, rutilo, apatita, pirita e calcopirita. Estas rochas encontram-se milonitizadas e hidrotermalizadas, conforme indicado pela presença frequente de veios e *stockworks* de calcita, clorita especularita e pirita/calcopirita e quartzo, principalmente próximo às falhas de direção NW (CERVA-ALVES et al., 2017).

5. Metodologia

Para alcançar os objetivos propostos foi necessário a realização de três etapas distintas, sendo elas: (i) Etapa de Pré-Campo; (ii) Etapa de Campo; e (iii) Etapa de Pós-Campo.

5.1. Etapa de Pré Campo

5.1.1 Revisão Bibliográfica

Durante toda a elaboração do projeto foram realizadas revisões bibliográficas na literatura (artigos, livros, teses de mestrado e doutorado, etc.) relacionada a carbonatitos, geoquímica e mobilidade de elementos no intuito de se ter uma boa base de conhecimento e também de comparação.

5.1.2 Sensoriamento Remoto e dados SIG

Através do sensoriamento remoto foi possível verificar determinadas características da área de estudo, tais como: acesso à área (rodovias, estradas, etc), propriedades rurais, domínio geomorfológico e topográfico, hidrovias (padrão de drenagens), litologias e delimitação da malha de amostragem do solo. Para a execução deste levantamento de dados, foram utilizadas imagens de satélite do *software Google Earth Pro*; o *software ArcGis 10.5* para manuseio, tratamento e plotagem de dados; *shapefiles* diversos (CPRM, 2013); mapas geológicos da área de estudo e Imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission - Nasa*) com resolução espacial de 12 metros por pixel.

5.2. Etapa de Campo

No trabalho de campo foram realizadas quatro campanhas, sendo estas divididas entre o Carbonatito Picada dos Tocos e o Carbonatito Passo Feio. Na primeira campanha de campo, em cada área, foram observadas as características locais e realizada a descrição sistemática da mineralogia das rochas (Figura 9).

Figura 9– Afloramento do Carbonatito Passo Feio.



Fonte: Autor.

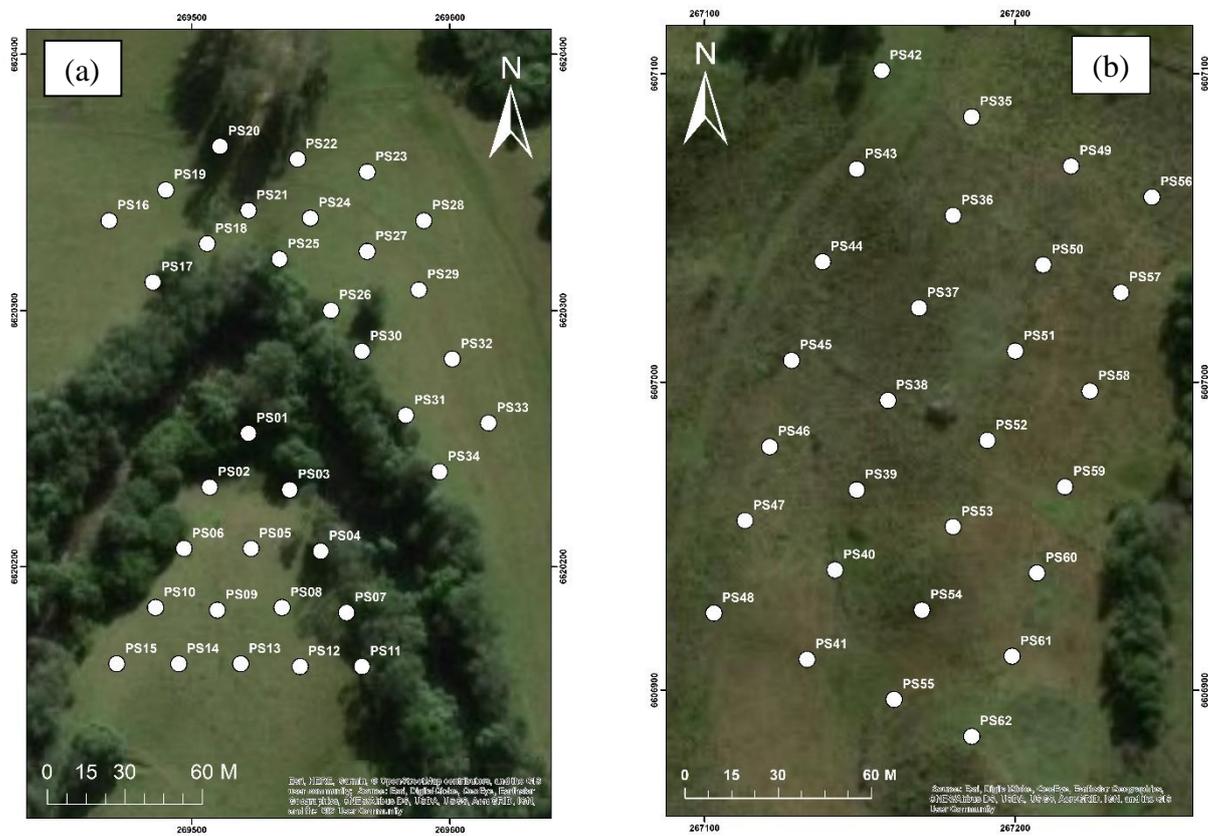
Na segunda campanha de campo foram realizadas as coletas de amostras de solo. Foram perfurados 30 cm de profundidade com o uso de um trado manual (figura 10) e, então, coletado aproximadamente 500 gramas de amostra com o auxílio de pás de plástico esterilizadas entre cada amostragem para que não houvessem contaminações. As amostras foram coletadas com espaçamento de 30m, totalizando 62 amostras (Figura 11) sendo 34 nas proximidades do Carbonatito Picada dos Tocos e 28 nas proximidades do Carbonatito Passo Feio

Figura 10– Uso de trado manual.



Fonte: Autor

Figura 11- Mapa com pontos de amostragem, (a) Carbonatito Picada dos Tocos, (b) Carbonatito Passo Feio.

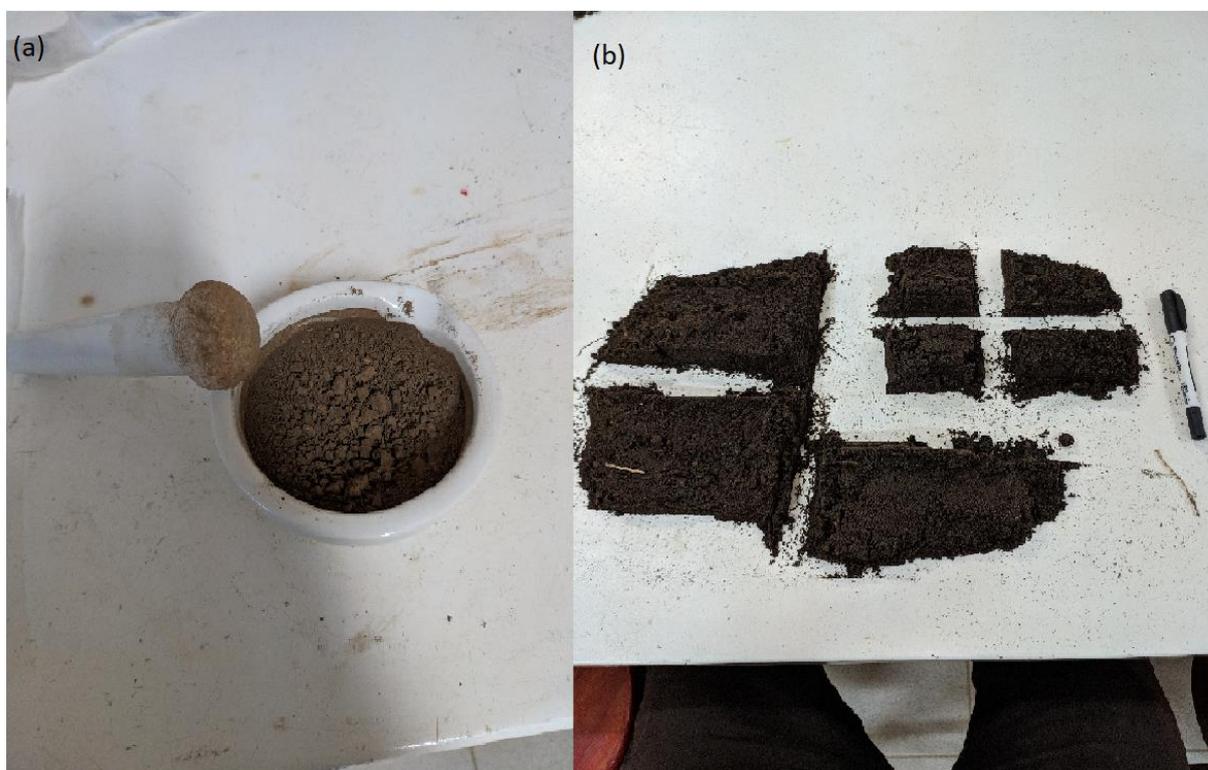


Fonte: Autor

5.3. Etapa Pós Campo

Na etapa pós-campo, no Laboratório de Mineralogia e Petrografia da Unipampa, as amostras foram acondicionadas em fôrmas de polipropileno e deixadas para secar em temperatura ambiente por três dias de acordo com os critérios de Embrapa (2006). Após a secagem, as amostras foram maceradas no cadinho para se obter uma homogeneidade dos grãos e quarteadas (figura 12). Depois desse procedimento, foram separadas aproximadamente 30 gramas de cada amostra, então, acondicionadas em sacos plásticos.

Figura 12– (a) Uso do cadinho para homogeneizar; (b) Quarteamento da amostra.



Fonte: autor

5.3.1 Descrição Macroscópica

A descrição macroscópica de cada amostra coletada se deu com o auxílio de Microscópio Estereoscópio Binocular marca Quimis modelo Q724S-2, com 2x e 4x de aumento no Laboratório de Mineralogia e Petrografia da Unipampa.

5.3.2 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (EDXRF)

A análise geoquímica qualitativa foi realizada através do uso da Espectrometria de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (EDXRF) no Laboratório de Lavra e Tratamento de Minérios (LATRAM) da Unipampa. Cada amostra foi submetida a leituras em triplicatas, sendo que o tempo de exposição de cada amostra foi de 120 segundos. As leituras em triplicata são recomendadas para uma melhor representatividade dos resultados, sendo que os resultados finais são uma média das triplicatas.

Com o desenvolvimento do detector semicondutor de Si(Li), capaz de discriminar raios X de energias próximas, foi possível o surgimento da Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia (EDXRF), também conhecida como fluorescência de raios X não dispersiva, com instrumentação menos dispendiosa e emprego mais prático (BERTIN, 1975).

Esta técnica vem sendo utilizada principalmente para amostras sólidas, permitindo a determinação simultânea ou sequencial da concentração de vários elementos, sem a necessidade de destruição da amostra, ou seja, de modo instrumental, sem nenhum pré-tratamento químico (NASCIMENTO FILHO, 1999).

Os analisadores portáteis de EDXRF (Figura 13) são capazes de quantificar uma grande variedade de elementos químicos. Segundo Santos et al. (2013), a técnica permite a análise de 24 elementos simultaneamente, de modo rápido e a baixo custo, sendo um método não destrutivo.

O método consiste na excitação de uma amostra desconhecida, através da emissão de raios-x ou raios gama, fazendo com que os elementos químicos presentes da amostra desconhecida, recebam energia e com que os elétrons de camadas mais interiores, subam para camadas mais exteriores (NASCIMENTO FILHO, 1999). A perda de energia após esta ser difratada nos elementos faz com que o analisador composto por cristais monocromados possa identificar os elementos tanto de forma quantitativa quanto qualitativa (BRUKER, 2008). São gerados então gráficos de espectroscopia característica que apresentam exatamente a composição da amostra analisada.

Figura 13 - Equipamento de EDXRF portátil S1 Turbo SD Bruker.



Fonte: autor

5.3.3. Análise Estatística dos Dados Geoquímicos

Os dados geoquímicos qualitativos obtidos foram tratados estatisticamente para que os resultados fossem melhor interpretados. As análises estatísticas univariadas e bivariadas foram realizadas no Microsoft Excel 2017. Também foi utilizado o programa Surfer® (Golden Software, 2018) para gerar os mapas de isolinhas de concentração dos principais elementos presentes no solo estudado.

A análise estatística dos dados químicos, tanto de sedimentos quanto de solo, visa proporcionar um melhor entendimento do conjunto de dados de vários tipos de análises e matrizes espaciais e temporais aumentando a sua confiabilidade. A compreensão e a interpretação dos resultados envolvem, também, o conhecimento de sua incerteza (CARVALHO, 2003).

A caracterização paramétrica da amostra da população pode ser realizada de diversas formas. Neste âmbito, as medidas de tendência central adquirem particular importância, pois permitem determinar o valor da variável em estudo que ocorre com maior frequência. Por sua vez, as medidas de dispersão possibilitam avaliar os desvios aos valores de tendência central, isto é, a natureza simétrica ou assimétrica das distribuições de valores. Daqui resulta uma melhor percepção da heterogeneidade das distribuições geoquímicas, bem como dos graus de assimetria apresentadas

pelas distribuições de concentração para cada elemento químico; a potencialidade para a existência de subconjuntos de valores anómalos pode ainda ser qualitativamente inferida.

Desta forma, serão aplicados conceitos estatísticos a partir da análise de dados bivariados e univariados através de gráficos de dispersão. Através do coeficiente de Pearson é possível sumarizar a relação entre duas variáveis (X e Y). Este valor é calculado segundo a Equação (1) a seguir:

$$\rho = \frac{\frac{1}{n} \sum (X_i - M_x)(Y_i - M_y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (1)$$

Sendo, X_i é o valor da variável X, M_x a média dos valores de X, Y_i é o valor da variável Y, M_y a média dos valores de Y, σ_x o desvio padrão de X e σ_y o desvio padrão de Y.

O coeficiente varia entre valores de -1 a +1, sendo que o valor será mais próximo de 1 em módulo se existirem amostras que se correlacionam linearmente entre si. O conceito de correlação se refere a uma associação numérica entre duas variáveis, não implicando necessariamente em uma relação de causa e efeito. Uma forte relação entre duas variáveis pode ajudar a inferir uma variável desde que a outra seja conhecida. Para os objetivos deste trabalho, será considerado que as correlações acima de 0,5 seriam consideradas como correlacionadas (MUKAKA, 2012).

6. RESULTADOS

6.1. Características dos Solos

Para melhor entendimento dos processos pedogenéticos envolvidos e sua influência na distribuição dos elementos e seus sítios preferenciais de acumulação, é proposto o agrupamento das classes de solo e discussão sobre quais horizontes são mais favoráveis para amostragem em cada grupo (SANTOS, 2014).

O solo encontrado na região do Carbonatito Picada dos Tocos é caracterizado como Neossolo Litólico, esse tipo de solo tem como principais características ser um dos primeiros solos formados na sequência evolutiva. Este grupo de solos apresenta horizontes A e C, e B incipiente, pouco diferenciados e pouco espessos.

Levando isto em consideração, a amostragem refletirá valores bem próximos aos da rocha fonte, e na ocorrência de mineralização o contraste em relação ao background regional é mais nítido, porém com menor dispersão lateral. Em casos específicos os próprios minerais de minérios podem ainda estar presentes pouco alterados, ou uma fase secundária associada pode denunciar sua presença no material de partida (SANTOS, 2014).

Próximo ao Carbonatito Picada dos Tocos os solos foram classificados (tabela 1) variando de Arenoso (Sa); Argilo-Arenoso (Sa-CI); Areno-Argiloso (CI-Sa) e Argiloso (CI). Estes solos, também, foram separados pela variação da coloração sendo elas: Marrom Claro (Mc); Marrom Escuro (Me); Marrom Amarelado (M-Am); Marrom Alaranjado (M-AI) e Marrom Avermelhado (M-Av). Em alguns pontos foi possível identificar Fragmentos Rochosos (Fr) na base dos mesmos.

Durante as análises mineralógicas e auxiliado pelos dados de CERVA-ALVES *et al.*, 2017 foi possível identificar que os principais minerais presentes no solo encontrado na região eram: quartzo; plagioclásio; calcita; biotita; feldspato alcalino; anfibólio; apatita; hematita e magnetita

Próximo ao Carbonatito Passo Feio o principal tipo de solo descrito é o Argissolo, que possui como principais características a formação de novos argilominerais e óxidos e translocação destes minerais de argila do horizonte A para o B. Neste tipo ocorre a formação de solos mais diferenciados, caracterizados principalmente pelo gradiente textural destes horizontes supracitados (SANTOS, 2014). Ainda segundo Santos (2014) este grupo de solos, bastante abundante em regiões tropicais, têm como sítio preferencial para acúmulo da maioria dos elementos metálicos o horizonte B.

Assim como no Carbonatito Picada dos Tocos, os solos foram classificados (tabela 2) variando de Arenoso (Sa); Argilo-Arenoso (Sa-CI); Areno-Argiloso (CI-Sa) e o Argiloso (CI). Estes solos, de acordo com a coloração variaram como se segue: Marrom Claro (Mc); Marrom Escuro (Me); Marrom Alaranjado (M-AI) e Marrom Avermelhado (M-Av). Em alguns pontos foi possível identificar Fragmentos Rochosos (Fr) na base dos mesmos.

Durante as análises mineralógicas foi possível identificar que os principais minerais presentes no solo encontrado na região eram: quartzo; plagioclásio; calcita; biotita; feldspato alcalino; anfibólio; apatita; hematita e magnetita.

Tabela 1 - Características dos solos amostrados próximos ao Carbonatito Picada dos Tocos.

Amostra	mE	mN	Tipo de Solo	Cor	Observação
PS01	269522	6620252	Sa	Mc	x
PS02	269507	6620231	Sa	Mc	x
PS03	269538	6620230	Sa	Mc	x
PS04	269550	6620206	Cl-Sa	Mc	x
PS05	269523	6620207	Sa	M-Av	x
PS06	269497	6620207	Cl-Sa	M-Al	x
PS07	269560	6620182	Cl-Sa	M-Al	x
PS08	269535	6620184	Cl-Sa	M-Al	x
PS09	269510	6620183	Sa-Cl	M-Av	x
PS10	269486	6620184	Cl	Me	x
PS11	269566	6620161	Sa-Cl	Me	x
PS12	269542	6620161	Cl	Me	x
PS13	269519	6620162	Cl	Me	x
PS14	269495	6620162	Sa-Cl	Me	x
PS15	269471	6620162	Cl	Me	x
PS16	269468	6620335	Sa-Cl	Mc	x
PS17	269485	6620311	Sa-Cl	Mc	Fr na Base
PS18	269506	6620326	Sa-Cl	M-Al	Fr na Base
PS19	269490	6620347	Cl	M-Av	x
PS20	269511	6620364	Cl	M-Av	x
PS21	269522	6620339	Sa-Cl	M-Av	Fr na Base
PS22	269541	6620359	Cl	M-Av	x
PS23	269568	6620354	Cl	M-Av	x
PS24	269546	6620336	Cl	Me	Fr na Base
PS25	269534	6620320	Cl	Me	Fr na Base
PS26	269554	6620300	Sa-Cl	Me	Fr na Base
PS27	269568	6620323	Cl	Me	Fr na Base
PS28	269590	6620335	Cl	Me	x
PS29	269588	6620308	Sa-Cl	Mc	x
PS30	269566	6620284	Sa-Cl	Mc	Fr na Base
PS31	269583	6620259	Sa-Cl	Mc	Fr na Base
PS32	269601	6620281	Cl	Me	x
PS33	269615	6620256	Cl	M-Av	x
PS34	269596	6620237	Sa-Cl	M-Al	Fr na Base

Tabela 2 - Características dos solos amostrados próximos ao Carbonatito Passo Feio.

Amostra	mE	mN	Tipo de Solo	Cor	Observação
PS35	267186	6607086	Cl-Sa	M-Al	Fr na Base
PS36	267180	6607054	Cl-Sa	M-Al	Fr na Base
PS37	267169	6607024	Sa-Cl	M-Av	X
PS38	267159	6606994	Sa-Cl	M-Av	X
PS39	267149	6606965	Sa-Cl	Me	X
PS40	267142	6606939	Cl	Me	X
PS41	267133	6606910	Cl	Me	X
PS42	267157	6607101	Cl-Sa	M-Av	Fr na Base
PS43	267149	6607069	Cl-Sa	M-Av	Fr na Base
PS44	267138	6607039	Cl-Sa	Me	X
PS45	267128	6607007	Sa-Cl	M-Av	X
PS46	267121	6606979	Sa-Cl	M-Av	X
PS47	267113	6606955	Cl	Me	X
PS48	267103	6606925	Cl	M-Av	X
PS49	267218	6607070	Cl-Sa	M-Al	Fr na Base
PS50	267209	6607038	Sa-Cl	M-Av	Fr na Base
PS51	267200	6607010	Sa-Cl	Me	Fr na Base
PS52	267191	6606981	Sa-Cl	M-Av	X
PS53	267180	6606953	Cl	Me	X
PS54	267170	6606926	Cl	Me	X
PS55	267161	6606897	Cl	Me	X
PS56	267244	6607060	Sa-Cl	M-Al	Fr na Base
PS57	267234	6607029	Sa-Cl	M-Av	X
PS58	267224	6606997	Sa-Cl	Me	X
PS59	267216	6606966	Cl	M-Av	X
PS60	267207	6606938	Cl	M-Av	X
PS61	267199	6606911	Cl	Me	X
PS62	267186	6606885	Cl	Me	X

6.2. Geoquímica qualitativa dos Solos

Os resultados obtidos de geoquímica qualitativa dos solos nas amostras do Carbonatito Picada dos Tocos e Passo Feio são apresentados nas tabelas 3 e 4, respectivamente.

Segundo Andrews- Jones (1968), o Fe e o Mn tendem a possuir características de mobilidade muito baixa a imóvel em ambientes oxidantes, mobilidade baixa em ambiente ácido e neutro a alcalino em ambiente redutor. Ainda, segundo este autor, o P possui baixa mobilidade nos quatro tipos de ambientes, enquanto que o Ti e o Ce possuem mobilidade muito baixa a até imóvel nestes mesmos ambientes.

Cerva-Alves (2017), sugere que a calcita e a dolomita sejam os principais constituintes dos Carbonatitos Picada dos Tocos e Passo feio, representando cerca de 80% de toda composição modal da rocha. Xenocristais de biotita e xenólitos hidrotermalizados das rochas hospedeiras anfibolíticas são abundantes. Ilmenita, magnetita, apatita e minerais ricos em elementos terras raras também são comuns no restante modal da rocha, sendo raros o zircão, a pirita, o rutilo e o pirocloro. Além disso, calcopirita, barita, torita, celestina e monazita também estão presentes (CERVA-ALVES, 2017).

Desta forma, durante a análise geoquímica qualitativa das amostras aqui estudadas foi dada maior atenção aos elementos químicos Ca, Mg, Fe, Ti, P, Mn, Co, Th e Ce presentes nos minerais descritos por Cerva-Alves (2017) para os carbonatitos da região de Caçapava do Sul.

Tabela 3- Geoquímica qualitativa do solo representativo do Carbonatito Picada dos Tocos

<i>Amostra</i>	<i>mE</i>	<i>mN</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>Cl</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Co</i>	<i>Mo</i>	<i>Rh</i>	<i>Cd</i>	<i>Sb</i>	<i>Ce</i>	<i>Hf</i>	<i>Th</i>
<i>PS01</i>	269522	6620252	3,67	7,52	31,7	0	0,09	1,66	7,26	0,19	0,03	1,81	800	0	3300	0	300	800	0	0
<i>PS02</i>	269507	6620231	4,64	9,84	41,8	0	0,09	2,21	3,69	0,15	0,03	1,36	700	100	2600	900	300	1200	0	0
<i>PS03</i>	269538	6620230	4,49	10,2	40,8	0	0,08	2,33	1,19	0,24	0,03	1,55	700	100	2900	1200	400	900	100	0
<i>PS04</i>	269550	6620206	6,09	9,41	39,1	0,06	0,08	2,4	0,99	0,25	0,03	1,35	600	100	2900	1100	400	800	0	0
<i>PS05</i>	269523	6620207	1,79	13,1	52,9	0	0,07	2,83	1,23	0,45	0,04	2,05	1000	100	1900	800	300	1000	0	0
<i>PS06</i>	269497	6620207	1,54	8,92	36,8	0	0,08	2,3	1,09	0,43	0,03	1,85	800	200	3500	1600	400	1600	200	0
<i>PS07</i>	269560	6620182	2,97	9,82	36,3	0	0,07	1,97	1,09	0,34	0,04	1,82	700	100	3400	1200	400	1000	0	0
<i>PS08</i>	269535	6620184	3,78	9,41	41,5	0,06	0,09	2,41	1,01	0,58	0,06	2,39	1100	200	2800	1300	400	2100	200	700
<i>PS09</i>	269510	6620183	5,87	9,87	41,4	0	0,09	2,29	0,82	0,56	0,04	2,04	900	200	2800	1000	300	1800	200	400
<i>PS10</i>	269486	6620184	4,44	8,26	33,4	0	0,08	2,4	1	0,36	0,03	1,66	700	200	3400	0	400	1500	200	0
<i>PS11</i>	269566	6620161	3,1	13,7	49,4	0	0,07	2,51	1,2	0,41	0,06	2,26	1200	200	2100	900	200	900	0	300
<i>PS12</i>	269542	6620161	2,94	8,39	35,7	0	0,09	1,78	0,71	0,62	0,06	2,21	900	200	3600	1300	400	1400	200	0
<i>PS13</i>	269519	6620162	3,28	11,7	53,7	0	0,08	1,95	0,73	0,8	0,05	2,76	1500	100	1900	800	200	1600	100	0
<i>PS14</i>	269495	6620162	4,24	8,62	37,6	0	0,07	1,93	0,91	0,4	0,04	2,08	900	100	3200	0	400	1800	200	0
<i>PS15</i>	269471	6620162	4,65	7,66	29	0	0,09	1,88	2,45	0,28	0,03	1,9	800	200	3700	1300	500	1800	0	0
<i>PS16</i>	269468	6620335	5,74	9,96	50,3	0	0,1	0,56	0,77	2,41	0,11	7,11	4300	0	1500	600	200	2600	0	0
<i>PS17</i>	269485	6620311	4,76	8,18	24,3	0,02	0,08	0,55	0,85	2,15	0,16	8,79	3800	200	2900	1500	400	2900	200	1300
<i>PS18</i>	269506	6620326	2,49	6,92	24	0,04	0,09	0,63	1,16	2,67	0,17	10	4400	200	2900	1300	300	2900	200	1700
<i>PS19</i>	269490	6620347	5,67	5,99	33,4	0	0,09	0,43	0,59	1,95	0,11	5,58	2700	200	3100	1400	400	3000	0	0
<i>PS20</i>	269511	6620364	4,7	7,96	35,7	0	0,09	0,44	0,74	1,56	0,13	6,34	3100	200	2700	1000	400	2900	0	1000
<i>PS21</i>	269522	6620339	4,35	9,19	46,8	0	0,09	0,87	0,75	1,85	0,09	4,7	2500	200	2000	800	300	2700	0	0
<i>PS22</i>	269541	6620359	5,69	6,25	25,3	0	0,09	0,43	0,67	1,38	0,08	4,59	2000	200	3400	1600	500	2800	0	1600
<i>PS23</i>	269568	6620354	3,77	10,9	55,8	0	0,08	0,98	0,84	1,73	0,11	4,83	2800	100	1500	800	200	1900	100	2100
<i>PS24</i>	269546	6620336	5,77	7,09	34,4	0,17	0,09	0,72	1,58	1,69	0,13	5,72	2600	200	2600	1100	400	3400	100	0
<i>PS25</i>	269534	6620320	5,05	9,37	37,5	0,2	0,08	0,92	1,41	1,98	0,15	6,45	3300	200	2200	1000	300	2200	100	0
<i>PS26</i>	269554	6620300	1,18	5,45	28,8	0,35	0,08	0,53	1,86	2,14	0,16	6,32	2400	200	3000	1200	400	0	0	0
<i>PS27</i>	269568	6620323	6,93	6,04	23,6	0,13	0,09	0,56	1,43	2,81	0,2	9,17	4100	200	2800	1400	400	3600	200	3500
<i>PS28</i>	269590	6620335	4,45	8,56	32,8	0,12	0,09	0,53	0,91	2,1	0,18	7,24	3400	200	2500	1100	300	3700	200	4400
<i>PS29</i>	269588	6620308	2,49	9,87	42,5	0,39	0	0,63	2,09	3,09	0,24	9,32	5200	200	1600	0	300	2500	100	0
<i>PS30</i>	269566	6620284	6,3	10,2	34,1	0,29	0,08	1,12	2,96	3,24	0,22	11,2	6200	100	1400	600	300	1000	100	0
<i>PS31</i>	269583	6620259	2,72	4,1	15,8	0,71	0,1	0,29	3,35	2,28	0,21	9,03	3400	300	2700	1100	500	3800	0	0
<i>PS32</i>	269601	6620281	6,09	7,69	33,6	0,16	0,09	0,85	1,79	2,1	0,15	6,51	3300	200	2600	1100	400	3000	100	5300
<i>PS33</i>	269615	6620256	6,83	8,41	40,8	0,08	0,09	1,11	1,13	1,67	0,13	5,05	2700	200	2100	800	300	2700	0	0
<i>PS34</i>	269596	6620237	2,98	5,28	22,3	0,31	0,09	0,53	2,19	2,91	0,21	9,5	4100	200	2500	1200	400	4200	200	0

Tabela 4- Geoquímica qualitativa do solo representativo do Carbonatito Passo Feio

<i>Amostra</i>	<i>mE</i>	<i>mN</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>Cl</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Co</i>	<i>Mo</i>	<i>Rh</i>	<i>Cd</i>	<i>Sb</i>	<i>Ce</i>	<i>Hf</i>	<i>Th</i>
PS35	267186	6607086	7,08	8,08	31	0	0,1	1,15	0,15	0,92	0,09	5,57	2600	100	2900	900	400	4700	0	0
PS36	267180	6607054	3,07	14,8	51,3	0,05	0,08	1,51	0,56	1,86	0,15	8,02	4800	0	500	600	100	1900	100	500
PS37	267169	6607024	5,05	5,39	17,8	0,15	0,1	1,19	2,31	3,27	0,22	11	4900	200	2500	1300	400	3500	200	0
PS38	267159	6606994	4,53	6,41	20,5	0,29	0,1	1,16	2,72	2,58	0,22	9,79	4300	300	2500	1200	400	4700	0	4900
PS39	267149	6606965	1,42	6,94	22,3	0,31	0,1	1,23	4,13	3,27	0,24	10,9	5000	300	2000	800	400	4100	0	4100
PS40	267142	6606939	3,81	4,95	17,2	0,31	0,1	1,04	4,53	3,39	0,21	10,5	4700	300	2400	0	400	2800	300	5400
PS41	267133	6606910	6,04	6,37	19,9	0,3	0,09	0,78	4,11	3,25	0,24	12	5700	200	2100	1100	400	3500	100	4400
PS42	267157	6607101	5,22	9,08	32,5	0,11	0,08	0,59	0,4	1,07	0,18	7,97	3800	100	2800	900	400	4600	0	0
PS43	267149	6607069	3,81	12,7	47,2	0	0,1	1,6	0,19	1,17	0,13	6,57	3800	100	1800	900	300	3800	100	200
PS44	267138	6607039	4,61	8,91	34,6	0	0,1	1,07	0,22	1	0,12	5,29	2500	100	3100	1300	400	4500	0	0
PS45	267128	6607007	3,91	9,2	36,7	0	0,09	1,26	0,39	1,11	0,11	5,94	2900	100	2800	1100	400	4000	0	0
PS46	267121	6606979	3,66	12,3	45,6	0,13	0,09	1,76	1,06	2,33	0,2	9,31	5500	100	1500	600	200	2700	100	0
PS47	267113	6606955	3,11	5,44	20,8	0,34	0,09	0,86	2,55	2,33	0,25	10,5	4700	200	2800	1200	400	6900	200	7400
PS48	267103	6606925	6,07	5,47	17,2	0,36	0,09	1,22	3,5	2,82	0,21	10,2	4300	400	2400	1400	400	2100	200	4600
PS49	267218	6607070	3,75	8,99	40,4	0	0,1	1,04	0,45	1,71	0,13	6,64	3400	200	2500	1000	200	3900	0	1400
PS50	267209	6607038	3,62	5,44	19,6	0,33	0,1	1,04	2,06	3	0,27	11,2	5000	200	2700	1400	400	4000	0	7000
PS51	267200	6607010	3,63	8,51	28,3	0,42	0,1	1,18	3,35	2,97	0,25	11,2	5600	200	1800	800	200	5700	100	0
PS52	267191	6606981	3,92	7,18	24,7	0,35	0,1	1,01	5,91	3,61	0,23	10,9	5400	300	1800	800	300	2600	200	3600
PS53	267180	6606953	5,34	5,89	20,2	0,56	0,09	0,59	6,69	3,31	0,23	12,9	6100	200	1400	800	300	1000	100	0
PS54	267170	6606926	3,49	6,91	22,1	1,21	0,11	1,02	7,99	4,18	0,26	13,7	7300	200	1500	1000	200	1000	200	4300
PS55	267161	6606897	3,55	5,12	19,1	0,5	0,1	0,67	6,34	4,17	0,24	12,6	5800	200	2000	1000	300	1000	0	4200
PS56	267244	6607060	1,16	10,5	38,8	0,6	0,1	1,21	3,16	3,33	0,26	10	5400	200	1500	700	200	2100	100	4000
PS57	267234	6607029	5,05	6,64	17,8	0,38	0,09	1,41	3	2,5	0,27	12,2	5500	300	2200	1300	300	2500	100	4000
PS58	267224	6606997	2,42	5,37	16,3	0,46	0,1	0,66	4,12	3,2	0,21	9,56	3800	300	2500	0	400	2500	0	5300
PS59	267216	6606966	2,52	4,42	18	0,3	0,07	0,49	4,61	3,7	0,2	10	3900	300	2700	1200	300	600	0	0
PS60	267207	6606938	2,58	6,53	28,4	0,55	0,08	1,36	6,2	4,16	0,24	12	5900	200	1700	900	300	1000	200	3900
PS61	267199	6606911	2,86	5,83	19,3	0,35	0,08	0,76	3,29	2,43	0,22	10	4400	200	2700	1200	300	6200	200	4000
PS62	267186	6606885	2,56	5,33	17	0,71	0,1	0,56	5,7	3,28	0,24	12,3	5400	200	2100	1400	300	2800	200	0

6.3. Estatísticas Descritivas

Uma questão importante para se levar em conta quando se discute sobre anomalias geoquímicas é que não sabemos antecipadamente se elas existem no conjunto de dados disponível, bem como sua localização (ANDRIOTTI, 2010).

Além das medidas de uso mais comum em estatística, como variância e desvio padrão, outras medidas expressam a variabilidade de atributos. O coeficiente de variação (CV) é o resultado da divisão do desvio padrão pela média aritmética e seu valor mostra o quão maior (ou menor) o desvio padrão é da média (ANDRIOTTI, 2010).

As tabelas 5 e 6 apresentam os dados sobre estatística descritiva dos solos provenientes dos Carbonatitos Picada dos Tocos e Passo Feio, respectivamente.

Ainda, segundo Andriotti (2010) o coeficiente de variação dá uma ideia da regularidade ou homogeneidade das amostras que estão sendo estudadas. Valores elevados, superiores a cerca de um, representam amostras com grande heterogeneidade, e valores abaixo de 0,4 refletem homogeneidade da amostra.

Podemos notar que os elementos P, Ca, Ti, Mn, Fe, Mo e Cd dos solos próximos ao Carbonatito Picada dos Tocos e P, Ca, Cd e Rh dos solos próximos ao Carbonatito Passo Feio demonstram que houve heterogeneidade entre as amostras coletadas, isso se dá devido a grande diferença litológica entre o carbonatito em si e a rocha encaixante o que ajuda também na identificação de anomalias. Sendo ocasionado principalmente pelo fato dos elementos Ca, Mg, Fe, Ti, P, Mn, Co, Th e Ce possuírem uma dispersão bastante baixa devido a mobilidade destes elementos variar entre baixa a muito baixa, quase imóvel.

É possível perceber que em ambas amostras de solo dos carbonatitos a população amostral é considerada heterogênea em sua maioria, porém com uma pequena tendência a homogeneidade. Os valores da média normalmente não superam as medianas das distribuições, indicando comportamentos considerados normais.

A curtose é o grau de achatamento de uma curva em relação a representatividade de uma distribuição normal das amostras. Designa-se como leptocúrtica a curva com um pico elevado, platicúrtica a uma curva achatada e mesocúrtica a intermediária (ANDRIOTTI, 2010)

Os valores de curtose devem se aproximar do 0 para uma distribuição normal simétrica entre as amostras. Podemos notar que elementos como P, Ca, Cl, Th, Cd

próximo ao Carbonatito Picada dos Tocos e P, Cd e Th no Carbonatito Passo Feio apresentam valores de curtose bem distante do valor de 0 que seria um indicador de distribuição normal, permitindo mais uma vez visualizar que existem anomalias para estes elementos na região.

O desvio entre quartis, $IQR = (Q3 - Q1)$ é muitas vezes usado como medida de dispersão. Em distribuições simétricas a distância entre a mediana e o primeiro quartil é igual à distância entre a mediana e o terceiro quartil (ANDRIOTTI, 2010).

Os valores do terceiro quartil são inferiores, porém próximos aos valores máximos das distribuições de concentração, sugerindo que existem áreas com valores de concentração anômalos para elementos como Ca, Fe, Ti, P, Mn, Co, Th e Ce no solo do Carbonatito Picada dos Tocos e Mn, Fe, Mo, Cd e Ce no solo do Carbonatito Passo Feio. É possível notar que o elemento P no solo dos Carbonatitos Picada dos Tocos e Passo Feio apresenta valores que podem representar uma anomalia mais elevada devido a teores muito baixos e outros muito elevados dentro da área em estudo.

Tabela 5- Estatísticas descritivas dos solos representativos do Carbonatito Picada dos Tocós

	Mg	Al	Si	P	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe
<i>Nº de amostras</i>	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
<i>Mínimo</i>	1,18	4,10	15,80	0,00	0,00	0,29	0,59	0,15	0,03	1,35
<i>Máximo</i>	6,93	13,70	55,80	0,71	0,10	2,83	7,26	3,24	0,24	11,20
<i>Média</i>	4,28	8,64	36,56	0,09	0,08	1,34	1,54	1,41	0,10	4,90
<i>Mediana</i>	4,45	8,59	36,00	0,00	0,09	1,05	1,11	1,62	0,10	4,77
<i>Moda</i>	6,09	10,20	40,80	0,00	0,09	0,53	1,09	2,10	0,03	#N/D
<i>Desvio padrão</i>	1,53	2,10	9,50	0,16	0,02	0,81	1,27	0,99	0,07	3,07
<i>Variância</i>	2,33	4,41	90,23	0,02	0,00	0,66	1,62	0,98	0,00	9,43
<i>Assimetria</i>	-0,17	0,17	0,10	2,36	-3,93	0,31	3,13	0,22	0,45	0,45
<i>Q1</i>	2,98	7,41	31,03	0,00	0,08	0,56	0,84	0,41	0,04	2,01
<i>Q3</i>	5,70	9,87	41,58	0,14	0,09	2,23	1,81	2,14	0,16	7,14
<i>Curtose</i>	-0,76	0,43	-0,17	6,42	19,36	-1,57	12,10	-1,36	-1,13	-1,14
<i>Coefficiente de variação</i>	0,36	0,24	0,26	1,73	0,20	0,61	0,83	0,71	0,65	0,63
	Co	Mo	Rh	Cd	Sb	Ce	Hf	Th		
<i>Nº de amostras</i>	34	34	34	34	34	34	34	34		
<i>Mínimo</i>	600,00	0,00	1400,00	0,00	200,00	0,00	0,00	0,00		
<i>Máximo</i>	6200,00	300,00	3700,00	1600,00	500,00	4200,00	200,00	5300,00		
<i>Média</i>	2341,18	164,71	2647,06	970,59	352,94	2117,65	88,24	655,88		
<i>Mediana</i>	2450,00	200,00	2750,00	1100,00	400,00	2000,00	100,00	0,00		
<i>Moda</i>	700,00	200,00	2900,00	1100,00	400,00	1000,00	0,00	0,00		
<i>Desvio padrão</i>	1530,52	64,58	639,71	439,37	82,52	1040,53	87,96	1329,89		
<i>Variância</i>	2342495,54	4171,12	409233,51	193048,13	6809,27	1082709,45	7736,19	1768600,71		
<i>Assimetria</i>	0,60	-0,95	-0,37	-1,05	-0,27	0,09	0,24	2,39		
<i>Q1</i>	875,00	100,00	2100,00	800,00	300,00	1150,00	0,00	0,00		
<i>Q3</i>	3400,00	200,00	3125,00	1300,00	400,00	2900,00	200,00	775,00		
<i>Curtose</i>	-0,48	0,88	-0,69	0,72	-0,35	-0,81	-1,70	5,28		
<i>Coefficiente de variação</i>	0,65	0,39	0,24	0,45	0,23	0,49	1,00	2,03		

Tabela 6- Estatísticas descritivas dos solos representativos do Carbonatito Passo Feio

	Mg	Al	Si	P	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe
<i>N° de amostras</i>	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
<i>Mínimo</i>	1,16	4,42	16,30	0,00	0,07	0,49	0,15	0,92	0,09	5,29
<i>Máximo</i>	7,08	14,80	51,30	1,21	0,11	1,76	7,99	4,18	0,27	13,70
<i>Média</i>	3,85	7,45	26,59	0,32	0,09	1,05	3,20	2,71	0,21	9,96
<i>Mediana</i>	3,71	6,59	21,45	0,32	0,10	1,06	3,23	2,99	0,22	10,35
<i>Moda</i>	5,05	5,44	17,80	0,00	0,10	1,04	#N/D	3,27	0,24	10,00
<i>Desvio padrão</i>	1,37	2,59	10,40	0,27	0,01	0,33	2,27	1,00	0,05	2,30
<i>Variância</i>	1,89	6,72	108,24	0,07	0,00	0,11	5,14	1,00	0,00	5,30
<i>Assimetria</i>	0,30	1,33	1,03	1,27	-0,90	0,08	0,25	-0,48	-0,98	-0,64
<i>Q1</i>	2,91	5,44	18,28	0,12	0,09	0,77	0,69	1,98	0,19	8,34
<i>Q3</i>	4,94	8,97	34,08	0,45	0,10	1,23	4,59	3,33	0,24	11,80
<i>Curtose</i>	0,16	1,36	-0,10	3,35	0,35	-0,46	-0,82	-0,76	-0,10	-0,39
<i>Coefficiente de variação</i>	0,36	0,35	0,39	0,82	0,10	0,31	0,71	0,37	0,25	0,23
	Co	Mo	Rh	Cd	Sb	Ce	Hf	Th		
<i>N° de amostras</i>	28	28	28	28	28	28	28	28		
<i>Mínimo</i>	2500,00	0,00	500,00	0,00	100,00	600,00	0,00	0,00		
<i>Máximo</i>	7300,00	400,00	3100,00	1400,00	400,00	6900,00	300,00	7400,00		
<i>Média</i>	4728,57	203,57	2185,71	957,14	321,43	3239,29	96,43	2614,29		
<i>Mediana</i>	4850,00	200,00	2300,00	1000,00	300,00	3150,00	100,00	3750,00		
<i>Moda</i>	3800,00	200,00	2500,00	900,00	400,00	1000,00	0,00	0,00		
<i>Desvio padrão</i>	1118,81	88,12	589,86	359,45	87,59	1636,47	92,22	2476,07		
<i>Variância</i>	1251746,03	7764,55	347936,51	129206,35	7671,96	2678029,10	8505,29	6130899,47		
<i>Assimetria</i>	-0,18	-0,07	-0,81	-1,23	-0,81	0,30	0,38	0,21		
<i>Q1</i>	3825,00	125,00	1800,00	800,00	300,00	2100,00	0,00	0,00		
<i>Q3</i>	5500,00	300,00	2700,00	1200,00	400,00	4400,00	200,00	4375,00		
<i>Curtose</i>	0,05	0,09	0,79	1,87	-0,23	-0,36	-1,07	-1,37		
<i>Coefficiente de variação</i>	0,24	0,43	0,27	0,38	0,27	0,51	0,96	0,95		

6.4. Correlação de Pearson

O conceito de correlação se refere a uma associação numérica entre duas variáveis, não implicando necessariamente uma relação de causa e efeito ou mesmo a existência de uma estrutura com interesses práticos.

O coeficiente de correlação linear é representado por r , e os valores de r variam entre -1 (correlação inversa) e +1 (correlação direta), sendo o valor zero representativo de ausência de correlação linear (ANDRIOTTI, 2010).

Através da Correlação de Pearson foi possível identificar os pares de elementos que apresentam uma interação forte entre eles, sendo elas positivas quando a presença de um elemento influencia na presença do outro ou negativa, quando a entrada de um elemento significa a saída de outro.

Nas amostras de solo representativas do Carbonatito Picada dos Tocos as principais correlações positivas (Tabela 7) são observadas entre os pares: Al x Si (0,87); Ti x Mn (0,96); Ti x Fe (0,97); Ti x Co (0,97); Mn x Fe (0,97); Mn x Co (0,93) e Fe x Co (0,97). De forma negativa, foram observadas entre: K x Ti (-0,85); K x Mn (-0,81); K x Fe (-0,83) e K x Co (-0,79).

Já nas amostras de solo representativas do Carbonatito Passo Feio (tabela 8) foram observadas as principais correlações positivas entre o Al x Si (0,96); P x Ca (0,86); P x Fe (0,81); Ca x Ti (0,90); Ca x Fe (0,86); Ti x Fe (0,88); Mn x Fe (0,92); Mn x Co (0,82) e Fe x Co (0,90). As correlações negativas principais foram observadas entre o Mo x Al (-0,72); Mo x Si (-0,75); Co x Rh (-0,66).

Pode-se notar uma alta correlação do Ca com diversos outros elementos apresentados na tabela do Carbonatito Passo Feio. Este elemento compõe a calcita, que é o principal carbonato contido nos Alvikitos, tipo de rocha que prevalece no Carbonatito Passo Feio (CERVA-ALVES, 2017).

Tabela 7- Correlação de Pearson Carbonatito Picada dos Tocos, valores considerados representativos estão destacados.

	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>Cl</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Co</i>	<i>Mo</i>	<i>Rh</i>	<i>Cd</i>	<i>Sb</i>	<i>Ce</i>	<i>Hf</i>	<i>Th</i>
Mg	1,00																	
Al	-0,10	1,00																
Si	-0,05	0,87	1,00															
P	-0,18	-0,46	-0,47	1,00														
Cl	0,33	-0,36	-0,27	-0,17	1,00													
K	-0,20	0,64	0,48	-0,48	-0,12	1,00												
Ca	-0,10	-0,21	-0,27	0,31	0,03	0,01	1,00											
Ti	0,15	-0,41	-0,35	0,59	-0,08	-0,85	-0,05	1,00										
Mn	0,08	-0,43	-0,44	0,73	-0,15	-0,81	0,05	0,96	1,00									
Fe	0,13	-0,44	-0,46	0,62	-0,05	-0,83	0,03	0,97	0,97	1,00								
Co	0,20	-0,27	-0,28	0,53	-0,13	-0,79	0,00	0,97	0,93	0,97	1,00							
Mo	-0,07	-0,47	-0,50	0,43	0,03	-0,33	-0,29	0,30	0,41	0,32	0,19	1,00						
Rh	-0,11	-0,48	-0,56	-0,23	0,26	0,20	0,07	-0,48	-0,43	-0,41	-0,56	0,23	1,00					
Cd	0,03	-0,30	-0,36	-0,04	0,43	-0,18	-0,36	0,07	0,06	0,10	-0,02	0,44	0,34	1,00				
Sb	0,04	-0,68	-0,73	0,24	0,18	-0,13	0,02	-0,08	0,00	-0,01	-0,17	0,47	0,74	0,42	1,00			
Ce	0,30	-0,53	-0,43	0,31	0,23	-0,70	-0,18	0,62	0,61	0,62	0,56	0,51	-0,11	0,25	0,20	1,00		
Hf	-0,05	-0,09	-0,21	-0,03	-0,04	0,05	-0,26	0,14	0,16	0,17	0,13	0,24	0,17	0,07	0,05	0,26	1,00	
Th	0,28	-0,17	-0,20	-0,01	0,17	-0,36	-0,14	0,33	0,35	0,33	0,31	0,20	-0,03	0,25	0,02	0,44	0,30	1,00

Tabela 8- Correlação de Pearson Carbonatito Passo Feio, valores considerados representativos estão destacados.

	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>Cl</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Co</i>	<i>Mo</i>	<i>Rh</i>	<i>Cd</i>	<i>Sb</i>	<i>Ce</i>	<i>Hf</i>	<i>Th</i>	<i>U</i>	
Mg	1,00																			
Al	-0,07	1,00																		
Si	-0,09	0,96	1,00																	
P	-0,32	-0,43	-0,50	1,00																
Cl	0,02	-0,05	-0,08	0,25	1,00															
K	0,01	0,65	0,61	-0,32	0,13	1,00														
Ca	-0,25	-0,60	-0,63	0,86	0,11	-0,43	1,00													
Ti	-0,38	-0,57	-0,59	0,77	0,10	-0,29	0,90	1,00												
Mn	-0,32	-0,50	-0,60	0,73	0,08	-0,22	0,70	0,80	1,00											
Fe	-0,19	-0,56	-0,65	0,81	0,07	-0,29	0,86	0,88	0,92	1,00										
Co	-0,23	-0,18	-0,28	0,78	0,13	-0,01	0,75	0,78	0,82	0,90	1,00									
Mo	-0,08	-0,72	-0,75	0,39	0,12	-0,26	0,54	0,58	0,54	0,50	0,22	1,00								
Rh	0,28	-0,49	-0,38	-0,34	0,00	-0,37	-0,33	-0,36	-0,26	-0,37	-0,66	0,20	1,00							
Cd	0,27	-0,24	-0,21	-0,01	-0,12	-0,09	-0,08	-0,11	0,08	0,06	-0,05	0,03	0,35	1,00						
Sb	0,37	-0,56	-0,53	-0,23	0,08	-0,29	-0,10	-0,14	-0,06	-0,11	-0,41	0,33	0,76	0,18	1,00					
Ce	0,13	0,06	0,06	-0,44	0,10	0,05	-0,56	-0,57	-0,19	-0,40	-0,44	-0,19	0,52	0,20	0,34	1,00				
Hf	-0,04	-0,19	-0,24	0,40	0,02	0,09	0,43	0,40	0,38	0,46	0,48	0,23	-0,27	-0,07	-0,13	-0,09	1,00			
Th	-0,21	-0,47	-0,50	0,39	0,19	-0,10	0,36	0,44	0,59	0,44	0,31	0,55	0,11	-0,06	0,29	0,07	0,23	1,00		
U	0,44	-0,19	-0,30	0,29	-0,01	0,09	0,21	0,16	0,26	0,31	0,27	0,41	-0,05	0,31	0,08	-0,23	0,25	0,28	1,00	

6.5. Mapas de Isotores

Baseado nas descrições mineralógicas, e os resultados geoquímicos qualitativos obtidos e posterior comparação com a literatura, foi possível selecionar as variáveis para a confecção dos mapas de teores. Esses mapas facilitam a visualização da continuidade espacial dos carbonatitos da região de Caçapava do Sul e sua influência nos solos estudados.

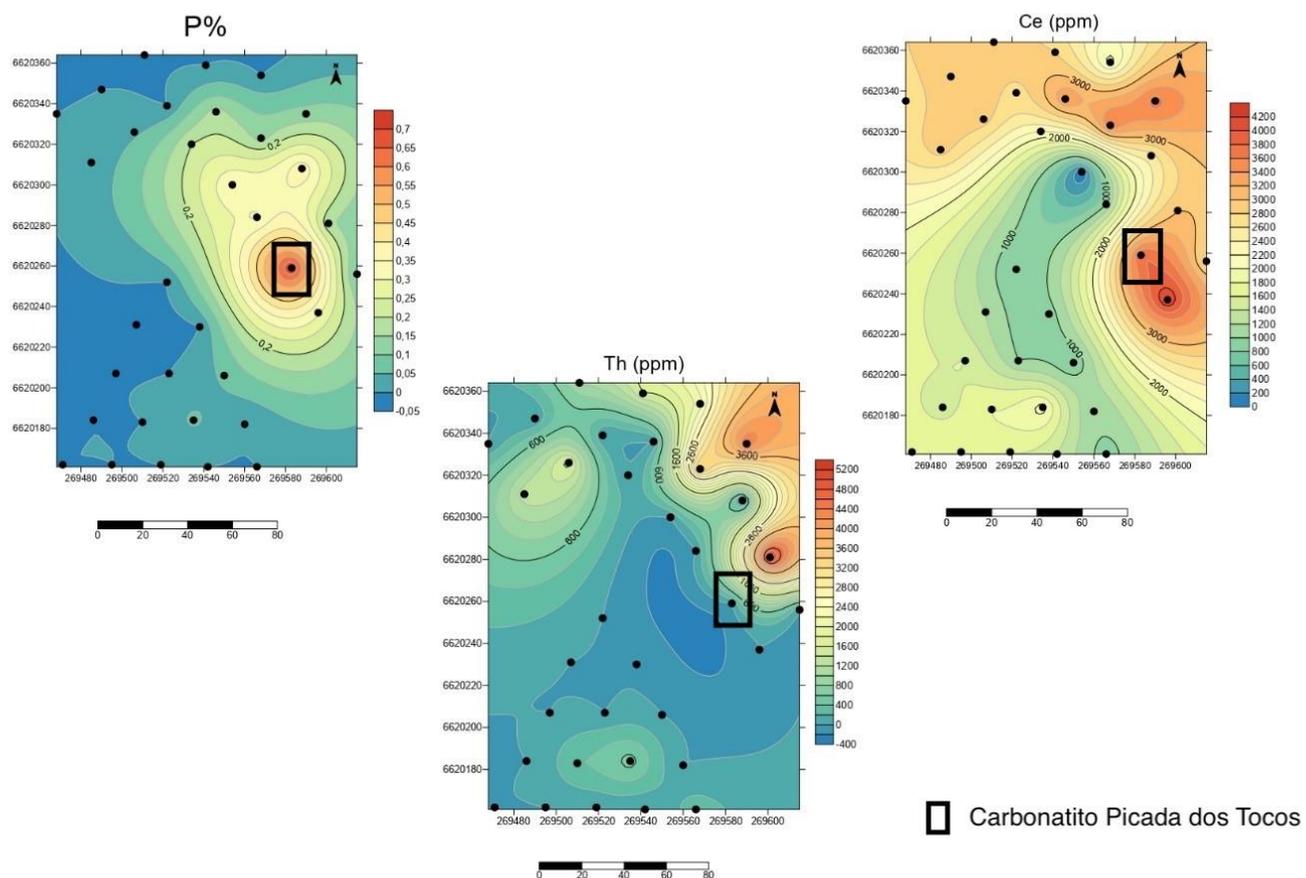
Os carbonatitos compreendem duas fases principais: uma alvikita (rica em Ca) inicial e uma beforsita (rica em Mg) posterior (CERVA-ALVES, 2017).

Um elevado conteúdo de Th, se comportando de forma anômala nas amostras de solo nas proximidades do Carbonatito Picada dos Tocos (Figura 14), poderia explicar a resposta tão alta na Aerogamaespectrometria como demonstrado na seção 4.7. deste trabalho, já que os carbonatitos da região são ricos em minerais que possuem a presença do elemento Th em sua composição química (CERVA-ALVES, 2017).

Também é importante salientar que a presença de Ce em forma anômala confirma mais uma vez que o solo da região está sendo enriquecido com o intemperismo da rocha fonte rica em minerais ricos em Th e Ce como as monazitas e outros minerais que contêm elementos terras raras (CERVA-ALVES, 2017).

Devido à baixa mobilidade do elemento P e seu empobrecimento ocasionada pelo transporte de líquidos, este pode ser um ótimo identificador do carbonatito pois este é extremamente rico em minerais primários ricos em P como a apatita, gerando assim anomalias consideráveis quando comparado com os teores da área próxima ao afloramento.

Figura 14- Mapas de isolinhas com teor de P, Th e Ce no solo próximo ao Carbonatito Picada dos Tocos.



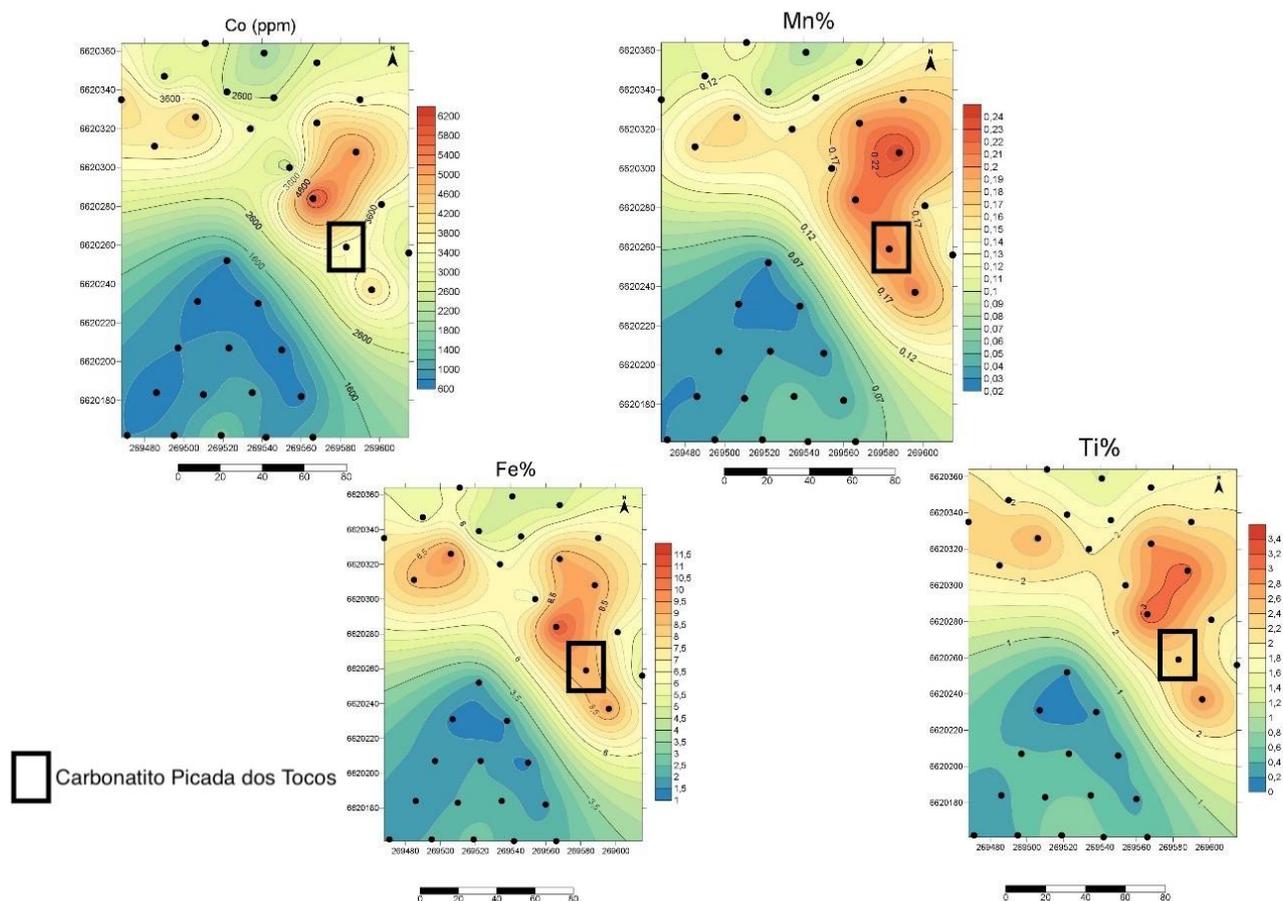
Fonte: Autor

Pode-se notar bem claramente as correlações positivas entre Ti, Fe, Mn e Co no Carbonatito Picada dos Tocos (Figura 15) que segundo Cerva-Alves (2017) são elementos que possuem seus valores elevados devido ao enriquecimento provocado pela presença da rocha no local. Levando em consideração que estes elementos possuem mobilidades consideradas baixas e em alguns casos muito baixas, é possível visualizar uma área em comum onde todos estes elementos apresentam valores maiores, considerados anômalos para com os encontrados na proximidade, sendo então um bom indicador de qual é a área de influência da rocha no solo.

O Carbonatito Picada dos Tocos aflorante no PS31 está presente na porção centro-leste da área de estudo e possui um comportamento nordeste quanto a sua

principal área de influência no solo. Este comportamento está ligado a topografia da área e a forma como o corpo intrudiu a rocha encaixante.

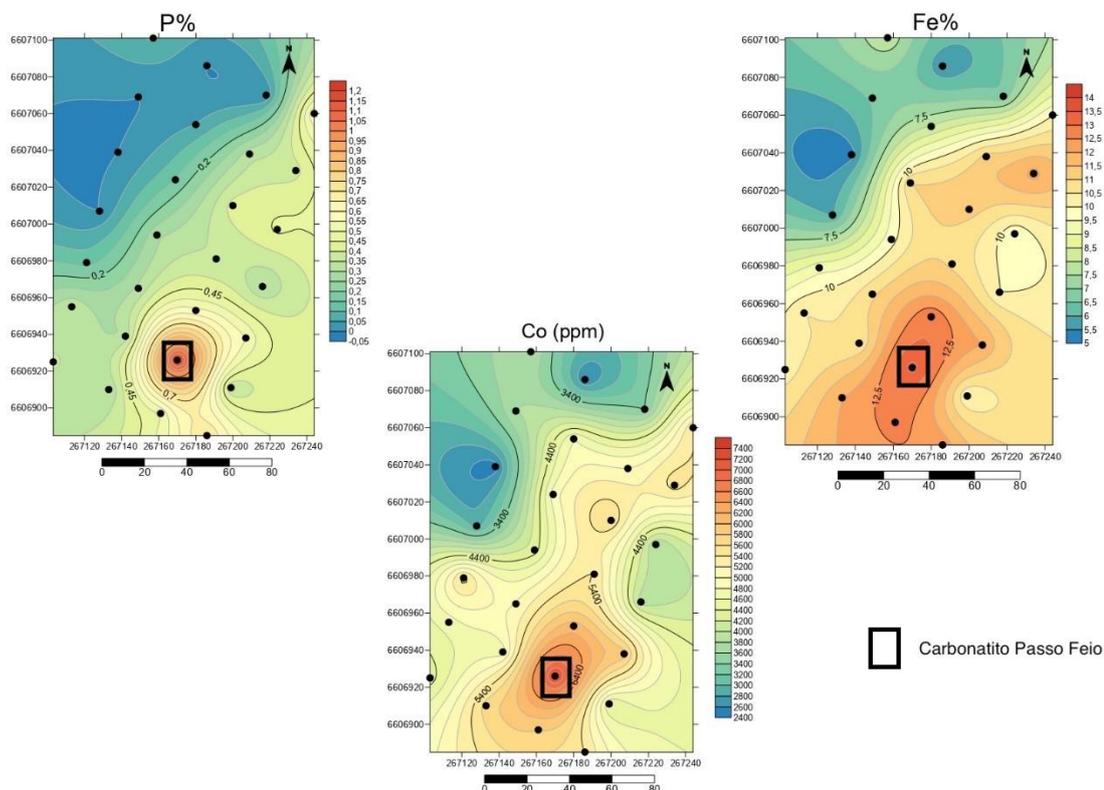
Figura 15- Mapas de isolinhas com teor de Fe, Ti, Mn e Co no solo próximo ao Carbonatito Picada dos Tocos.



Fonte: Autor

A deformação observada no Carbonatito Passo Feio (aflorante no PS54), sua proximidade a grandes estruturas e sua relação concordante com as encaixantes (ROCHA *et al.* 2013), sustentam a hipótese de que esta ocorrência corresponde a um carbonatito do tipo linear, segundo a classificação de Lapin e Ploshko (1988). Os elementos P, Fe e Co são muito importantes para a determinação de qual é a área de influência do corpo de carbonatito que segue um padrão centro-sul (Figura 16).

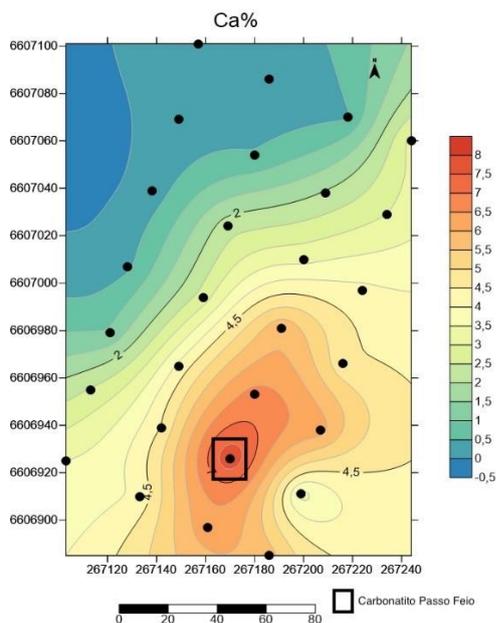
Figura 16- Mapas de isolinhas com teores de P, Co e Fe no solo próximo ao Carbonatito Passo Feio.



Fonte: Autor

É possível notar na (Figura 17) que o elemento Ca também apresenta um comportamento centro-sul assim como era previsto observando a correlação entre estes elementos.

Figura 17- Mapa de isolinha com teores de Ca no solo próximo ao Carbonatito Passo Feio



Fonte: Autor

7. CONCLUSÕES

Conforme observado nos resultados, os solos amostrados apresentaram valores de concentração naturalmente elevados de Ca, Mg, Fe, Ti, P, Mn, Co, Th e Ce.

P, Ti, Mn e Co estão presentes em concentrações elevadas devido ao conteúdo destes elementos na composição química dos minerais presentes nas rochas carbonatíticas.

As anomalias de Ca e Mg também estão ligadas a alta presença destes elementos na mineralogia da rocha alvikito (Ca) e beforsito (Mg).

As elevadas concentrações de Ce e Th estão diretamente relacionadas a presença de minerais ricos em ETR's como a monazita e bastnasita.

O Fe possui concentrações elevadas, principalmente devido a presença da magnetita e hematita nas rochas encaixantes que forneceram este elemento ao magma carbonatítico.

O Carbonatito Picada dos Tocos possui uma área de influência no sentido nordeste, enquanto o Carbonatito Passo Feio possui uma área de influência no sentido sul.

8. REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de normas técnicas. NBR 14340 Água – Determinação da condutividade e da resistividade elétrica. Rio de Janeiro, 1999

ALLEONI, L. R. F.; BORBA, R. P. & CAMARGO, O. A. Metais pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros. *Tópicos em Ciências do Solo*, v. 4, p. 1-42, 2005.

ALMEIDA, F. F. M. Origem e evolução da plataforma brasileira. Departamento Nacional da Produção Mineral. Divisão Geologia Mineral. Boletim, v. 241, 1967.

ANDRIOTTI, José Leonardo Silva. **Interpretação de dados de prospecção geoquímica com o auxílio de estatística**. CPRM, 2010

ANTONINI, P. ., COMIN-CHIARAMONTI, P., GOMES, C. B., CENSI, P., RIFFEL, B. F., YAMAMOTO, E. The Early Proterozoic carbonatite complex of Angico dos Dias, Bahia State, Brazil: geochemical and Sr-Nd isotopic evidence for an enriched mantle origin. *Mineralogical Magazine*, v. 67, n. 5, p. 1039-1057, 2003.

BERTIN, E. P. Principles and Practice of X-Ray Spectrometric Analysis. Plenum Press, Londres, 1079 p., 1975.

BEST, M. G. Igneous and Metamorphic Petrology. 2 ed. Brigham Young University: Blackwell Publishing. 758 p. 2003.

BIONDI, J. C. Brazilian mineral deposits associated with alkaline and alkaline-carbonatite complexes. In: Comin-Chiaramonti, P. & Gomes, C.B. (Eds). Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo/Fapesp, p. 707-755, 2005

BITENCOURT, M. F. Geologia, petrologia e estrutura dos metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS. Porto Alegre, 161p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1983.

BITENCOURT, M. F., FLORISBAL, L. M., SBARAINI, S., RIVERA, C. B. 2015. Idades U-Pb e a duração do magmatismo ultrapotássico do Maciço Sienítico Piquiri. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 9, 2015, Florianópolis. Anais... Florianópolis, SBG, Boletim de Resumos, 2015.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA número 357/2005. Brasília, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA número 420/2009. Brasília, 2009.

BRASIL. Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011. Ministério da Saúde. Brasília, 2011

CERVA-ALVES, T. Geologia dos carbonatitos ediacaranos de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.

CHEMALE JR. Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense. Geologia do Rio Grande do Sul. Ed. Holz, M.; De Ros, L.F., Centro de Investigação do Gondwana, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre. No prelo, 2000.

CIMINELLI, V. S. T.; GOMES, A. D. Princípios de Cianetação. In: TRINDADE , R.B.E.; BARBOSA-FILHO, O. (Eds.). Extração de ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. p.322.

CORDANI, U. G. & BRITO-NEVES, B. B. The geologic evolution of South America during the Archean and Early Proterozoic. Revista Brasileira de Geociências, 12 (1-3), 78-88, 1982.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. 2015. Mapa Geológico Simplificado do Brasil. Porto Alegre, DGEO - Departamento de Geologia, DIGEOP - Divisão de Geoprocessamento, DIARMI - Divisão de Avaliação de Recursos Minerais. Escala 1:6.000.000.

DE FREITAS, M., DAPHN,E H., & EDUARDO C. O. FILHO. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. Universitas: ciências da saúde 4.1: 83-100, 2008.

DUCHAUFOR, R. **Pedology: pedogenesis and classification**. Springer Science & Business Media, 2012.

FARIAS, Carlos Eugênio Gomes. Mineração e meio ambiente no Brasil. Relatório do CGEE/PNUD, v. 76, p. 2, 2002.

FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M. Hidrogeologia: conceitos e aplicação. Ed. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1997.

FONSECA, A. DO C. Geoquímica dos Solos. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. DA; BOTELHO, R.G.M. (Orgs.), Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 165-194, 1999.

FUCK, E. A., BRITO-NEVES, B. B. & SCHOBENHAUS, C. Rodinia descendants in South America. *Precambrian Research*, 160, 108-126, 2008.

GOMES, C. B., COMIN-CHIARAMONTI, P. An introduction to the alkaline and alkaline-carbonatitic magmatism in and around the Paraná Basin. In: Comin-Chiaramonti, P. and Gomes, C.B. (Eds). *Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform*. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo/Fapesp, p. 21-29, 2005.

GUERRA, 2001 GUERRA, A.J.T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. DA C. (Orgs.), *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 149-209, 2001

GUILHERME, L. R. G., MARQUES, J. J., PIERANGELI, M. A. P., ZULIANI, D. Q., CAMPOS, M. L., & MARCHI, G. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. *Tópicos em ciências do solo*, 4, 345-390, 2005.

HAMMOUDA, T., KESHAV, S. 2015. Melting in the mantle in the presence of carbon: Review of experiments and discussion on the origin of carbonatites. *Chemical Geology*. 418, 171-188.

HARTMANN, L. A. Condições de Metamorfismo no Complexo Granulítico Santa Maria Chico, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, 21(2): 107-113, 1991.

HARTMANN, L. A., TAKEHARA, L., LEITE, J. A., MCNAUGHTON, N. J., & VASCONCELLOS, M. A. Fracture sealing in zircon as evaluated by electron microprobe analyses and back-scattered electron imaging. *Chemical Geology*, 141(1-2), 67-72, 1997.

IBGE - EMBRAPA - Mapa de Solos do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2001 - Escala 1:5.000.000

KNOCHE, R., SWEENEY, R.J. & LUTH, R.W. 1999. Carbonation and decarbonation of eclogites: the role of garnet. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 135, 332-339.

KRAVCHENKO, S. M., BAGDASAROV, Y. A., & LAPIN, A. V. **New data on the geology and minerageny of carbonatite associations.** *International Geology Review*, 30(11), 1208-1216. 1988.

KRAVCHENKO, S. M., YU, A., BAGDASAROV, & A. V. LAPIN. New data on the geology and minerageny of carbonatite associations. *International Geology Review*, 30.11: 1208-1216, 1988.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. L., CASTRO, N. F., SILVA, R. E. C. Brasil: Recursos Minerais e a Produção de Fosfatos, Fosfatos, Minerales para la Agricultura em Latinoamérica. p.53- 72. 19, 2005.

LAPIN, A. V., & PLOSHKO, V. V. **Rock-association and morphological types of carbonatite and their geotectonic environments.** *International Geology Review*, 30(4), 390-396. 1988.

LAPIN, A. V., IWANÜCH, W. & PLOSHKO, V. V. V. Carbonatitos Lineares de Cinturões Móveis: uma síntese. *Revista Brasileira de Geociências*, 29 (4), 483-490, 1999.

LE MAITRE, R. W. **Igneous rocks: a classification and glossary of terms.** Cambridge University Press, pp 236. 2002.

LEVINSON, A.A. *Introduction to exploration geochemistry*. Calgary: Applied Publishing, 1974. 612p.

LICHT, 1998 LICHT, O. A. B.. *Prospecção geoquímica: princípios, técnicas e métodos/ Otávio Augusto Boni Licht*. - Rio de Janeiro: CPRM, 1998.

LICHT, O.A.B. ***A geoquímica multielementar na gestão ambiental: identificação e caracterização de províncias geoquímicas naturais, alterações antrópicas da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no Estado do Paraná, Brasil***. 2001. 1 CD-ROM. Tese (Doutorado) - Faculdade de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

LUTH, R.W., 1995. Experimental determination of the reaction dolomite + 2 coesite = diopside + 2 CO₂ to 6 GPa. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 122, 152-158.

MARIANO, A. N. Nature of economic mineralization in carbonatites and related rocks. In: Bell, K. (Ed.). *Carbonatites: Genesis and Evolution*. London, Unwin Hyman, p. 149-176, 1989

MARTIN, A.M. & HAMMOUDA, T. 2011. Role of iron and reducing conditions on the stability of dolomite + coesite between 4.25 and 6 GPa - a potential mechanism for diamond formation during subduction. *European Journal of Mineralogy*, 23, 5-16.

MEYBECK, M.; HELMER, R. An introduction to water quality In: CHAPMAN, D. *Water quality assessment*. 1992.

MODRESKI, P. J., ARMBRUSTMACHER, T. J. HOOVER. D. B. *Carbonatite Deposits*. U.S. Geological Survey, 1995

NARDI, L. V. S.; HARTMANN, L. A. O Complexo Granulítico Santa Maria Chico do Escudo Sul-Rio-Grandense. *Acta Geologica Leopoldensia*, 10: 45-75, 1979.

NASCIMENTO FILHO, VIRGÍLIO F. "Técnicas analíticas nucleares de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF) e por reflexão total (TXRF)." Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1999.

NRIAGU, J. O.; PACYNA, J. M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils with trace metals. *Nature*, v. 33, p. 134-139, 1988.

PAIM, P. S. G., & LOPES, R. C. Geologia da região das Minas do Camaquã. Ronchi, LH & Lobato, AOC (Coords), Minas do Camaquã, um estudo multidisciplinar. São Leopoldo, 111-132, 2000.

PHILIPP, R. P., VIEIRO, A. P. COMIN-CHIARAMONTI, P., GOMES, C. B. Mesozoic Alkaline Rocks of Rio Grande do Sul. In: Comin-Chiaramonti, P. and Gomes, C.B. (Eds). Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo/Fapesp, p. 573-590, 2006

PHILIPP, R., BITENCOURT, M. F. & JUNGES, S. Isótopos de Nd dos Complexos Neoproterozóicos Cambaí e Cambaizinho, Terreno Vila Nova: implicações para a evolução do Cinturão Dom Feliciano no RS. Congresso Brasileiro de Geologia, 44. 1, 2008.

RELATÓRIO perspectivas do meio ambiente no Brasil: GEO-BRASIL, 2002. Brasília: CPRM, março 2002. 31 p.

REMUS, M. V. D., HARTMANN, L. A., MCNAUGHTON, M. J., GROVES, D. I., REISCHL, J. L. Distal Magmatic-Hydrothermal Origin for the Camaquã Cu (Au-Ag) and Santa Maria Pb, Zn (Cu-Ag) Deposits, Southern Brazil. *Gondwana Research*, 3 (2), 155-174, 2000.

RIBEIRO, M., BOCCHI, P. R., FIGUEIREDO FILHO, P. M., TESSARI, R. I. Geologia da quadrícula de Caçapava do Sul, RS, Brasil. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia, DPM-DNPM*, p. 127-232, 1966.

RICCOMINI, C., VELÁZQUEZ, V.F., GOMES, C.B. Tectonic controls of the Mesozoic and Cenozoic alkaline magmatism in the central-southeastern Brazil Platform. In: Comin-Chiaramonti, P. and Gomes, C.B. (Eds). Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo/Fapesp, p. 31-56, 2005.

RICHARDSON, D. G., & BIRKETT, T. C. **Carbonatite-associated deposits. *Geology of Canadian Mineral Deposit Types***. Eckstrand OR, Sinclair WD, Thorpe RI (eds) Geological Survey of Canada, Ottawa, 541-558. 1996.

ROCHA, A. M. R., DORNELES, N. T., GINDRI, M. D., VARGAS, F. M., CERVA-ALVES, T., BENETTI, F.A. Descoberta dos carbonatitos Picada dos Tocos e Passo Feio e o potencial para fosfato e ETRs, Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM OF METALLOGENY, 3, The New Brazilian Mineral Deposits, 3, 2013, Gramado. Boletim de Resumos, Gramado, SBG, 2013.

RODRIGUES, Luzia Cristina Valente. Estudo da disponibilidade química de chumbo e arsênio em sedimentos de corrente e colunas de sedimentos no Vale do Ribeira, SP. 2008.

ROSE et al. (1979) A. W. ROSE, H. E. HAWKES & J. S. WEBB 1979. *Geochemistry in Mineral Exploration*. Second edition. xvii + 657 pp., numerous figs. London, New York, Sydney, San Francisco: Academic Press.

SANTOS, Caroline Couto. Mobilidade de elementos químicos no perfil de solo e seu controle na prospecção geoquímica: aplicação na região de Santa Maria da Vitória, BA. 2014.

SENHORINHO, E. M. Controle Estrutural Dos Carbonatitos No Rio Grande do Sul: Análise De Produtos De Sensoriamento Remoto e Aerogeofísicos. Porto Alegre, 180p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Departamento de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. Revista espaço da Sophia, v. 8, n. 1, 2007.

SOLIANI JR, E. Os dados geocronologicos do Escudo Sul-rio-grandense e suas implicações de ordem geotectônica. 1986.

TEIXEIRA, W. Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 568 p.

TEÓDULO, M.J.R.; LIMA, E.S.; NEUMANN, V.M.L.; LEITE, P.R.; SANTOS, M.L.F. Comparação de métodos de extração parcial de metais traço em solos e sedimentos

de um estuário tropical sob a influência de um complexo industrial portuário, Pernambuco Brasil. *Estudos Geológicos*, v. 13, p. 23-34, 2003.

TOLEDO, M.C.M.; OLIVEIRA, S.M.B. de; MELFI, A.J. 2009 Cap 8 p. 128-239 Da rocha ao solo – Intemperismo e pedogênese. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M.C.M.; TAIOLI, F. *Decifrando a Terra*, 2a Edição. São Paulo 2009.

TONIOLO, J. A. GRAZIA, C.A. PARISI, G. PINTO, L.G. Carbonatitos do Rio Grande do Sul, Brasil. Poster, In V Simpósio de Vulcanismo e Ambientes, Cidade de Goiás, 2011

TONIOLO, J.A.; REMUS, M.V.D.; PARISI, G.N.; DANI, N. Dois eventos carbonatíticos temporalmente distintos no RS: tipos linear e central. VIII Simpósio Sulbrasileiro de Geologia, FIERGS, 21-24 de julho de 2013. Porto Alegre, RS, Resumos, 2013.

VEEVERS, J.J. Pan-Gondwanaland post-collisional extension marked by 650-500 Ma alkaline rocks and carbonatites and related detrital zircons: A review. *Earth- Science Reviews*, 83, 1-47, 2007.

WERNICK, E. Rochas magmáticas, conceitos fundamentais e classificação modal, química, termodinâmica e tectônica. Editora UNESP, São Paulo, 655 p, 2004

WHITE, W.M. *Geochemistry*. Oxford: Blackwell-Wiley, 2005. 672p.

WOODARD, J., & HETHERINGTON, C. J. **Carbonatite in a post-collisional tectonic setting: Geochronology and emplacement conditions at Naantali, SW Finland.** *Precambrian Research*, 240, 94-107. 2014.

WOOLLEY, A. R., KJARSGAARD, B. A. **Paragenetic types of carbonatite as indicated by the diversity and relative abundances of associated silicate rocks: evidence from a global database.** *The Canadian Mineralogist*, v.46, p.741-752. 2008.

WOOLLEY, A.R. & KEMPE, D.R.C. Carbonatites: nomenclature, average chemical compositions, and element distribution. In: Bell, K. (Ed.). *Carbonatites: Genesis and Evolution*. London, Unwin Hyman, p. 1-14, 1989.

WYLLIE, P.J., 1989. Origin of carbonatite: evidence from phase equilibrium studies. In: Bell, K. (Ed.), Carbonatites: Genesis and Evolution. Unwin Hyman, London, pp. 500-545.

WYLLIE, P.J., LEE, W-J., 1998. Model system controls on conditions for formation of magnesiocarbonatite and calciocarbonatite magmas from mantle. *Journal of Petrology*. 39, 1885-1893.