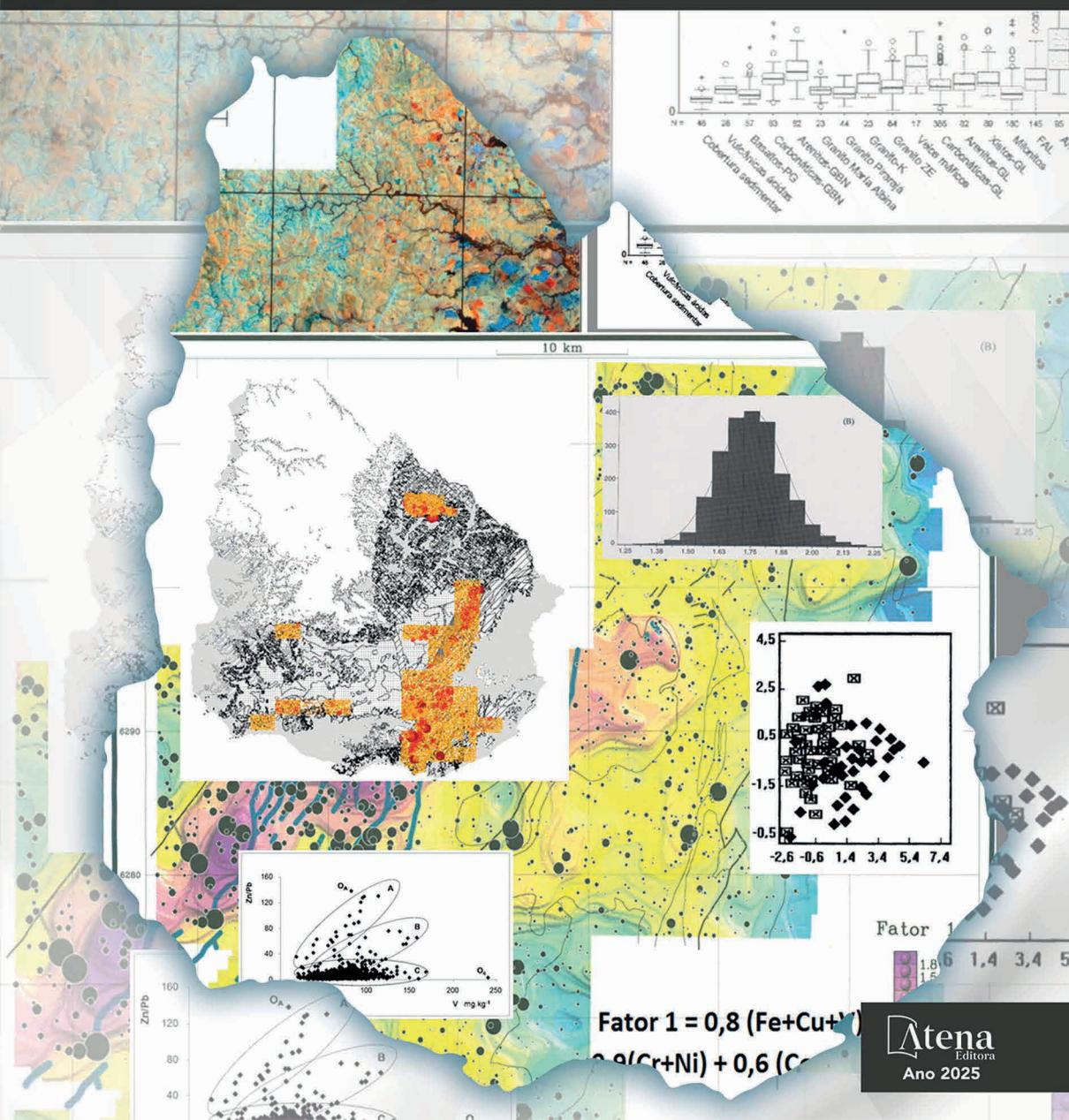


José Maria Filippini-Alba

GEOQUÍMICA APLICADA NO URUGUAI

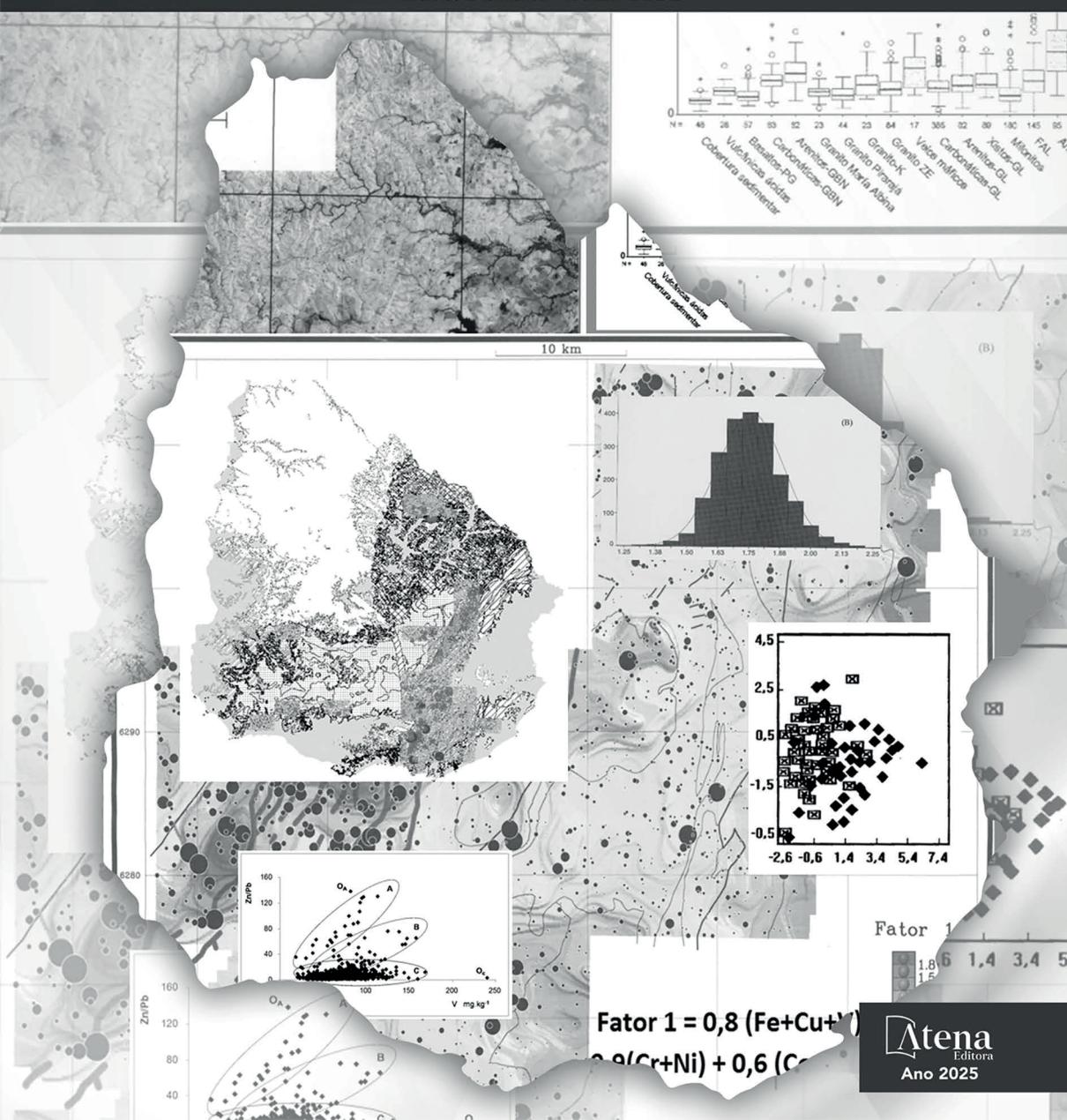
SEGUNDA VERSÃO



José Maria Filippini-Alba

GEOQUÍMICA APLICADA NO URUGUAI

SEGUNDA VERSÃO



2025 by Atena Editora

Copyright © 2025 Atena Editora

Copyright do texto © 2025, o autor

Copyright da edição © 2025, Atena Editora

Os direitos desta edição foram cedidos à Atena Editora pelo autor.

Open access publication by Atena Editora

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira Scheffer

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Yago Raphael Massuqueto Rocha



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo desta obra, em sua forma, correção e confiabilidade, é de responsabilidade exclusiva dos autores. As opiniões e ideias aqui expressas não refletem, necessariamente, a posição da Atena Editora, que atua apenas como mediadora no processo de publicação. Dessa forma, a responsabilidade pelas informações apresentadas e pelas interpretações decorrentes de sua leitura cabe integralmente aos autores.

A Atena Editora atua com transparência, ética e responsabilidade em todas as etapas do processo editorial. Nossa objetivo é garantir a qualidade da produção e o respeito à autoria, assegurando que cada obra seja entregue ao público com cuidado e profissionalismo.

Para cumprir esse papel, adotamos práticas editoriais que visam assegurar a integridade das obras, prevenindo irregularidades e conduzindo o processo de forma justa e transparente. Nossa compromisso vai além da publicação, buscamos apoiar a difusão do conhecimento, da literatura e da cultura em suas diversas expressões, sempre preservando a autonomia intelectual dos autores e promovendo o acesso a diferentes formas de pensamento e criação.

Geoquímica Aplicada no Uruguai

| Autores:

José Maria Filippini Alba

| Revisão:

O autor

| Diagramação:

Thamires Gayde

| Capa:

Yago Raphael Massuqueto Rocha

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A325 Alba, José Maria Filippini
Geoquímica aplicada no Uruguai / José Maria Filippini
Alba. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2025.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-3857-1
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.571250711>

1. Geoquímica - Uruguai. I. Alba, José Maria
Filippini. II. Título.

CDD 551.9

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

📞 +55 (42) 3323-5493

📞 +55 (42) 99955-2866

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

CONSELHO EDITORIAL

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof^a Dr^a Ariadna Faria Vieira – Universidade Estadual do Piauí
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Cirênio de Almeida Barbosa – Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Cláudio José de Souza – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Prof^a Dr^a. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Elio Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^a Dr^a Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Prof^a Dr^a Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Prof. Dr. Joachin de Melo Azevedo Sobrinho Neto – Universidade de Pernambuco
Prof. Dr. João Paulo Roberti Junior – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof^a Dr^a Juliana Abonizio – Universidade Federal de Mato Grosso
Prof. Dr. Julio Cândido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^a Dr^a Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof. Dr. Sérgio Nunes de Jesus – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia
Prof^a Dr^a Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

PREFÁCIO

PREFÁCIO

Em 1983, quando era aluno do 3º Ano do curso de Química da *Universidad de la República* (UdelaR), Montevideo, Uruguai, fui contratado pela *Dirección Nacional de Minería e Geología*, cuja sigla é DINAMIGE, como assistente do *Inventario Minero*, um programa de prospecção geoquímica regional, com foco nas formações geológicas pré-cambrianas do Uruguai. Eram coletadas amostras de sedimentos de corrente, ou de forma alternativa solos, preferencialmente nos departamentos de Lavalleja, Maldonado, Rivera e Treinta y Tres, onde existem ocorrências de Au ou Cu-Pb-Zn e minas conhecidas. Assim, iniciava carreira em prospecção geoquímica, que teve passagem pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP, Brasil, 1989–1998, pelo Serviço Geológico da Finlândia, Espoo e pela Universidade Acadêmica de Åbo, Turku, Finlândia, 1995-1996 e também pelo Instituto de Geociências da Universidade de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 1997-1998 (colaboração D.Sc.) e 2003-2005 (pós-doutorado).

Uma vez coletadas as amostras, eram encaminhadas ao Laboratório de Análise Multielemento, para determinação dos teores de 22 elementos por meio de emissão atômica com espectrômetro de plasma de corrente direta. Adicionando dados de campo, como localização, litologia predominante, radiometria Gamma e pH, era produzido um arquivo informático armazenado em computador de grande porte. Assim, os resultados se processavam inicialmente por métodos estatísticos uni-variados, como cálculo de estatísticas básicas, histogramas e mapas de círculos. Posteriormente, se consideravam os métodos estatísticos multivariados, rotineiramente, análise de regressão e fatorial e mapas multielemento.

A possibilidade de escrever o presente livro surgiu em 2020, quando um geólogo Uruguai, trabalhando na DINAMIGE, entrou em contato solicitando dados pretéritos. Na época tinha cerca de 7 mil registros relacionados aos trabalhos acadêmicos de folhas geográficas nos departamentos de Maldonado e Treinta y Tres (Filippini Alba, 2022). Depois de várias mensagens, e de repassar alguns dados já digitalizados do projeto, recebi um arquivo com o total de amostras de prospecção regional, ou *estratégica* como a denominavam os franceses, 31874 registros em planilha eletrônica. Cada registro continha as coordenadas de posição, radiometria e pH determinados em campo, os teores de 22 elementos químicos via spectrometria de plasma de corrente direta (Fe, Mn, P, Ag, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Nb, Ni, Pb, Sb, Sn, V, W, Y e Zn) e informações ambientais relacionada à coleta e análise química.

PREFÁCIO

PREFÁCIO

Depois de um capítulo introdutório descrevendo os recursos minerais e os principais estudos geoquímicos do território Uruguai (capítulo 1), foram elaborados seis capítulos consecutivos considerando a precisão dos dados (capítulo 2), a prospecção geoquímica regional de sedimentos de corrente (capítulo 3), os estudos litogeoquímicos nos terrenos pre-cambrianos (capítulo 4), algumas prospecções de geoquímica de solos (capítulo 5), integração dos dados via SIG (capítulo 6) e o capítulo de considerações finais (capítulo 7). O capítulo 3 contou com praticamente todos os dados geoquímicos de prospecção regional levantados pelo *Inventario Minero*. Já no caso das rochas (capítulo 4) e dos solos (capítulo 5), isso não foi possível, assim, incluindo somente uma pequena parte dos dados originais.

SUMÁRIO

SUMÁRIO

RECURSOS MINERAIS E GEOQUÍMICA NO URUGUAI	1
PRECISÃO DOS DADOS.....	9
GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS DE CORRENTE.....	12
LITOGEOQUÍMICA DOS TERRENOS PRECAMBRIANOS	28
GEOQUÍMICA DE SOLOS.....	35
INTEGRAÇÃO POR MEIO DE SIG.....	38
CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
REFERÊNCIAS.....	46



C A P Í T U L O 1

RECURSOS MINERAIS E GEOQUÍMICA NO URUGUAI

Existe um histórico antigo de exploração de ouro em Minas de Corrales, departamento de Rivera, Uruguai, nos anos 1879 a 1939. Trata-se de uma localidade de aproximadamente 4000 habitantes, distante 471 km de Montevideo, o que significa atravessar praticamente todo o território nacional. A retomada da exploração aconteceu no início do século (WIKIPÉDIA, 2025), quando também foi iniciada a exploração nas proximidades de San José (RABINOVICH, 2002), capital do departamento do mesmo nome, localizada a 95 km de Montevideo.

No final da década de 1970, o Instituto Geológico do Uruguai, posteriormente Direção Nacional de Mineração e Geologia – DINAMIGE, lançou as bases de um programa, denominado o *Inventario Minero*, para avaliar o potencial de recursos minerais metálicos do Uruguai, assessorado pelo Escritório de Pesquisas Geológicas e Mineração da França, o BRGM. O objetivo inicial foram os terrenos pré-cambrianos, no Norte e Sul do território nacional, departamentos de Lavalleja, Maldonado, Rivera e Treinta y Tres respectivamente. Na perspectiva regional, foram coletadas 31874 amostras de sedimentos de correntes e solos em 37 fotoplanos, o que equivale a uma cobertura de aproximadamente 24.938 km², com densidade de amostragem média global de 1,3 amostras por km². As análises químicas incluíram 22 elementos (Fe, Mn, P, Ag, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Nb, Ni, Pb, Sb, Sn, V, W, Y e Zn), sendo realizadas por espectrometria de emissão de plasma de corrente direta (DCP), conforme descrição de Dutra (1984). A radiometria gamma total (RY) e o pH eram determinados a campo, simultaneamente com a amostragem. Registros do processo podem ser encontrados em Midot (1984) e Filippini-Alba (1992 e 1998).

Na a mina Apolonia, no departamento de Maldonado, foi explorada galena argentífera no passado, isto é sulfeto de chumbo, PbS, com 0,5% de Ag na sua estrutura (HAUT et al. 1987). Preciozzi (1989) descreveu as ocorrências minerais de Chape (blenda-galena-pirita-calcopirita-pirrotita), mina Reus (galena-pirita-calcopirita), mina La Oriental (malaquita-azurita-covelina-óxidos), o indício Euritinia (malaquita) e a mina Valencia de dolomita (galena-blenda-pirita-covelina), localizadas na folha Fuente del Puma, ao norte da localidade de *Pan de Azúcar*, Maldonado, Uruguai.

No período 1986 – 1989, houve uma tentativa de localizar os depósitos auríferos de *Isla Patrulla*, onde houve, na década de 1960, uma descoberta ao acaso de uma pepita de Au de 10g, em uma pilha de balastro no pátio de uma escola. Técnicos do BGR (Alemanha) e da DINAMIGE (Uruguai) realizaram amostragem de filões de quartzo, conforme será descrito no capítulo 4, e também se utilizou prospecção aluvionar, sem resultados concretos.

Na atualidade, o visualizador *Geominero* disponibiliza vários projetos de prospecção em Uruguai, solicitados ou já autorizados, principalmente nos departamentos de *Artigas, Florida, Lavalleja, Maldonado, Rivera e San José* (DINAMIGE, 2020). No departamento de *Artigas* existem ocorrências de ágata e ametista; *San José* e *Rivera* possuem pretéritas explorações de ouro e *Lavalleja*, ocorrências de Cu-Pb-Zn.

Cernuschi (2014) menciona que os principais recursos minerais que ocorrem no Uruguai são os metais Fe, Ag e Au, as pedras semipreciosas ágata e ametista, os materiais ornamentais areia, calcário, sienita e pedra fragmentada e finalmente os minerais quartzo e fluorita. Segundo o autor: *Muito embora a história mineira de Uruguai e da sua constituição geológica, condissem com um território onde ocorre quase qualquer tipo de rocha ou mineral; grande parte dos Uruguaios acham a mineração quase inexistente e, seu aporte precário em relação ao desenvolvimento nacional.* Além disso, destaca que a mineração não gera desenvolvimento imediato, porém, se planejada de maneira estratégica, o impacto de alguns poucos empreendimentos minerais pode resultar transcendental para potencializar a economia.

No período 2011 – 2022 foram exploradas 10 toneladas de ouro no Uruguai, com produção mineral total de 8 a 64 milhões de toneladas métricas (CEIC, 2025). A produção de ouro alcançou 3000 kg anuais em 2005 – 2006, decrescendo para 1700 kg anuais em 2011 - 2012, com leve aumento para 2022 kg em 2013 e decréscimo paulatino nos anos seguintes, alcançando produção nula em 2020 – 2022.

A prospecção geoquímica se desenvolveu vertiginosamente durante e após a Segunda Guerra Mundial, visando à localização e quantificação de depósitos minerais, principalmente metálicos (GOVETT, 1983). Nos anos 80s, houve um direcionamento para as ciências ambientais (THORNTON, 1983; BOWIE; THORNTON, 1986), dando lugar a novos enfoques, envolvendo o impacto dos elementos traço no ambiente e na saúde humana. A Cartografia Geoquímica (DARNLEY et al., 1995) e a Geologia Médica (SELINUS, 2003) se enrobusteceram nesse processo.

Bowie e Thornton (1985) mencionaram que os materiais ideais para avaliar o comportamento geoquímico dos elementos maiores, menores e traços no sistema pedosfera - biosfera, são o solo, os vegetais e os alimentos. Muito embora as águas

representam uma alternativa também, sofrem mudanças sazonais que dificultam a interpretação. Os autores consideram os sedimentos de corrente como uma alternativa somente no nível regional. Dependendo da sua concentração, os elementos químicos podem ser essenciais-benefícios ou tóxicos para plantas, animais e o homem. Alguns elementos como As, Cd, Hg, Ni e Pb apresentam maior tendência à toxicidade, já Co, Cu, Mo, S, Se, Si, Tl e Zn se apresentam como essenciais-benefícios para os seres vivos (CROUNSE et al., 1983; LICHT et al., 1997).

EDÉN (1994) destacou que a amostragem de baixa densidade para diversos materiais na Fennoscandia, apresentou distribuição similar à de amostragens mais densas, sendo as amostras compostas de microbacias, inertes a mineralização, que respondeu positivamente para a amostragem individual. FIGUEIREDO et al. (2012) mencionaram os aspectos toxicológicos e epidemiológicos do Pb, sendo descritos vários estudos de caso, chamando a atenção para a contaminação em sangue pelo metal em crianças e adultos.

Segundo BOWELL et al. (2014), ambientes ricos em arsênio associam-se a depósitos de minerais calcófilos (sulfetos) ou atividade geotérmica. No entanto, sedimentos e solos ricos em As também podem ocorrer por reciclagem superficial. A transformação biológica e a reciclagem do As podem levar à oxidação-redução de espécies mais móveis, incluindo metilação e desmetilação, que podem promover a transferência de As na cadeia alimentar, afetando a toxicidade ecológica.

Cartografia geoquímica

O termo “mapeamento geoquímico”, ganhou notoriedade na década de 90, com o lançamento do livro Azul, *the Blue book* (DARNLEY et al., 1995), contendo a compilação dos levantamentos geoquímicos no contexto mundial até esse momento, assim como, informações de base para amostragem, análise e interpretação de dados multi-elemento, envolvendo os principais especialistas do tema. A frase a seguir resume o processo: *Todo na Terra ou sobre ela, seja mineral, animal ou vegetal, é feito de um ou de uma combinação de 86 elementos químicos¹. Tudo o que cresce ou é construído depende da disponibilidade dos elementos apropriados. A existência, a qualidade e a sobrevivência da vida, depende da mistura desses elementos na proporção e combinação corretas. Devido a que os processos naturais e atividades humanas estão modificando continuamente a composição do nosso ambiente, é importante determinar a abundância e distribuição espacial dos elementos na superfície terrestre de maneira muito mais sistemática de como foi feito até o presente* (DARNLEY et al., 1995). Assim, se apresenta um mapa do mundo com uma grade de 5000 pontos ou celas, propostas como base para uma rede de referência geoquímica global.

¹ Al, Sb, Ar, As, Ba, Be, Bi, B, Br, Cd, Ca, C, Ce*, Cs, Cl, Cr, Co, Cu, Dy*, Er*, Eu*, F, Gd*, Ga, Ge, Au, Hf, He, Ho*, H, In, I, Ir, Fe, Kr, La*, Pb, Li, Lu*, Mg, Mn, Hg, Mo, Nd*, Ne, Ni, Nb, N, Os, O, Pd, P, Pt, K, Pr*, Pm*, Ra, Rn, Re, Rh, Rb, Ru, Sm*, Sc, Se, Si, Ag, Na, Sr, S, Ta, Te, Tb*, Tl, Th, Tm*, Sn, Ti, W, U, V, Xe, Yb*, Y, Zn e Zr. *REE.

A coleta de águas superficiais, sedimentos de corrente e/ou solos é recomendada para clima temperado pelo livro Azul. Os sedimentos de corrente (*stream sediments*) podem ser discriminados conforme o ambiente de deposição, sendo que, se trata de sedimentos finos, silto-argilosos ou argilo-siltosos, livres de seixos e de precipitados *in situ*, que ocorrem nos leitos dos cursos hídricos. Os *floodplain sediments*, ou sedimentos de várzea, são sedimentos aluviais acumulados nas margens de grandes rios, representativos de bacias hidrográficas com área superior aos 1000 km² e relevantes em escala continental ou global. Já os *overbank sediments* ou sedimentos transbordantes, ocorrem nas margens de cursos hídricos de baixa ordem, que correspondem a bacias pequenas, inferiores aos 100 km², sendo adequados para prospecção regional.

Darnley et al. (1995) também indicaram que 33% da superfície continental da Terra possui espectrometria Gamma aérea (K, Th e U) e 19% geoquímica convencional; sendo que existe pouca integração de informações, sejam elas relacionadas as técnicas analíticas, aos materiais amostrados ou aos elementos químicos analisados. Finalmente, Cu e Zn foram os únicos elementos sempre considerados. Destaca-se que, em 2022, um novo manual com recomendações atualizadas sobre a rede de referência geoquímica global, foi lançado, pela União Internacional de Ciências Geológicas (DEMETRADES et al., 2022).

Grã Bretanha elaborou vários atlas geoquímicos em diferentes escalas, envolvendo amostras de sedimentos de correntes e águas, para elementos maiores e traços (THORNTON, 1983). Os resultados foram assim resumidos: *As três grandes unidades geológico-geomorfológicas Britânicas apresentaram resposta geoquímica característica, sendo que, as feições mais contrastantes correspondem a unidade coberta por sedimentos devonianos e terciários, que se sobressai às outras, onde predominam rochas cristalinas mais antigas. Essas unidades controlam a variância geoquímica da água, dos solos e da vegetação com base nas feições das rochas basais. Porém, o controle pode falhar pelas condições de drenagem, pelos valores de Eh/pH ou por outros fatores. Co, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn são elementos essenciais para Agricultura, porém, Co, Cu, Mo e Zn, junto ao As, Cd, Cr, Ni e Pb podem se tornar prejudiciais, quando superados certos limiares. Além disso, Cd e Pb são indicadores de contaminação pela indústria e mineração.*

Prospecções geoquímicas regionais na Alemanha, no Canadá, na China, na Escandinávia, na Groenlândia e no País de Gales, cobriram territórios que vão desde 1000 km² até 5 milhões de km² (DAVENPORT, 1993). Em geral foram amostrados sedimentos de correntes, que foram comparados com amostras de cursos d'água, lagos ou tilitos (sedimentos glaciais), dependendo das características e necessidades dos países envolvidos. O número de elementos analisados variou entre 20 e 30, com densidades de amostragem de uma amostra por km² a uma amostra cada 30 km².

Aspectos geológicos e ocorrências minerais controlaram a variância geoquímica, mas problemas ambientais e doenças também foram evidenciados por associações geoquímicas específicas.

Tarvainen (1996) discutiu as aplicações ambientais das bases de dados geoquímicos da Finlândia, levando em consideração o teor de nutrientes em solos agrícolas e florestais, a acidificação dos solos, a ocorrência de elementos tóxicos na natureza, a composição das águas subterrâneas e de lagos, a influência de clorofenóis e micobactérias² em águas superficiais, a geoquímica urbana e aplicações com sistemas de informação geográfica (SIG). O autor destaca que praticamente todo o território nacional foi estudado por métodos geoquímicos, envolvendo amostras de águas, tilitos e plantas, no entanto, as informações geradas nem sempre influenciam as regulamentações legais. As concentrações de As, Cd, Cu, Ni, Pb e Zn em sedimentos de corrente, superam, em ocasiões, os níveis prejudiciais para a vida aquática, no entanto, estudos adicionais serão necessários para estabelecer considerações definitivas.

Segundo Lanciañese e Dinelli (2015), a distribuição de elementos químicos nos Apeninos de Romagna, norte da Itália, é controlada por múltiplos fatores. Diferentes abordagens de mapeamento apontam distribuições espaciais inesperadas, que são úteis para interpretar o efeito da geologia ou do impacto humano. E acrescentam: *Há diferenças claras na composição química do sedimento de fluxo derivado das três principais unidades geológicas com base nos domínios paleo-geográficos observados na área (domínios da Ligúria, Tosco-Umbro e Padano-Adriático).*

Segundo relatório técnico da CPRM (MARTINS, 2009), o Brasil cobriu aproximadamente metade do seu território com amostragens de sedimentos de corrente (44%), concentrados de bateia (36%), solos (20%) e rochas (19%) com densidade variando de 1 amostra cada 18 a 74 km². Os percentuais referem ao território Brasileiro coberto em cada caso, existindo sobreposição entre os diversos tipos de amostragem, com diversidade de elementos químicos, técnicas analíticas e limites de detecção, em grande parte devido às mudanças tecnológicas, pois o processo iniciou na década de 1950.

Filippini-Alba (1998) considerou 2172 amostras da prospecção geoquímica executada pela DINAMIGE, aplicando métodos estatísticos³, que foram sobrepostos com dados de sensoriamento remoto em uma área localizada ao sul de *Treinta y Tres*, capital do departamento do mesmo nome, no Uruguai, incluindo os fotoplanos *Gutierrez, José P. Varela, Pirarajá e Zapicán*, que denominaremos poligonal GPVZ. Foram amostrados quatro tipos de materiais: sedimentos de corrente, sedimentos

² Actinobactérias bacilares, aeróbicas obrigatórias, imóveis e altamente patogênicas

³ Cálculo de médias, variâncias, quartis e extremos, gráficos de dispersão e de caixa, mapas de círculos e interpolados, modelos de regressão e análise fatorial.

transbordantes, solos aluviais e solos residuais, sendo estes últimos os mais empobrecidos na perspectiva geoquímica. Os dados geoquímicos foram interpolados, transformados em camadas e sobrepostos às bandas de sensoriamento remoto (Landsat), conforme o capítulo 6.

Os dados de sensoriamento remoto possuem natureza complexa, devido a diversos fatores, como ocorrência de vegetação, textura do solo e atividade antrópica, sendo os grandes domínios geológicos evidenciados pela textura, mas sem contraste para feições pequenas, como por exemplo, os veios máficos, que não foram detectados; provavelmente, pela resolução das imagens de satélites usadas, com pixel de 30 m, tornando inviável a observação de objetos de dimensões inferiores aos 10 m (Figura 1).

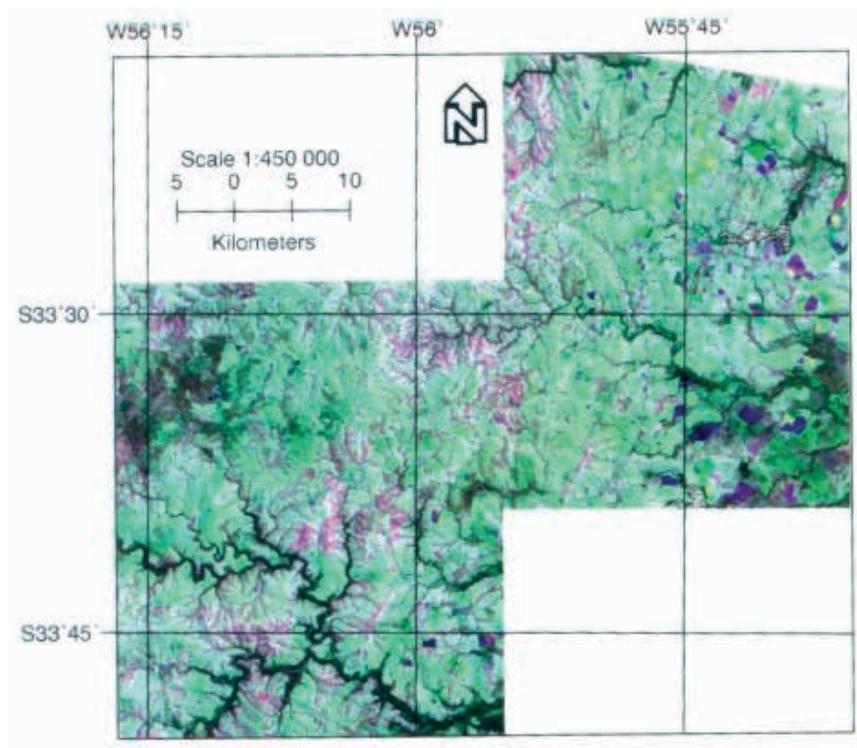


Figura 1. Imagem de satélite Landsat da poligonal GPVZ, Uruguai. Composição integrando óxidos-filosilicatos (red), vegetação (green) e feições morfológicas (blue), bandas processadas por Análise em Componentes Principais. Fonte: Filippini Alba (1998).

Na transição dos séculos XX e XXI surgiu a Geologia Médica, disciplina recente, que estuda a influência de aspectos geológicos e geoquímicos sobre a saúde humana (SELINUS, 2004).

Geologia Médica

Segundo Låg (1983), a expressão Geomedicina denomina a ciência que estuda a influência dos fatores ambientais na distribuição geográfica dos problemas patológicos e nutricionais em saúde humana e animal. Existe um antigo caso de doença óssea em gado na Noruega, atribuído à ocorrência de rochas empobrecidas em P, derivando essa deficiência para solos e pastagens.

Selinus (2004) mencionou dois casos históricos relacionados ao envenenamento por metais: (1) Marco Polo não conseguiu utilizar seus cavalos europeus nas montanhas da China, pois morriam devido ao contato com plantas venenosas. Recentemente, descobriram-se elevados teores de Se no local, elemento que teria provocado o envenenamento. (2) Paracelsus médico suíço, alquimista e filósofo do Renascimento Alemã, que viveu nos anos 1493 a 1541, definiu a lei básica da toxicologia: *Todas as substâncias são venenos.... A dose certa diferencia o veneno do remédio.*

Crounse et al. (1983) indicaram quatro casos bem registrados da relação causal entre a saúde humana e a abundância de elementos traço no ambiente circundante, ou seja nos solos, plantas, corpos da água e atmosfera: (1) Populações com solos deficientes em Iodo (I) mostram estatísticas elevadas de crescimento da tireoide; problema a ser minimizado pela adição de iodeto de Sódio, NaI, no sal de mesa. (2) Regiões com teores adequados de Flúor (F) na água de consumo apresentam 50% de redução da velocidade de decadência dentária, sendo que o excesso de F também gera problemas dentários (fluorose). (3) Solos empobrecidos em Selênio (Se) provocaram o desenvolvimento de uma peculiar miocardite em meninos chineses. (4) Toxicidade em Arsênio (As) ou câncer de pele afetaram taiwaneses que beberam águas de poços contaminados.

Låg (1991) confirmou casos semelhantes para o F e o I em regiões da Escandinávia, por exemplo, com a ocorrência de fluorose na Islândia, relacionada com emanações vulcânicas. Teores de Se abaixo de 0,025 ppm em grãos, em uma extensa faixa que atravessa a China na direção sudoeste – nordeste, sobrepunderam-se a áreas de ocorrência da doença de Keshan (cardiomiotipatia) e Kaschin-Beck (osteoartropatia) conforme apresentado por Tan et al. (1988 *apud* DARNLEY et al., 1995). Ng Jack et al. (2003) mencionaram um problema global na saúde provocado por As de fontes naturais. Foram registradas ocorrências em 14 países localizados em América do Sul e do Norte, Ásia e Europa, envolvendo milhões de pessoas afetadas pela ocorrência de águas subterrâneas e depósitos de carvão contaminados com o elemento.

Várias ciências utilizam os termos macro e micronutrientes, metal pesado e elemento essencial ou traço. Os primeiros são diferenciados por um fator de escala, já que, são necessários alguns miligramas por dia de micronutrientes para os seres vivos sobreviverem, no entanto, mais de 100 miligramas por dia de macronutrientes. Os *metais pesados* possuem peso atômico entre 63 e 200, densidade superior a 4 g.cm⁻³ e caráter metálico (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn...), metaloide (As, Sb, Te...) ou não metálico (Se). Além disso, sua disponibilidade é benéfica em pequenas quantidades para os organismos vivos, mas tornam-se tóxicos quando superados certos limiares.

O termo *traço* resulta confuso no contexto crosta terrestre - biosfera; implicando teores abaixo de 0,1%. No entanto, a confusão surge para elementos como o Si ou o Fe, cuja abundância na crosta varia entre 27 a 32% e 4 a 7% respectivamente (GOVETT, 1983), mas ambos são micronutrientes na biosfera.

Adriano (1986) definiu o conceito de elemento essencial para as plantas superiores, considerando três condições: (1) A ausência do elemento provoca crescimento anormal, falhas para completar o ciclo de vida ou senilidade prematura e morte. (2) O efeito deve ser específico e o elemento insubstituível. (3) O efeito deve ser direto em alguns aspectos do crescimento ou do metabolismo. Conceitos semelhantes aplicam-se à nutrição animal. O autor destacou o caráter dual de As, Co, Cr, Cu e F, fato explicado pela concentração ou pela espécie química envolvida (Cr^{+6} é altamente tóxico, mas Cr^{+3} tem baixa toxicidade). O caráter fitotóxico de Mn se confere para solos ácidos ($\text{pH} < 5$). As, Be, Cd, Co, Cr, Ni, Ti e V são potenciais cancerígenos, enquanto que Au, Br e Li já foram usados em tratamentos terapêuticos.

O levantamento geoquímico de baixa densidade do estado de Paraná para águas superficiais, incluiu 28 elementos químicos ou ânions, condutividade elétrica e pH (LICHT et al., 1997). Foram apontadas áreas com teores elevados de elementos tóxicos ou prejudiciais ao homem, viabilizando uma gestão eficiente, na tentativa de minimizar ou erradicar fatores de risco e propagação de doenças.

Lahermo et al. (1990) publicaram o atlas hidrogeoquímico da Finlândia, envolvendo águas emergentes, poços cavados e rochas, para diversas espécies químicas. De forma semelhante, Koljonen (1992) publicou o atlas geoquímico da Finlândia para tilitos.



C A P Í T U L O 2

PRECISÃO DOS DADOS

A coleta de duplicatas, permite avaliar a variância interlocais ou geoquímica, de amostragem e analítica (Tabela 1). Filippini-Alba (1998) considerou 29 replicadas de amostragem, amostras separadas 100-200 metros, sendo 16 delas, também processadas como duplicatas analíticas. Essas duplicatas correspondem a material peneirado e homogeneizado simultaneamente, com divisão posterior, analisadas individualmente.

Tabela 1. Parâmetros da ANOVA focando a precisão analítica e de amostragem dos dados geoquímicos do Uruguai. VIL, VAM, VAN = Variância interlocais, de amostragem e analítica em % (Filippini-Alba, 1998).

Variável	Amplitude	F1	F2	VIL	VAM	VAN
Fe, %	1-5	5,2	193	66	34	0,2
Mn, ppm	149-3265	3,9	24	57	41	2
P, ppm	106-636	2,0	52	32	67	2
Ag, ppm	0-0,2	0,7	6	NSA	93	23
As, ppm	0-17	2,6	2	40	17	43
B, ppm	0-18	3,8	3	55	26	18
Ba, ppm	362-1075	3,3	150	51	48	0,4
Be, ppm	0-3	3,3	3	50	31	18
Cd, ppm	0-1	5,4	1	62	NSA	49
Co, ppm	3-25	2,2	23	36	61	3
Cr, ppm	12-79	3,5	31	53	45	2
Cu, ppm	9-32	15,0	2	73	21	5
Mo, ppm	0-2	1,7	1	19	NSA	122
Nb, ppm	0-5	1,4	6	14	69	17
Ni, ppm	4-46	3,6	15	54	42	4
Pb, ppm	0-33	3,1	6	49	42	10
Sb, ppm	0-4	5,1	1	62	0	38
Sn, ppm	0-18	3,5	1	50	8	42

V, ppm	31-97	2,5	23	41	56	3
W, ppm	0-6	2,7	1	41	14	45
Y, ppm	11-66	1,4	60	15	83	2
Zn, ppm	32-106	8,9	4	78	16	6

Fe, Mn, B, Ba, Be, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn mostraram a variância interlocais (VIL) superior a variância de amostragem (VAM) e a variância analítica (VAN) inferior a 20%. As, Cd, Mo, Sb, Sn e W apresentaram variância analítica (VAN) acima de 35%. Sendo que, dois deles, Cd e Mo, junto com Ag, apresentaram valores negativos; assim, resultados pouco confiáveis. P, Co, Nb, V e Y apresentaram VAM superior a VIL, o que sugere erro metodológico. Filippini Alba (1992) considerou a variabilidade de Fe, Mn, P, B, Ba, Be, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Y e Zn adequadas por terem VAN inferior a 20%. Ag, As, Cd, Mo, Sb, Sn e W apresentaram VAN acima de 20%.

Para ter uma visão aprimorada da precisão analítica foram consideradas 69 replicatas de amostragem coletadas nas folhas *Aigua*, *Alferez*, *Carapé*, *Las Cañas* e *Mariscala*, nas proximidades da cidade de Minas, departamento de *Lavalleja*, assim como nas folhas *Cerro de las Cuentas*, *Isla Patrulla*, *Pavas*, *Puntas del Yerbal* e *Valentines* nos arredores da cidade de *Treinta y Tres*, departamento de *Treinta y Tres*. Algumas variáveis apresentaram coeficientes de variação elevados para as replicatas, com média de 241%, sendo elas Ag (431%), As (121%), Cd (583%), Cr (135%), Mo (213%), Nb (182%), Ni (235%), Sb (215%), Sn (103%) e W (190%). Já as restantes variáveis apresentaram coeficiente de variação médio de 51%, sendo Zn o menor valor (27%) e Pb o maior (69%) com Be (68%) e Co (67%) muito próximos. As diferenças absolutas médias entre replicatas, as médias e o erro médio (EM) são apresentados na Tabela 2. Observa-se que Ag, As, Cd, Mo, Pb, Sb, Sn e W apresentaram EM superior a 50%. Valores intermediários corresponderam a B, Be, Co e Mn. Já Fe, P, Ba, Cr, Cu, Nb, Ni, Y, V e Zn com EM variando no intervalo 9% a 34% e média de 17%, apresentam precisão adequada para estudos prospectivos ou de reconhecimento ambiental global.

Tabela 2. Diferença média entre replicatas (DMR), média das replicatas e erro médio, EM = 100.DMR/Média, considerando 69 pares de replicatas de amostragem no Uruguai.

Variável	DMR	Média	EM
Fe ₂ O ₃ , %	0,79	5	16
Mn, ppm	264	998	<u>27</u>
P, ppm	67	367	18
Ag, ppm	0,007	0,007	100
As, ppm	3	4	76
B, ppm	3	7	<u>39</u>
Ba, pppm	64	586	11
Be, ppm	1	2	<u>42</u>
Cd, ppm	0,043	0,029	150
Co, ppm	4	12	<u>30</u>
Cr, ppm	5	47	10
Cu, ppm	4	17	21
Mo, ppm	0,17	0,2	71
Nb, ppm	3	2	9
Ni, ppm	6	29	13
Pb, ppm	6	12	54
Sb, ppm	1	0,6	150
Sn, ppm	4	4	97
Y, ppm	8	24	<u>34</u>
V, ppm	13	73	18
W, ppm	1,70	2	97
Zn, ppm	10	66	14
Unidade	Idem	Idem	%

Assim, Ag, As, Cd, Mo, Sb, S, e W apresentaram VAM ou VAN acima de 38% e EM superior a 70%. Trata-se de elementos cujas concentrações apresentam-se repetidamente abaixo do limite de detecção. Um conjunto intermediário seria Co, Cr, Ni, V e Y com VAM acima de 42% e EM acima de 34%, Be e Be com EM de 39-42%, Nb com VAM de 69% e Pb com VAN de 42% e EM de 54%. Ba, Fe, Mn, P, Cu e Zn teriam os resultados mais confiáveis.



CAPÍTULO 3

GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS DE CORRENTE

Em Uruguai foram coletadas mais de 30mil amostras de sedimentos de corrente e solos (amostragem alternativa) pelo Programa *Inventario Minero*, sendo o domínio geológico *Grupo Lavalleja* (Neoproterozoico), o principal alvo de investigação. Prospectaram-se 27 fotoplanos no departamento de *Lavalleja*, cinco na *Isla Cristalina*, departamento de *Rivera*, quatro nos departamentos de *Colonia* e *San José* e finalmente a folha *Paso del Puerto* no departamento de *Soriano*, 37 folhas no total (Figura 2).

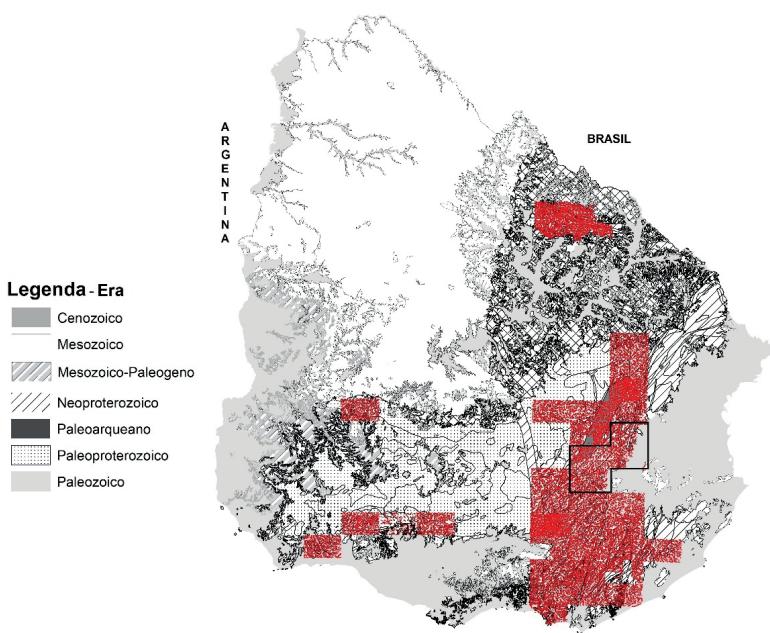


Figura 2. Áreas cobertas por amostragem de sedimentos de corrente em Uruguai, década de 80s, projeto DINAMIGE (Uruguai) – BRGM (França). A poligonal GPVZ inclui os fotoplanos Gutiérrez (folha centro-leste), Pirarajá (folha sul), José P. Varela (folha norte) e Zapicán (folha centro-oeste).

A Poligonal GPVZ é referência pelo acúmulo significativo de informação geoquímica (FILIPPINI ALBA, 1998). Sua geologia inclui principalmente rochas do Proterozoico, onde ocorrem três indícios de minerais de base e uma pretérita mina de Ouro (Figura 3).

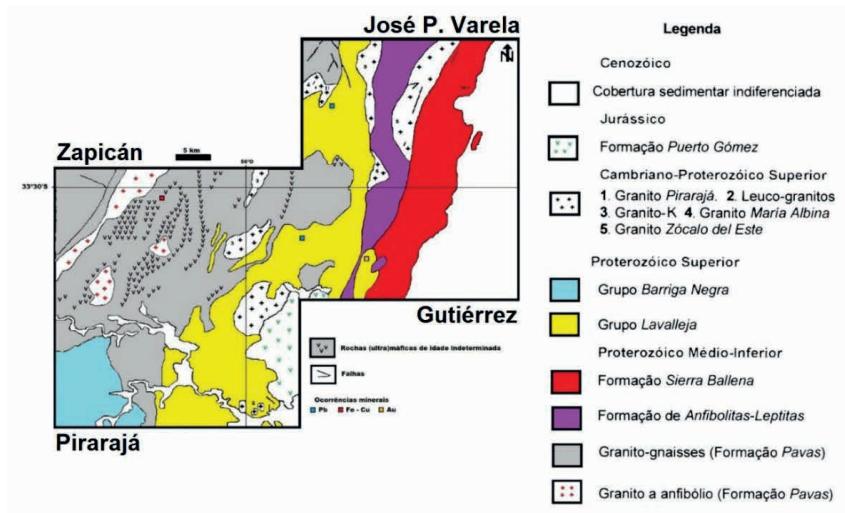


Figura 3. Mapa geológico da Poligonal GPVZ e ocorrências de minerais metálicos conhecidas.

Em termos de resultados e considerando, em geral, estudos de um fotoplano cada vez, com 600 – 700 amostras, foram interpretadas 480 anomalias, sendo 43% de natureza pontual, ou seja, de uma única amostra. Filippini-Alba (2025) interpretou 77 anomalias multielemento e 409 anomalias uni-elemento, processando de maneira conjunta 26786 amostras.

A estatística foi amplamente utilizada em prospecção geoquímica e estudos ambientais (HOWARTH, 1983), devido ao acúmulo de dados multielemento. Uma das principais aplicações inclui procedimentos univariados para a diferenciação das anomalias em relação ao teor de fundo ou *background* geoquímico, por meio do uso de histogramas de frequência e estatísticas convencionais, supondo comportamento log-normal (Lepeltier, 1969; Miesch, 1981; Sinclair, 1989). Na prática, podem ocorrer grupos de amostras com respostas geoquímicas diferenciadas para uma dada variável, derivando em comportamento multimodal.

De maneira genérica, o teor de fundo pode ser avaliado como a média ou a mediana de uma população geoquímica. No entanto, diversos autores concordam sobre a necessidade de processar espacialmente os dados, considerando não somente médias regionais para representar o *background*, mas também efeitos locais (CHORK;

GOVETT, 1979; SINCLAIR, 1989; ROQUIN; ZEEGERS, 1987; CHENG et al., 1996) ou a aplicação de procedimentos multivariados e de estatística robusta (ZHOU, 1985; GARRETT, 1989). Esses procedimentos permitem estabelecer associações multi-elemento ou definir grupos de amostras de comportamento homogêneo, sendo que a estatística robusta usa métodos que identificam ou eliminam as *outliers*, ou seja, amostras afastadas ou inconsistentes em relação à população toda.

A polêmica envolvendo os métodos estatísticos uni - variados para a definição de anomalias representa um assunto de interesse nos contextos da prospecção mineral e aplicações ambientais. No entanto, vários autores destacam a necessidade de se trabalhar com uma distribuição N - normal, no caso multivariado, e não com N distribuições normais (AFIFI; AZEN, 1972; GARRETT, 1989), sendo N o número de variáveis consideradas. Nesse sentido, é essencial descartar as outliers, de maneira a se obter uma população de amostras mais sensível em relação à resposta dos métodos multivariados (ALECRIM; ROYER, 1991; FILIPPINI-ALBA et al., 1998).

Estatísticas básicas de sedimentos de corrente

Na Tabela 3 são apresentadas as estatísticas básicas de boa parte das amostras levantadas em Uruguai no contexto de geoquímica estratégica ou regional (Programa *Inventario Minero*). As variáveis foram identificadas pelo símbolo do elemento ou composto geoquímico envolvido, sendo utilizado o dígito “0” (zero) quando o valor do limite de detecção foi considerado nulo. Assim, Ag apresenta o valor 0,2 como mínimo (limite de detecção) e Ag0 apresenta o valor 0 (zero), etc. Observa-se que somente 116 amostras (0,4% das amostras) superaram o valor nulo para essa variável e a média foi 0,201 ppm para a Ag e 0,001 para Ag0. Assim, a média real de Ag será um valor localizado entre 0,001 ppm e 0,201 ppm.

Cd, Mo, Sb, Sn e W também são elementos com um número muito baixo de amostras acima do limite de detecção, algo menor ou igual a 0,5% da população amostrada. Já elementos como As, B e U ocorreram, acima do limite de detecção, em percentuais maiores, 18%, 15% e 3% respectivamente, no entanto observa-se mudanças drásticas no valor da média ao anular as amostras inferiores ou iguais ao limite de detecção para As e B. Outros elementos também mostram essa diferenciação, como Ni e Pb, mas com menor discriminação entre as respectivas médias. Nos restantes casos não se considerou a variável “0”, pois afetava muito pouco as estatísticas.

Tabela 3. Estatísticas básicas das amostras de sedimentos de corrente do programa *Inventario Minero*. DP = Desvio Padrão; ppb/ppm = partes por bilhão/milão.

Variável	Min	MEDIA	Max	DP	> 0	>0 %	Unidade
Ag	0,2	0,201	1,4	0,0002	27449	100	ppm
Ag0	0	0,001	1,4	0,0006	116	0,4	ppm
As	20	22	453	57	27449	100	ppm
As0	0	6	453	185	4954	18	ppm
Au*	20	20	180	5	1051	100	ppb
Au0	0	0,3	180	6	5	0,5	ppb
B	10	12	58	15	27449	100	ppm
B0	0	2	58	27	4212	15	ppm
Ba	53	568	6300	54144	27449	100	ppm
Be	1	2	22	2	27449	100	ppm
Be0	0	2	22	3	16653	61	ppm
Cd	1	1	3	0,002	27449	100	ppm
Cd0	0	0,004	3	0,008	53	0,2	ppm
Co	10	14	953	82	27449	100	ppm
Co0	0	10	953	144	15561	57	ppm
Cr	10	41	1980	1968	27449	100	ppm
Cu	10	21	532	135	27449	100	ppm
Fe ₂ O ₃	0,5	4	22	3	27449	100	%
Mn	44	918	20000	529049	27449	100	ppm
Mo	2	2	10	0,02	27449	100	ppm
Mo0	0	0,014	10	0,05	105	0,4	ppm
Nb	10	19	335	182	27449	100	ppm
Nb0	0	13	335	315	10610	39	ppm
Ni	10	21	1033	580	27449	100	ppm
Ni0	0	17	1033	674	18162	66	ppm
P	28	347	3614	33188	27449	100	ppm
Pb	10	18	406	86	27449	100	ppm
Pb0	0	16	406	137	21439	78	ppm
Sb	20	20	24	0,0006	27449	100	ppm
Sb0	0	0,001	24	0,02	1	0,004	ppm
Sn	20	20	77	0,4	27449	100	ppm
Sn0	0	0,120	77	3	125	0,5	ppm
U	0	0,016	9	0,02	752	3	ppm
V	10	65	430	568	27449	100	ppm

W	10	10	26	0,05	27449	100	ppm
W0	0	0,023	26	0,3	44	0,2	ppm
Y	5	26	802	283	27449	100	ppm
Y0	0	26	802	283	27435	100	ppm
Zn	10	64	750	546	27449	100	ppm

Distribuição de frequências

Filippini Alba (1998) mencionou que Cu, Fe_2O_3 (Figura 4), Mn (Figura 5), V (Figura 6) e Zn apresentam distribuições semelhantes para escala logarítmica.

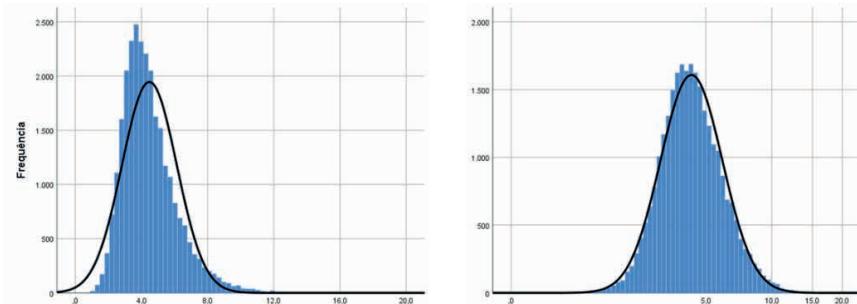


Figura 4. Histograma do Fe_2O_3 em escala convencional (esquerda) e logarítmica (direita).

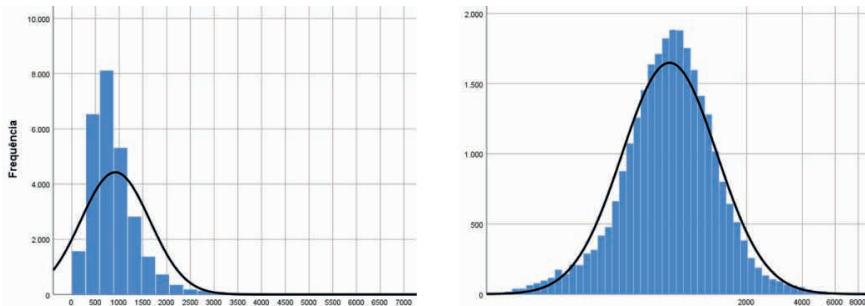


Figura 5. Histograma do Mn em escala convencional (esquerda) e logarítmica (direita).

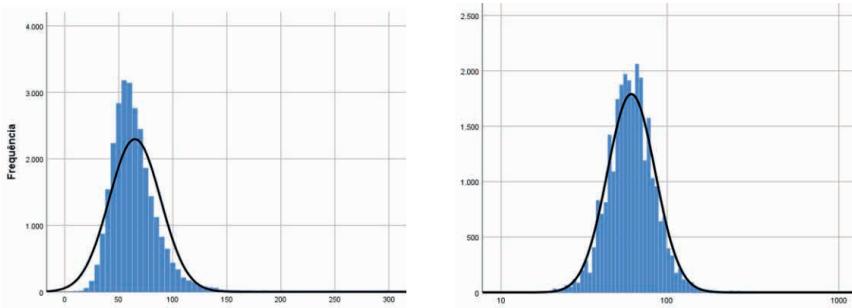


Figura 6. Histogramas do V em escala convencional (esquerda) e logarítmica (direita).

Elementos como Ni (Figura 7) e Pb (Figura 8) mostram distribuições mais deformadas e com menor ajuste aos modelos teóricos.

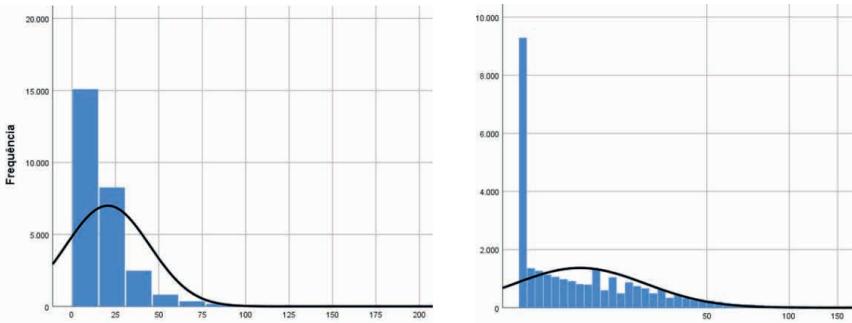


Figura 7. Histogramas do Ni em escala convencional (esquerda) e logarítmica (direita).

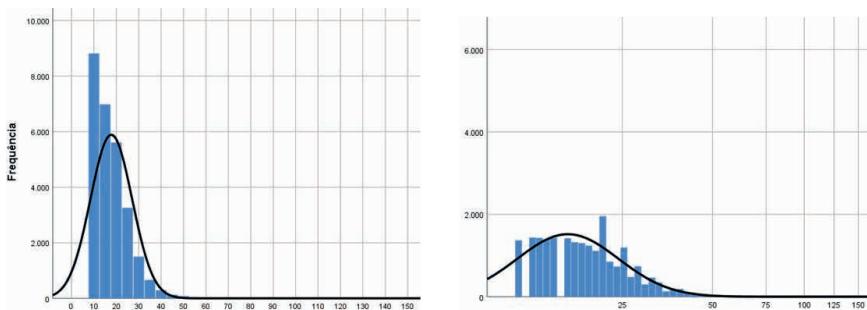


Figura 8. Histogramas do Pb em escala convencional (esquerda) e logarítmica (direita).

Ba, Co, Cr, P e Y reiteram comportamentos próximos ao de Ni e Pb, ou seja distribuições deformadas em ambas as escalas, com significativa quantidade de amostras afetadas pelo limite inferior de detecção (Figuras 7 e 8).

Materiais Amostrados

Em levantamentos geoquímicos regionais, são coletados materiais diferentes (rochas, solos, sedimentos, águas, etc.) que apresentam respostas específicas em cada caso. Por exemplo, nos terrenos cristalinos do Uruguai, os solos mostraram-se empobrecidos em relação aos sedimentos, com respeito a alguns elementos químicos (Tabela 4). Como as amostras encontram-se espacialmente entremisturadas, o efeito deve ser corrigido se os dados são trabalhados de maneira integrada. Uma maneira de efetuar essa correção é expressar a concentração como porcentagem da mediana de cada grupo classificado em função da matriz de amostragem.

Tabela 4. Medianas de elementos selecionados (concentração em $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) para diferentes matrizes de amostragem, considerando dados de prospecção geoquímica regional no cristalino uruguai (Filippini-Alba, 1998).

Material	Amostras	Mn	Ba	Cr	Pb	V	Zn
Sedimentos em leito	34	799	531	30	13	58	54
Sedimentos em terraços	1933	893	515	32	13	63	57
Solos aluviais	176	722	437	25	11	53	47
Solos <i>in situ</i>	29	550	390	19	10	47	38

Fonte: Filippini-Alba (1998)

Subpopulação, anomalia e outlier

Um grupo de amostras com comportamento geoquímico característico e homogêneo, por exemplo, com teores diferenciados em relação ao restante da população para certos elementos, pode ser definido como uma subpopulação. Dependendo da distribuição espacial das amostras e a área abrangida, essa subpopulação poderá caracterizar uma anomalia regional, uma anomalia local ou outro tipo de fenômeno. As anomalias regionais estão espacialmente relacionadas com formações geológicas e as anomalias locais, com a ocorrência de mineralizações ou litologias específicas (anomalia litológica).

Em prospecção geoquímica são valorizadas as amostras enriquecidas em relação à população toda (anomalias positivas). Porém, existem situações de empobrecimento, deficiência, isto é, anomalias negativas (SHACKLETTE et al., 1970). Neste último caso, um exemplo no contexto ambiental são os baixos teores de Selênio em solos Chineses, antes mencionado.

Voltando aos conceitos estatísticos, as *outliers* são definidas como amostras com comportamento afastado ou inconsistente em relação à população total (AFIFI; AZEN, 1972). Deve-se considerar que toda anomalia geoquímica (positiva ou negativa) é uma *outlier*, no entanto, a recíproca não é válida. Por exemplo, uma sucessão de erros analíticos ou metodológicos poderá conduzir à geração de *outliers*. Jollife (1986) sugere o uso de diagramas de dispersão para discriminar as *outliers*, como exemplificado na Figura 9.

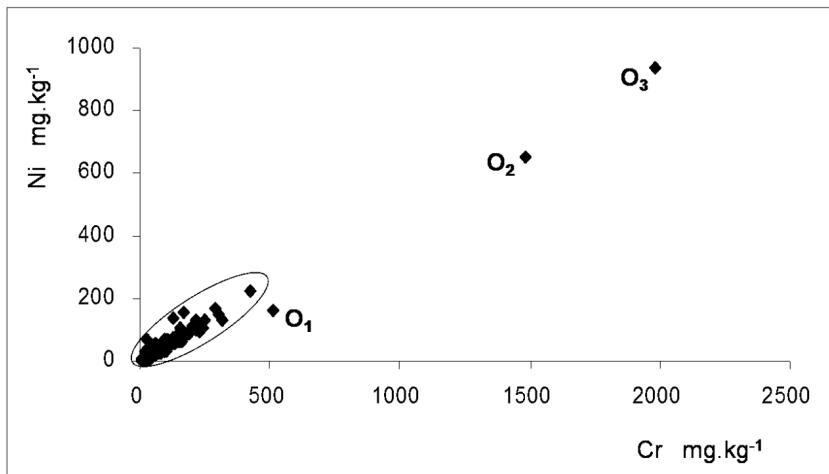


Figura 9. Diagrama de dispersão Cr–Ni para 1935 amostras de sedimentos em terraços do cristalino uruguai (Filippini-Alba, 1998).

Observa-se uma excelente correlação entre as diversas amostras, com coeficiente de correlação de Pearson igual a 0,981. Porém, considerando as amostras interiores à elipse como o comportamento padrão, podem ser discriminadas três *outliers*, O₁, O₂ e O₃. O₁ posiciona-se próxima da subpopulação padrão (*background*) e deforma o padrão de linearidade. É uma outlier difícil de discriminar por métodos univariados convencionais (histogramas), sendo denominada *outlier de escala e orientação*. O₂ e O₃ encontram-se bastante afastadas em relação ao *background* (elipse), mas alinhadas, ou seja, sem reduzir o grau de correlação, e assim, são denominadas *outliers de escala*.

Ao eliminar O₂ e O₃, o coeficiente de correlação de Pearson cai para 0,936. Ao eliminar também O₁, ou seja, considerando apenas a subpopulação *background*, o coeficiente de correlação fica em 0,941. Quando a população *background* não apresenta linearidade, as *outliers* devem ser analisadas com cuidado, pois dependendo do seu grau de afastamento em relação à subpopulação *background*, esta é avaliada como um ponto único ao efetuar o cálculo do coeficiente de correlação, podendo resultar em uma falsa correlação.

A introdução de razões geoquímicas nos diagramas de dispersão permite realçar a variabilidade das populações, procedimento utilizado com frequência em estudos litoquímicos (ROLLINSON, 1993). No caso da Figura 10, diagrama de dispersão V versus Zn/Pb, foram diferenciadas três subpopulações, identificadas com elipses (A, B e C). Algumas amostras sugerem comportamento de transição (interseções entre elipses), mas, ainda assim, diferenciam-se claramente das *outliers* (O_A e O_C).

Ao generalizar os conceitos expostos acima para o caso multivariado, é de esperar um aumento da complexidade, com o incremento do número de subpopulações e *outliers*. As últimas prejudicam a aplicação dos procedimentos multivariados e devem ser eliminadas. A transformação logarítmica poderá amenizar a situação, mas não representa solução definitiva ao problema. De maneira adicional ao uso dos métodos gráficos, há procedimentos multivariados de identificação de *outliers*, como por exemplo, por meio da distância de Mahalanobis (AFIFI; AZEN, 1972; GARRETT, 1989) ou das componentes principais (JOLLIFFE, 1986). No caso da ocorrência de várias subpopulações, elas devem ser identificadas e processadas de maneira independente.

Formas diferentes de interpretação da informação derivaram da estatística robusta, como no caso dos gráficos de box (Tukey, 1977). Na Figura 11, a distância entre o primeiro e o terceiro quartis é representada por uma caixa (box) e a mediana é a linha horizontal interna. Os extremos de cada grupo, são avaliados em função da distância interquartis (I). Os círculos e asteriscos são *outliers* que superam 1,5 e 3 vezes a distância interquartis, respectivamente. Existe uma diferença significativa entre o diagrama de box do Ni (Figura 11) e o do Pb (Figura 12). O Ni está localmente enriquecido para os Arenitos-GBN, os Veios Máficos, os Anfibolitos – FP, as Ultramáficas – FP e o Granito à Anfibólito – FP, litologias com minerais maficos pela composição das rochas de origem, exceto os Arenitos-GBN. Em concordância, empobrecimento para os Gnaisses-FP. O Pb apresenta enriquecimento para os Granito Maria Albina e o Granito – K (Potássico), para FAL e de maneira secundária para o Granito ZE. O comportamento de ambos elementos é contrastante.

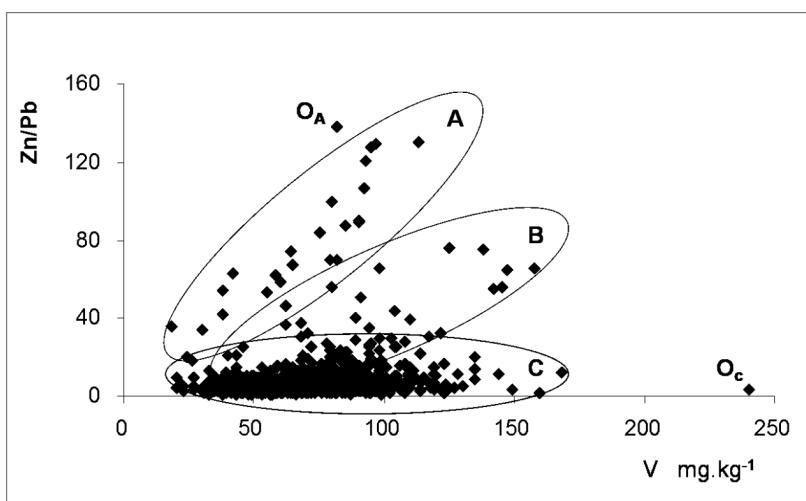


Figura 10. Diagrama de dispersão V–Zn/Pb para 1935 amostras de sedimentos em terraços no cristalino uruguai (Filippini-Alba, 1998).

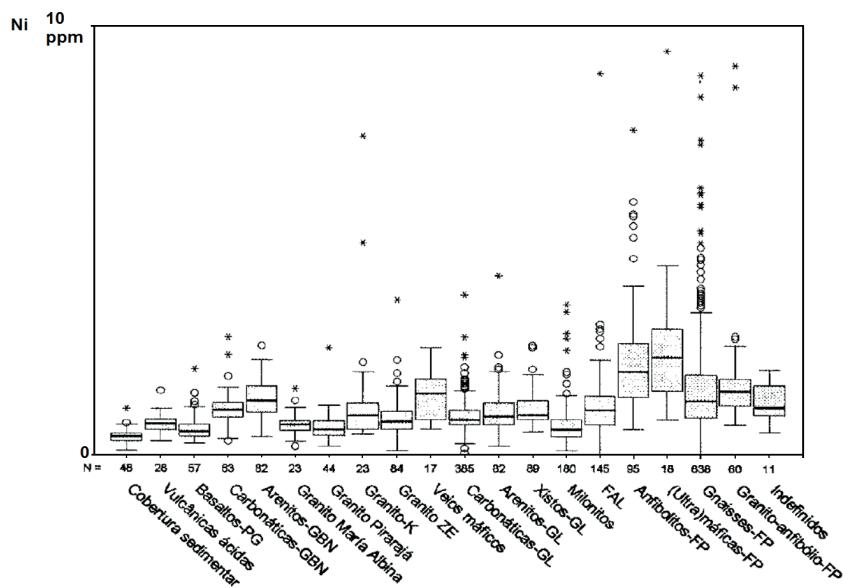


Figura 11. Gráfico de box para Ni em sedimentos de corrente, na Poligonal GPVZ em função da litologia (Tabela 5), com correção pela mediana de cada litologia (FILIPPINI ALBA, 1998). FAL = Formação de Anfibolitas-Leptitas (Fesefeldt et al., 1988), FP = Formação Pavas, GBN = Grupo Barriga Negra; GL = Grupo Lavalleja; N (eixo X) = número de amostras; 2172 amostras totais.

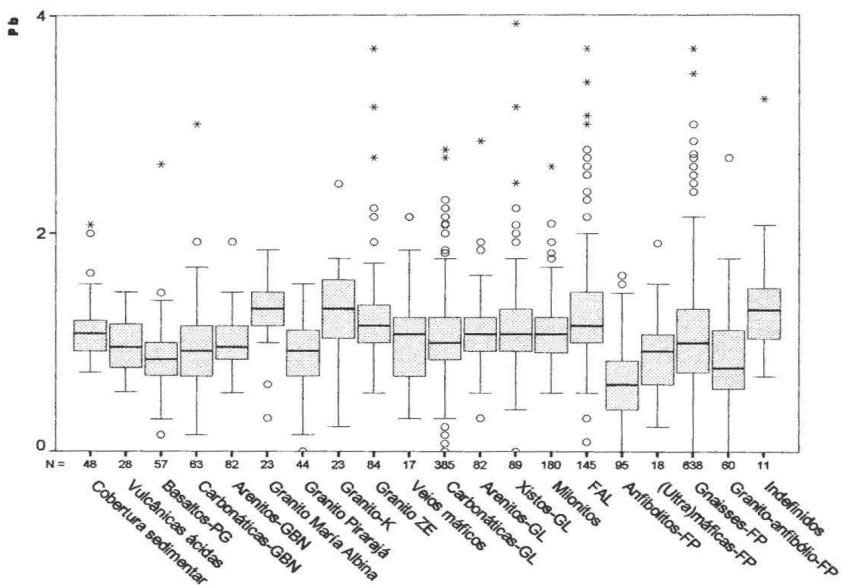


Figura 12. Gráfico de box para Pb em sedimentos de corrente, na Poligonal GPVZ em função da litologia (Tabela 5), com correção pela mediana de cada litologia (FILIPPINI ALBA, 1998). FAL = Formação de Anfibolitas-Leptitas (Fesefeldt et al., 1988). FP = Formação Pavas, GBN = Grupo Barriga Negra; GL = Grupo Lavalleja; N (eixo X) = número de amostras; 2172 amostras totais.

Métodos multivariados como a análise em componentes principais (CPs) ajudam na interpretação da informação. Ao relacionar as CPs com a geologia se observou que foi explicada 68%, 61% e 71% da variância total associada aos granitos, às rochas vulcâno-sedimentares e aos granito-gnaisses/rochas maficas, respectivamente (Tabela 10).

A componente principal 1 (CP1) foi semelhante para os granitos e as rochas vulcâno-sedimentares, mas, houve mudanças para os granito-gnaisses/máficas, com a participação do fósforo, a ausência do bário e a oposição do Pb. De qualquer forma, em todos os casos, a associação expressa pela CP1 parece estar associada à ocorrência de óxidos de Fe-Mn, provavelmente, derivados dos minerais maficos incorporados às rochas de origem e trata-se, sem dúvida, de um efeito regional relacionado ao background. O chumbo aparece sempre associado à CP3, sugerindo a existência de outro fenômeno geológico/mineralógico no controle da sua variância.

Tabela 10. Exemplo de resultados da análise de componentes principais, considerando dados geoquímicos multielemento de sedimentos de corrente oriundos de rochas do Proterozoico do Uruguai, classificados em função do domínio geológico predominante.

Litotipo associado	NA	CP	VEX	Variáveis com loading > 0,35
Granitos	172	1	46%	Fe, Mn, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Y, Zn
		2	12%	Fe, Mn, -P, Co
		3	10%	Mn, P, -Pb, -Y
Soma			68%	
Rochas Vulcano-sedimentares	556	1	37%	Fe, Mn, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Y, Zn
		2	13%	Mn, P, -Cr, -V, Zn
		3	11%	P, -Pb
Soma			61%	
Granito-gnaisse/máficas	782	1	45%	Fe, Mn, P, Co, Cr, Cu, Ni, -Pb, V, Y, Zn
		2	15%	P, Ba, -Cr, -Ni,
		3	11%	Mn, Co, Pb, -Y
Soma			71%	

NA = número de amostras; CP = componente principal; VEX = Variância explicada.

Nota: O sinal negativo significa carga negativa, ou seja, comportamento oposto do elemento em relação à CP e aos elementos positivos (aqueles sem sinal).

O mapeamento de variáveis geoquímicas, por mapas de círculos ou interpolados, permite a análise espacial dos dados e a sobreposição com outros níveis de informação, visando a interpretação dos fenômenos geológicos associados. Na Poligonal GPVZ a geologia (Figura 3) sobrepõem significativamente ao fator 1¹ o que explica 47% da variância total e representa uma associação Fe-Cr-Co-Cu-Ni-V-Y-Zn, sendo interpretada como o *background* regional (Figura 13).

^{1@} Derivado da Análise em Componentes Principais, método estatístico-matemático de redução de variáveis.

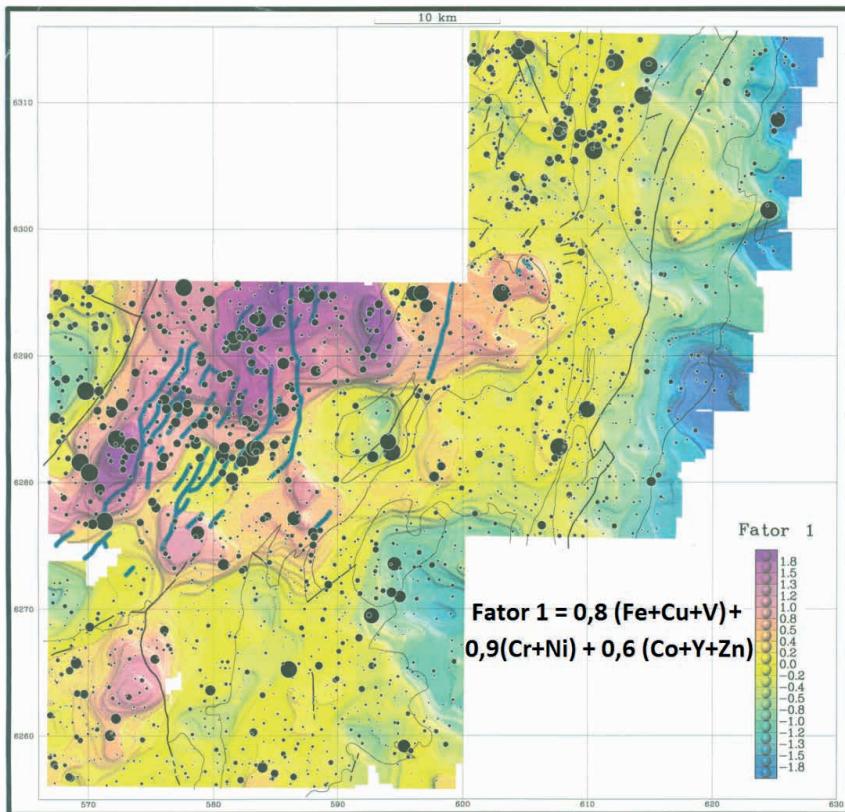


Figura 13. Mapa de círculos da distância de Mahalanobis sobre o mapa interpolado do fator 1, por inverso do quadrado da distância, na Pologonal GPVZ, Uruguai. Os traços finos e grossos representam as principais feições geológicas da área (Figura 3). Fonte: mapa inédito SGF (1996).

A distância de Mahalanobis é a raiz quadrada do resultado da pré e pós-multiplicação da matriz de variância-covariância de N variáveis pelo vetor diferença do valor de cada variável com a respectiva média (GARRETT, 1989), sendo sensível à detecção de *outliers* e/ou anomalias multivariadas. Os tons azul-esverdeados à Leste caracterizam a cobertura sedimentar, com baixa amostragem. Já a cor amarela representa principalmente, o Grupo Lavalleja e a formação de Anfibolitas-Leptitas (FAL). Os tons roxo-rosáceos mapeiam as rochas máficas (linhas azuis), a formação Pavas e no extremo SE, de maneira mais discreta, o grupo Barriga Negra. Os valores elevados da distância de Mahalanobis (círculos) parecem concentrar-se ao redor ou nas bordas dos granitos e sobre as rochas máficas.

Continuando nessa linha de raciocínio, se apresenta a distribuição dos teores de Cu, Pb e Ni conforme mapas de círculos, nas Figuras 14 a 16, sobrepostos a geologia abreviada do Uruguai.

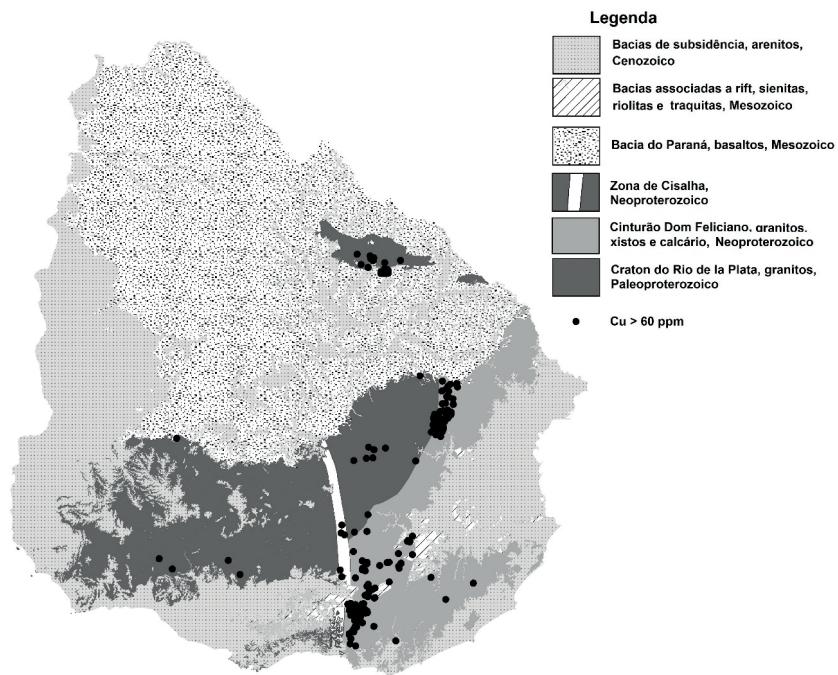


Figura 14. Teores de Cu acima de 60 ppm no contexto geológico do Uruguai.

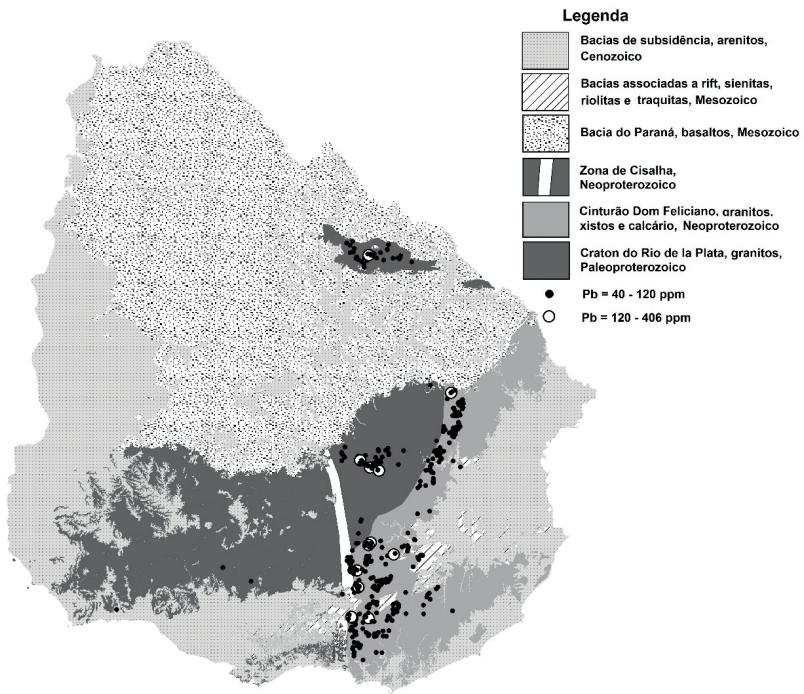


Figura 15. Teores de Pb anômalos discriminados por intervalos no contexto geológico do Uruguai.

Para Cu (Figura 14) e Pb (Figura 15), praticamente todas as anomalias estão associadas ao Craton do Rio de la Plata e ao Cinturão Dom Feliciano. No caso do Pb, dada a maior discriminação, os círculos vazios parecem indicar os principais setores de mineração do país. O Ni (Figura 16) sempre foi associado a rochas máficas e ultramáficas. Parece existir uma sobreposição com a borda do Craton do *Rio de la Plata* limítrofe ao Cinturão Dom Feliciano. Existe certa semelhança com a distribuição das anomalias de Cu.

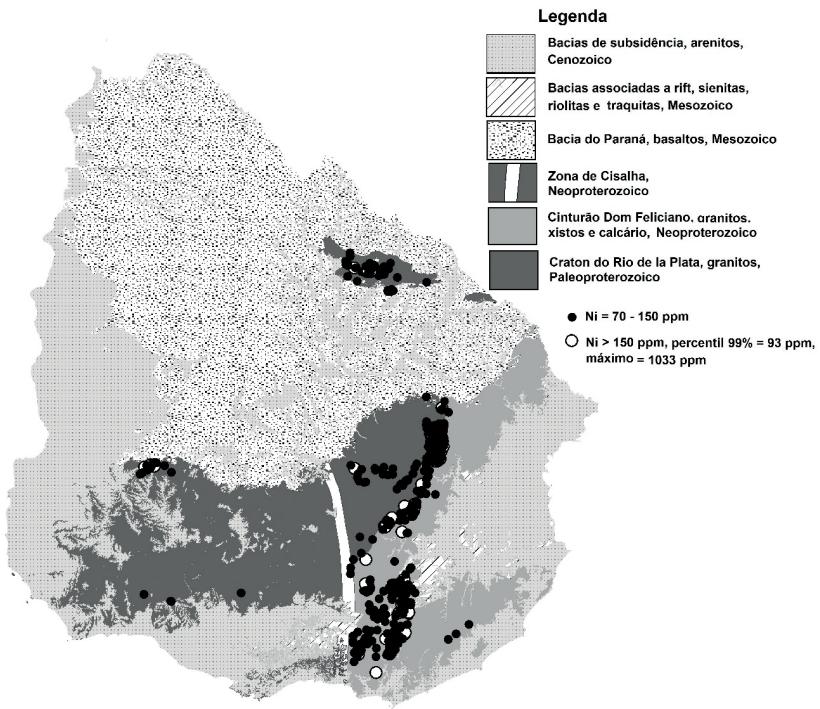


Figura 16. Teores de Ni anômalos discriminados por intervalos no contexto geológico do Uruguai.



C A P Í T U L O 4

LITO GEOQUÍMICA DOS TERRENOS PRECAMBRIANOS

O programa *Inventario Minero*, amostrou mais de 30mil amostras de sedimentos de corrente e solos, com os primeiros como material preponderante, nos terrenos Pré-cambrianos de Uruguai e foram realizados os esboços geológicos da maior parte das folhas prospectadas, no entanto, dados litogegeoquímicos foram escassos. Ainda assim, é possível classificar as amostras coletadas em função do mapeamento geológico, para estabelecer, de maneira aproximada, a associação geologia x geoquímica (Filippini-Alba, 2022). Nos últimos anos, os pretéritos dados geoquímicos do Uruguai foram organizados e sistematizados, permitindo considerar 26786 amostras de sedimentos de corrente simultaneamente para estudos estatísticos e análise da geologia associada (Filippini-Alba, 2025).

Na Tabela 8 se descrevem de maneira sucinta as principais unidades geológicas dos terrenos Pré-cambrianos de Uruguai com amostragem geoquímica. Cinco domínios geológicos destacaram-se quando consideradas as médias dos principais elementos químicos: formações Dolores (585 amostras), *Paso del Puerto* (67 amostras) e Pavas (1046 amostras), que correspondem a rochas sedimentares do Pleistoceno, do Plioceno e a anfibolitos do Paleoproterozoico, respectivamente, assim como as rochas vulcão-sedimentares do Neoproterozoico do Grupo *Lavalleja* (4430 amostras), e o Craton do *Rio de la Plata* (57 amostras), que inclui ortognaisse diversos e granitoïdes do Arqueano-Paleo-proterozoico. Destaca-se que geralmente o grupo maior de amostras incluiu completamente o grupo menor e que, a formação *Paso del Puerto* mostrou empobrecimento em relação a quase todas as outras formações avaliadas.

Tabela 8. Sumário geológico com base em Bettucci et al. (2003; 2021), Fragoso-Cesar et al. (1987), Demarco et al. (2019a/b); Preciozzi et al. (1985); Midot (1984), Fesefeldt et al. (1988), Hartmann et al. (2001), Oyhantçabal et al. (2011) and Masquelin et al. (2017).

Simbolo	Name	Description	Age
HOS	Sem nome específico	Sedimentos atuais	Ce
DOL	Formação Dolores	Argilitos e arenitos argilosos	Ple
LIB	Formação Libertad	Argilitos e loess	Ple
CHU	Formação Chuy	Sedimentos arenosos amarelos e avermelhados e argila-arenosa	Ple
RAI	Formação Raigon	Arenitos finos e conglomerados, de cor clara, com estratificação cruzada paralela	Pli
PUE	Paso del Puerto Formation	Arenito fino a conglomerádico, mal selecionado, maciço com intercalações de argila marrom e vermelha	Pli
BNG	Grupo Barriga Negra	Rochas sedimentares, metamorfismo de baixo grau	C-N
MIG	Formação Migues	Argilitos estratificados, arenitos calcários e xistos escuros.	CIN
ARE	Formação Arequita	Riolitos, dacitos e micro-pegmatitos.	CIN
VCH	Formação Valle Chico	Micro-sienitas e traquitas porfiroides.	CIN
PGO	Formação Puerto Gomez	Andesitos e basalto toleíticos	Jur
F3I	Formação <i>Tres Islas</i>	Argilas maciças e areias conglomeráticas limpas e regularmente classificadas.	Jur
SGR	Formação San Gregorio	Sedimentos fluvico-torrenciais, lacustres e glaciais.	P-C
CSA	Complexo <i>Sierra de las Animas</i>	Complexo eruptive: granite-sienitos (CSAG) e basalto (CSAB)	CO?
SBZ	Cisalha <i>Sierra Ballena</i>	Milonites diversificados	NPro
RKG	Granito Rapakivi	Caracterizado por macrocristais arredondados de ortoclásio com borda de oligoclásio (Wikipédia, 2025)	NPro
GMB	Granitos Brazilianos miloníticos (Fragoso-Cesar et al., 1987)	Granitos sin, tardi e post-tectonic	NPro
LAG	Granitos Brazilianos	Corpos pos-tectonicos e tardios	NPro
MOG	Sem nome específico	Migmatitos, orthogneisses e granitos indiferenciados	NPro
NIC	Nico Perez granites (Bettucci et al., 2021)	Mosaic of tectonic different blocks	NPro
SYG	No specific name	Granitos e granodioritos calcio-alcalinos	NPro
COL	Complexo Cerro Olivo	Gnaisses migmatíticos hospedando granitos de 600–540 Ma.	NPro

MAL	Grupo Maldonado (Pecoits et al., 2011)	Rochas vulcânicas máficas e ácidas, rochas piroclásticas, diamictito, arenito, conglomerado e pelitos	NPro
RCH	Grupo Rocha (Abre et al., 2020).	Turbiditos silico-clásticos com direção regional NNE.	NPro
BRZ	Zona de cisalha Brazilianiana	Cataclasitos e milonitos	NPro
LAV	Grupo Lavalleja	Rochas volcano-sedimentares	NPro
YIZ	Formação Sarandi Del Yi	Milonitos e granitos (zona de cisalha).	NPro
ZTI	Complexo Zanja Del Tigre	Rochas volcano-sedimentares metamorfisadas (fases antíbolito).	NPro
CCA	Unidade Cerro Catedral	Rochas volcánicas eruptivas	NPro
CAM	Unidade Campanero	Granitos pre-tectónicos diversos deformados	PPro
PAV	Bloco Pavas	Amphibolite-facies metamorphic rocks	PPro
VAL	Complexo Valentines-Rivera	Granulitic complex	PPro
RPC	Craton do Rio de la Plata	Ortogneisses e granitoides	A-P

Ce=Cenozoic; C/N=Cretáceo inferior; Ple=Pleistocene; Pli=Pliocene; Jur=Jurassic;

P-C=Permiano-Carbonífero; CO?=Cambro-Ordoviciano?; Pam = Paleozoico médio;

C-N=Cambriam-Neoproterozoic; NPro=Proterozoic; PPro=Paleoproterozoic;

A-P=Archean–Paleoproterozoic.

Na Figura 17 se observa que, a formação geológica mais enriquecida foi *Pavas*, com aproximação do Grupo *Lavalleja* ocasionalmente. Já a formação *Paso del Puerto* mostrou a menor resposta com aproximação da formação *Dolores*, ambas de origem sedimentar. Além disso, com a exceção do Mn, as linhas correspondentes a cada domínio ocorreram muito próximas, sugerindo boa resposta geoquímica em relação à geologia, e, ocorre uma significativa diferenciação geoquímica para Cr, Cu, Mn, Ni, P, V e Y.

Filippini-Alba, Crosta e Oliveira (2001) relacionaram as rochas máficas da poligonal GPVZ (Uruguai), com a associação multivariada Fe-Cr-Cu-Ni-V, destacada também pelo fator 1 da análise fatorial (Figura 13), com teores intermediários para o Grupo *Lavalleja* e a Formação *Barriga Negra*, assim como, baixos teores para as Formações *Puerto Gómez* e *Sierra Ballena* e para alguns corpos de granitos próximos.

Na Tabela 9 se apresentam as estatísticas básicas dos principais elementos químicos relacionados aos filões de quartzo. A pesquisa foi desenvolvida por técnicos do Instituto Federal de Geociências e Recursos Naturais da Alemanha (BGR) junto a técnicos da DINAMIGE, Uruguai, como antes mencionado.

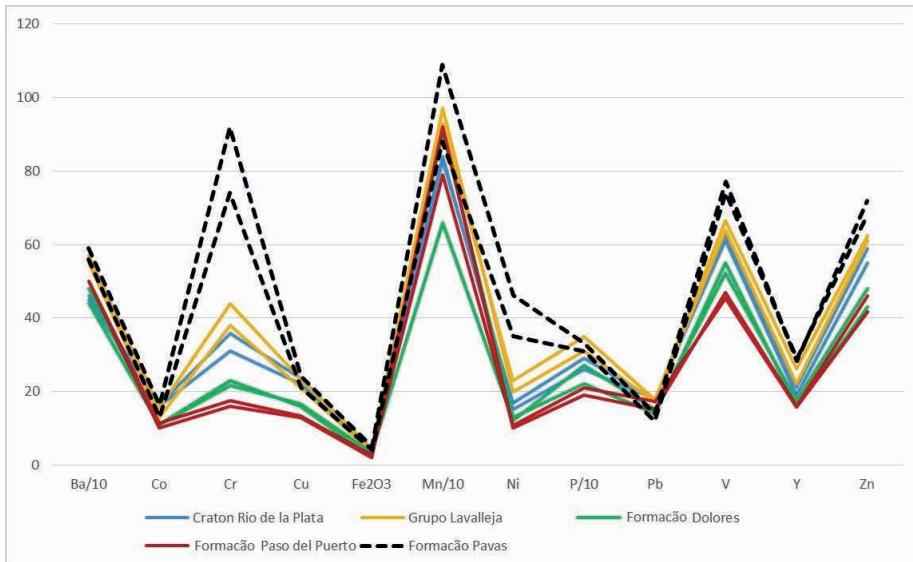


Figura 17. Comparação da resposta geoquímica de cinco formações geológicas conforme o total dos dados e amostra parcial (sedimentos de corrente).

Os filões foram amostrados em canaleta transversal por meio de martelo automático. A potência dos filões não superava os 100 cm, mas sua longitude podia ocorrer de maneira quilométrica. Os resultados aqui apresentados correspondem a região de Isla Patrulha (FILIPPINI-ALBA, 1992), povoado localizado a 30 km ao NO de *Treinta y Tres*. Pelo processamento de 228 amostras de filões de quartzo localizadas na região, aconteceu um exemplo bem sucedido de análise discriminante. Trata-se de uma zona de cisalhamento que corre na direção S-SE e separa o Proterozóico Médio-Inferior (quartzitos, anfibolitos e granito-gnaisses) do Proterozóico Superior (rochas vulcano-sedimentares). Foram descartadas 11 *outliers* e discriminados cinco grupos de amostras de filões de quartzo (Figura 18), segundo a descrição da Tabela 9, que envolveu a análise da distribuição espacial das amostras (FILIPPINI ALBA, 1992). O Pb não apresentou comportamento característico para nenhum dos grupos discriminados, no entanto, acompanhou Fe e Zn nas funções discriminantes, com oposição ao Au.

Tabela 9. Geoquímica de filões de quartzo, Isla Patrulla, Treinta y Tres, Uruguai. Fonte: Filippini Alba (1992).

Variável	Mínimo	Máximo	Média	CV, %
Fe ₂ O ₃ , %	0,1	16	2	80
Mn, ppm	164	18070	1202	100
P, ppm	15	664	69	110
Ag, ppm	0,2	34	0	850
As, ppm	20	204	6	330
Au, ppb	5*	3200	18 – 38	600-1300
B, ppm	20	69	1	690
Ba, ppm	10	618	21	260
Co, ppm	0	230	4	1500
Cr, ppm	1	114	19	110
Cu, ppm	12	764	39	160
Mo, ppm	0	14	2	90
Pb, ppm	0	15340	84	1200
Sb, ppm	0	14	2	90
Sn, ppm	0	9	1	220
V, ppm	0	76	5	180
W, ppm	0	2990	14	1400
Y, ppm	0	6	0	350
Zn, ppm	1	740	12	420

*Au foi analisado por Espectrometria de Absorção Atômica, em três lugares, com limites de detecção 5 ppb (DINAMIGE, Uruguai), 20 ppb (BGR, Alemanha) e 40 ppb (Companhia Mineradora San José, Uruguai). A queima na DINAMIGE foi em forno de grafite; nos outros casos por chama.

A análise de componentes principais é um método matemático que permite extrair os autovalores e autovetores de uma matriz de dados, ou seja, a matriz de variância-covariância ou a matriz de correlação. Na prática, as N variáveis originais são transformadas em N novas variáveis, que são as componentes principais (CPs). Cada componente principal é uma combinação linear das variáveis originais, sendo preservada a variância total dos dados. Os coeficientes das combinações lineares (loadings) podem ser interpretados como o peso da variável original em relação à respectiva componente CP.

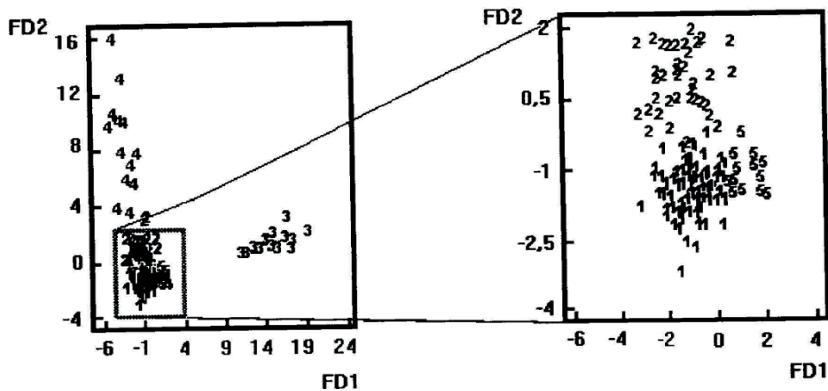


Figura 18. Diagrama de dispersão das funções discriminantes (FD) e detalhamento para os grupos definidos para uma população de 217 amostras de filões de quartzo do Proterozoico Uruguai. Fonte: Filippini-Alba (1992).

De maneira semelhante, mas envolvendo critérios estatísticos, a análise fatorial em modo R assume que a variância total de um conjunto de N variáveis é explicada por um conjunto K de variáveis ($K < N$), denominadas fatores, e por um componente adicional relacionada à variância não explicada pelos fatores e fontes de erro. Assim, as componentes principais e os fatores podem ser considerados *associações multivariadas* das variáveis originais, sendo possível estabelecer uma relação direta com fenômenos geológicos. Jolliffe (1986) destaca que os primeiros componentes principais (CPs) estão relacionadas a fenômenos globais dos dados, isto é, ao background ou às anomalias regionais do ponto de vista geoquímico.

Tabela 10. Características dos grupos de amostras de filões de quartzo do Proterozoico uruguai (Isla Patrulla).

Grupo	NA	Relação geoquímica	Interpretação
1	125	Baixos teores	Background
2	50	Enriquecimento moderado em Fe, Mn, P, Au, Co, Mo e V. Zonalidade com o grupo 4.	Filões auríferos secundários.
3	15	Enriquecimento significativo em Fe, P e Cr e moderado em Co, Cu e V.	Zonalidade, contaminação crustal, outros?
4	14	Enriquecimento significativo em Fe, P, Au, Co, Cu, Mo e V e moderado em Mn, As, Ba, Cr e Zn. Zonalidade com o grupo 2.	Filões auríferos primários.
5	13	Enriquecimento moderado em Fe, Mn, P, Cr, Cu e Mo.	Associada ao grupo 3?

NA = número de amostras.

Como as CPs são associações geoquímicas, é possível calcular o valor correspondente de cada uma delas para cada amostra (escores). Para exemplificar os escores, retoma-se o exemplo dos filões de quartzo na região de *Isla Patrulla*, Uruguai. As amostras do grupo 1 (*background*) foram classificadas de acordo com sua localização a oriente (Proterozoico Superior) ou ocidente (Proterozoico Médio-Inferior) da zona de cisalhamento, sendo elaborado o diagrama de dispersão para os dois primeiros CPs (Figura 19). Independente do significado de cada CP, os escores discriminaram as amostras de cada lado da cisalha, sugerindo um comportamento geoquímico diferenciado.

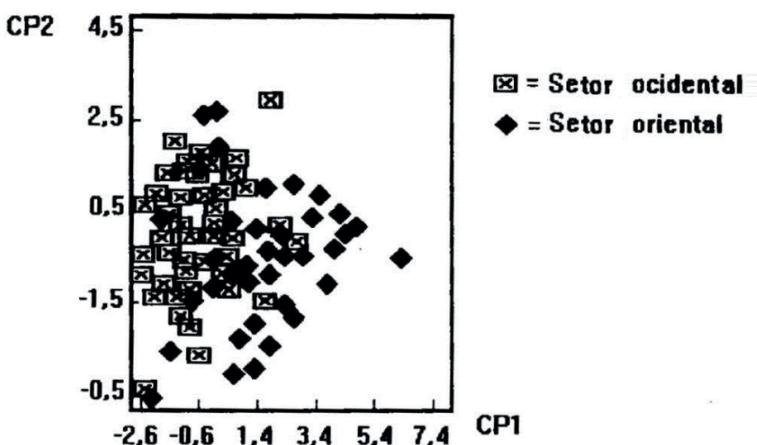


Figura 19. Diagrama de dispersão das escores da CP1 e da CP2, para amostras de filões de quartzo da região de *Isla Patrulla*, Uruguai.



C A P Í T U L O 5

GEOQUÍMICA DE SOLOS

MINEROPAR (2005) realizou levantamento de solos do Estado do Paraná em baixa densidade, considerando 72 elementos químicos e 307 locais de amostragem. Como resultados, os autores advertiram sobre a dificuldade de estabelecer limiares relacionados à saúde humana, dada a variabilidade de ambientes, solos e geologia diferentes. Foram caracterizados os comportamentos geoquímicos de vários elementos, considerando valores de referência. No entanto, há necessidade de complementar a informação do horizonte B com dados dos outros horizontes e da rocha-mãe de maneira a atribuir confiabilidade às conclusões do estudo.

Santos (2014) analisou a mobilidade de elementos químicos no solo e sua relação com o controle geoquímico em estudo na Bahia e Rondinelli et al. (2020) analisaram a contaminação por hexa-cloro-ciclo-hexano no solo próximo a uma indústria de solventes em Santo André, SP. Pérez et al. (1997) apresentaram o comportamento geoquímico de 15 perfis de solos brasileiros, sendo 8 argissolos, 5 latossolos, 1 chernossolo e 1 gleissolo. Os elementos do grupo do Fe se correlacionaram significativamente, concentrando-se no horizonte B, com exceção do Mn que preferiu o horizonte A.

Em estudo inédito realizado nas proximidades de uma mina de ouro abandonada no departamento de *Lavalleja* (Uruguai), foram realizados 3 perfis paralelos separados 500 m um do outro com passo de 25 m, considerando o horizonte C. Somente a amostra de solos levantada a menos de 10 metros do filão mineralizado, no transecto central, apresentou uma anomalia multielemento, Au-Mn-Ba-P-Cu-Pb, superando significativamente média local de Au (43 ppb).

Uma situação semelhante ocorreu com a anomalia Cu-Pb-Zn na folha *Puntas del Yerbal*, que fora conferida por amostragem de solos com baixo contraste. Duas amostras de sedimentos de corrente apresentaram média de Cu de 75 ppm e de Pb de 51 ppm e uma amostra próxima, a 1500 m, apresentou 109 ppm de Zn. As encaixantes foram compostas por calcário ou filitos, sendo que as medias para o estudo geoquímico estratégico da respectiva folha, *Puntas del Yerbal*, foram Cu = 21 ppm, Pb = 22 ppm e Zn = 61 ppm. No entanto, uma amostragem de solos conforme dois transectos paralelos, de 2 km com 40 amostras cada um e passo de 50 m, somente confirmou anomalias locais com valores máximos de 50 ppm, 42 ppm e 98 ppm para Cu, Pb e Zn respectivamente.

Na Tabela 11 se comparam os resultados do estudo da Mina Terra e da anomalia Cu-Pb-Zn, com as amostras de solos levantadas rotineiramente, nos estudos estratégicos, pelo programa *Inventario Minero*. A mina Terra apresentou enriquecimento em Au, Cu e V, assim como empobrecimento em Pb. E a anomalia Cu-Pb-Zn, mostrou enriquecimento em Cu, Mn, P, Pb, Y e Zn, com empobrecimento em Co. A média do Ni foi de 22 ppm para ambas situações, ocorrendo bastante empobrecida para os estudos estratégicos, da mesma forma que Fe_2O_3 e Be. Destaca-se que os dados estratégicos de solos correspondem a uma área extensa, envolvendo 31 dos fotoplanos amostrados.

Filippini Alba et al. (2008) estudaram os dados geoquímicos da CPRM para solos e sedimentos de corrente no Vale do Ribeira. O estudo sugeriu que os sedimentos de corrente são indicadores eficientes da presença de solos com seu padrão de qualidade alterado (teores de metais anômalos), principalmente quando envolvidas anomalias multivariadas expressivas. O Cu foi o elemento mais efetivo nesse sentido, com teores acima de 120 ppm nos sedimentos de corrente em 62% dos casos com constatação de alteração do padrão de qualidade de Cu no solo.

Tabela 11. Estatísticas dos estudos geoquímicos de solos na Mina Terra, em anomalia Cu – Pb no departamento de Lavalleja (Uruguai), horizonte C, com amostras de solos de rotina do programa *Inventario Minero* (horizonte A). Au analisado por Absorção atômica, restantes elementos DCP. R_g = Radiometria Gamma.

Variável	Mina Terra		Anomalia Cu-Pb-Zn		Estudos Estratégicos	
	A	M	A	M	A	M
Fe2O3/%	2 - 9	4,6	2-13	4,6	1 - 11	4
Au/ppb	40-310	47				
Ba	200-932	403	187-742	346	175-3371	473
Be	1 – 3	1,5	1-3	1,6	1 - 6	1
Co	10 – 46	13	10-24	11	10-38	12
Cr	12 – 264	38	21-82	42	10-255	31
Cu	10 - 49	23	11 - 50	23	10-187	20
Mn	122 – 1390	535	212-3286	1287	100-2725	643
Ni	10 – 167	22	10 - 43	22	10-135	15
P	82-594	214	267-1330	458	122-2697	340
Pb	10 – 30	13	10 - 42	18	10-107	16
V	30 – 113	71	32-122	60	18-201	57
Y	5 – 37	14	6-90	38	5-90	18
Zn	27 – 79	51	35 - 98	60	20-298	51
R_g /cps	35 – 90	47	25-90	54	20-550#	80#
Amostras	88		82		619	

#Dados de 9 fotoplanos (6479 amostras).

A = Amplitude; M = Média

A extração dos resultados para outras áreas deverá ser realizada com extrema cautela, em função da quantidade de variáveis que controlam o processo, todas elas de natureza local ou regional: clima, relevo, paisagem. Não sempre houve coincidência de anomalias de sedimentos de correntes com solos. Tais resultados sugerem baixa movimentação dos elementos mineralizados e baixo potencial de exploração em ambas as ocorrências.

Filippini Alba et al. (2008) destacaram: *a relação entre a resposta geoquímica de solos e de sedimentos de corrente é complexa do ponto de vista quantitativo. Não sempre há sobreposição de anomalias positivas entre ambos tipos de amostras, mas as chances de concordância aumentam quando os solos superam de maneira significativa os valores de referência. Os principais setores com o padrão da qualidade do solo alterado ocorreram associados a litotipos específicos ou mineralizações, apresentando anomalias de As, Co, Cr, Cu, Ni e Pb, entre outros. Combinações de ambos fatores podem acontecer devido à ocorrência de mineralizações encaixadas nos litotipos específicos.*



C A P Í T U L O 6

INTEGRAÇÃO POR MEIO DE SIG

Os dados geoquímicos da poligonal GPVZ, antes mencionados, foram integrados com imagens de sensoriamento remoto por meio de classificação não supervisionada, conforme 14 níveis de informação (Filippini-Alba, 1998; Filippini-Alba et al., 2001). Previamente, 11 variáveis geoquímicas (teores de Ba, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, P, V, Y e Zn, e Ry) foram interpoladas pelo inverso do quadrado da distância com pixel de 200 metros e raio de alcance de 1,5 km. Se consideraram três bandas orbitais, do sensor TM do satélite Landsat: a banda 4 relacionada ao infravermelho próximo, NIR e associada à ocorrência de vegetação, o fator F e o fator H. Os fatores F e H são combinações lineares das bandas temáticas, do mencionado sensor, avaliadas pelo procedimento *Feature-oriented Principal Component Selection* (Crósta; Moore, 1989), que descrevem o conteúdo de hidróxidos e óxidos de Fe e os minerais que contêm a molécula OH, isto é, os argilo-minerais, respectivamente.

A classificação não supervisionada agrupa conjuntos de pixels de características semelhantes, conforme suas características (Crósta, 1993). Geraram-se 12 classes que foram agrupadas em quatro (Tabela 12), considerando a distribuição espacial das classes originais e suas características.

Assim, foram sobrepostas 14 camadas de informação, discriminando doze classes e nove setores anômalos, sete dos setores foram considerados anomalias litológicas e dois setores foram relacionados a potenciais mineralizações. A anomalia litológica nas proximidades de Zapicán estende-se por mais de 100 km², com enriquecimento de Fe, M, P, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, V e Zn, empobrecimento de Pb e sobreposição com rochas máfico-ultramáficas. Já a também litológica anomalia nas proximidades de Maria Albina apresenta teores elevados de Pb e/ou Sn com anomalias locais de As, Cu e Zn e potencial relação espacial com corpo granítico intrusivo. O Grupo Lavalleja destacou-se pela ocorrência de mineralizações e o Grupo Barriga Negra pelos teores de Cu.

Tabela 12. Características das classes definidas por processamento digital (classificação não supervisionada).

Classe	Descrição	AA
B	<i>Background</i> de baixo contraste.	34 %
E	<i>Background</i> de maior contraste, com teores enriquecidos em Co, Cu, Ni, V e Zn em relação à classe B.	33 %
M	Relacionada a mineralizações, agrupa duas das classes originais, com valores baixos para o fator H, o Ni e o Zn comparados com as classes B e E. Uma classe apresentou enriquecimento do fator F e do Pb e a outra de Co, Mn, Pb e RY.	5 %
L	Agrupa sete das classes originais, com empobrecimento em Pb e enriquecimento em Co, Cu, Mn, Ni, P, V, Y e Zn. Provável origem litológica derivada da ocorrência de rochas mafico-ultramáficas.	27%

AA = área de abrangência

Ao comparar o mapa geológico (Figura 3), com o da distribuição das quatro classes (Figura 20), observa-se que a classe B (cinza escuro) se relaciona espacialmente com os basaltos do Jurássico e com as rochas metamórficas do Proterozoico Médio-Inferior, enquanto a classe E (cinza claro), com as formações vulcano-sedimentares do Proterozoico Superior e com os granito-gnaisses e as rochas maficas do Proterozoico Médio-Inferior. No entanto, a assinatura geoquímica não é perfeitamente homogênea, existindo alternância entre ambas as classes dentro de um dado domínio geológico.

O enriquecimento em Co, Cu, Ni, V e Zn da classe E, sugere uma associação com a classe L, que se confere por proximidade, em função da ocorrência de rochas maficas. A classe M apresentou sobreposição com as ocorrências minerais e com as principais anomalias geoquímicas derivadas do tratamento estatístico dos dados. A distribuição espacial dessa classe parece potencializar a vocação metalogênica do Grupo Lavalleja.

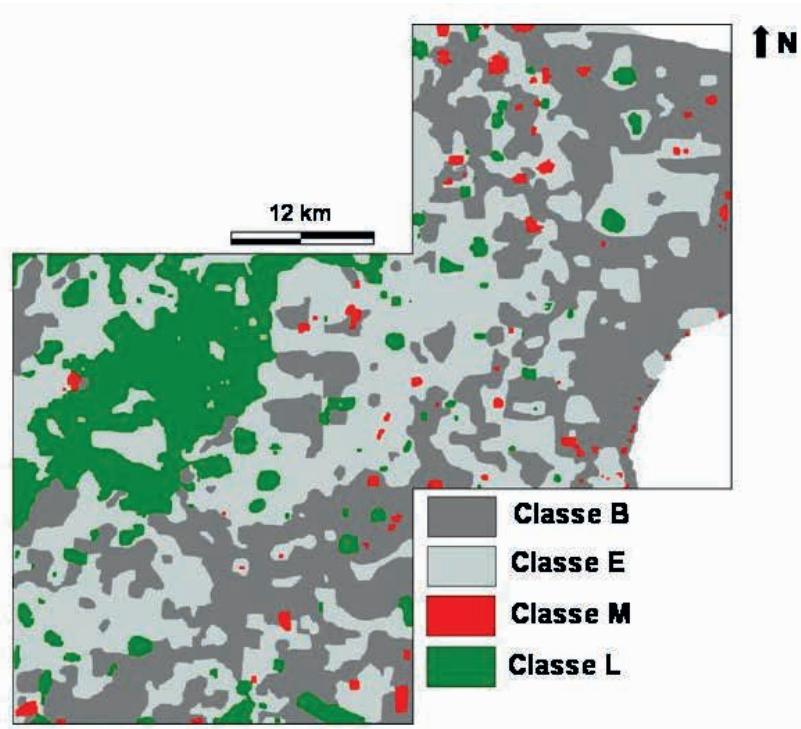


Figura 20. Resultado do processamento digital da geoquímica de sedimentos de corrente com imagens orbitais da Poligonal GPVZ, Uruguai, envolvendo 14 variáveis: banda TM 4 (vegetação), fator F e fator H (Crósta; Moore, 1989), R_y, Ba, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, P, V, Y e Zn (Filippini-Alba, 1998).

À continuação, serão expostas duas aplicações de modelagem SIG, uma com viés de prospecção mineral, uma considerando dados do Uruguai conforme estratégia de SIG (FILIPPINI-ALBA, 1998) e a outra baseada na lógica booleana (FILIPPINI-ALBA; SOUZA FILHO, 2006) com dados geoquímicos do Vale do Ribeira – SP. No primeiro caso, consideraram-se cinco níveis de informação conforme descreve-se na Tabela 13. O resultado da integração se apresenta na Figura 21, nas cores vermelha, amarela e cinza, representando prioridade alta, média e baixa respectivamente. A mistura de cores parece destacar, ocasionalmente, a hierarquia das anomalias interpretadas subjetivamente, indicadas por retângulos.

Tabela 13. Descrição dos ponderadores usados para a modelagem SIG de potenciais depósitos de sulfetos maciços (GOVETT, 1983). P = ponderador. Me = Ag + As + Cu + Pb

Ni		Zn		Me/10		Fator F		Fator-H	
0-50	9	115-156	12	50-69	12	120-255	12	200-255	12
51-85	7	108-114	8	35-49	9	100-119	9	185-199	9
86-110	3	101-107	4	25-34	5	70-99	7	175-184	5
111-235	0	0-100	0	20-24	3	50-69	3	0-174	0
				0-19	0	0-49	0		
Intervalo	P	Intervalo	P	Intervalo	P	Intervalo	P	Intervalo	P

Na modelagem booleana, integraram-se quatro níveis de informação, conforme mapas binários (Tabela 14). A fusão dos dados foi realizada pelo operador AND, com limiares de corte definidos via revisão bibliográfica e análise dos dados disponíveis (FILIPPINI-ALBA; SOUZA FILHO, 2010), sendo definidas áreas de risco para a biota e saúde humana (Figura 22).

Tabela 14. Descrição dos mapas utilizados para a integração pelo procedimento booleano. VB = valor binário.

VB	Nível 1: Solo	Nível 2: Declividade	Nível 3: As*	Nível 4: Pb*
0	Cobertura vegetal	< 20°	< 25 mg kg ⁻¹	< 100 mg kg ⁻¹
1	Solo exposto	> 20°	> 25 mg kg ⁻¹	> 100 mg kg ⁻¹

*mg.kg⁻¹

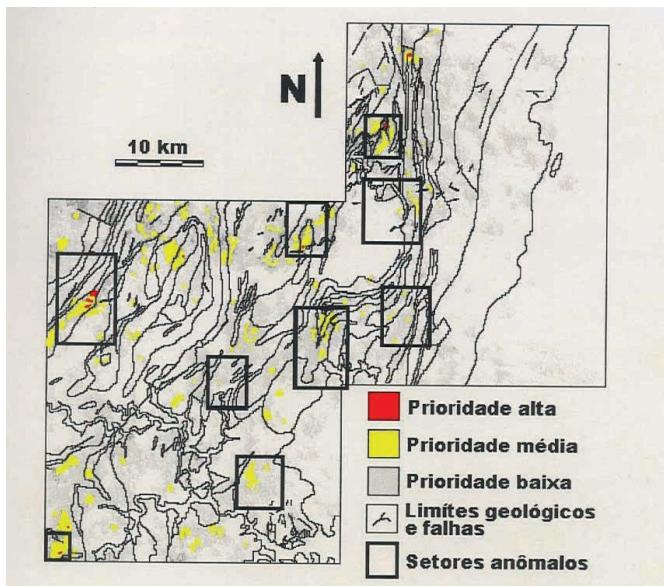


Figura 21. Integração de dados via SIG, envolvendo Ag, As, Cu, Ni, Pb, Zn e dados de sensoriamento remoto (óxidos = fator-F e minerais-OH = fator-H, conforme Crosta & Moore, 1989).

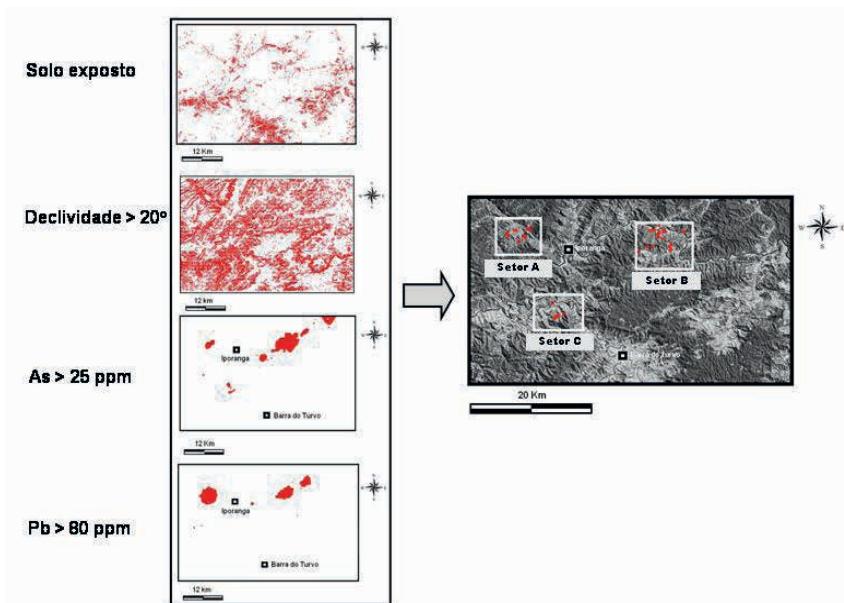


Figura 22. Resultados da modelagem SIG pelo procedimento booleano com dados geoquímicos de sedimentos de corrente do Vale do Ribeira (SP). Fonte: IPT (1985).

O método das microbacias foi introduzido por meio de SIG (Bonham-Carter, 1994), para aprimorar o processamento de dados geoquímicos de sedimentos de corrente, de maneira a reconhecer a influência da orientação dos cursos hídricos. Para um dado elemento, uma estatística das amostras interiores é considerada como representativa do teor da microbacia, como, por exemplo, a média ou a mediana. Trata-se de uma aproximação ao Teorema do Limite Central (Davis, 1986), visando a avaliação mais eficiente do *background*, pois a população das médias possui maior tendência à normalidade. A Figura 23 expõe teores de As no Vale do Ribeira com microbacias relacionadas ao fundo regional em branco (microbacias 0) e microbacias mineralizadas em cinza claro (microbacias 1). As microbacias 2 (cinza escuro) seriam *outliers*.

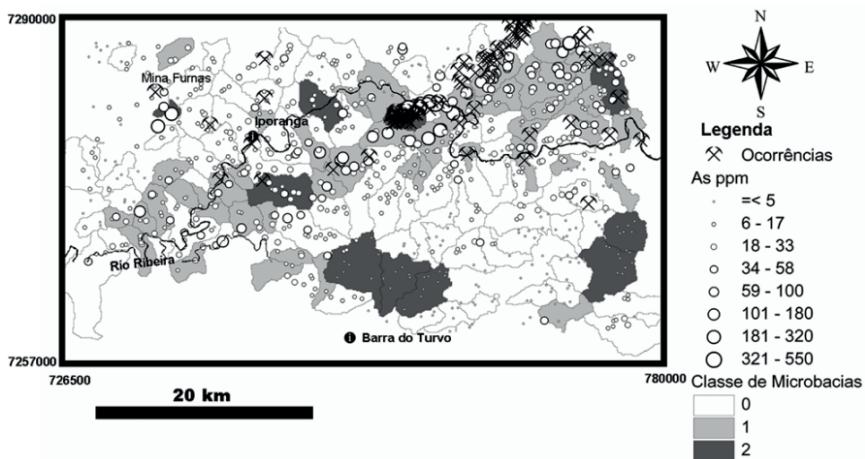


Figura 23. Teores de As e sua relação espacial com as mineralizações e as microbacias no Vale do Ribeira, SP. Fonte: Filippini Alba e De Souza Filho (2010).



C A P Í T U L O 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram discutidos conceitos relacionados a Geologia Médica, Cartografia e Prospecção Geoquímica, principalmente considerando a base de dados geoquímicos de Uruguai. Trata-se de um país preferencialmente agrícola-ganadeiro, onde a mineração e atividades geológicas foram incentivadas nas décadas de 1980 e 1990. Quem sabe o Estado funcionou como precursor da exploração de metais, atividade posteriormente continuada por companhias mineradoras privadas com foco em metais preciosos.

Provavelmente, o *Inventario Minero*, programa de prospecção geoquímica regional nos departamentos de *Lavalleja*, *Maldonado*, *Rivera* e *Treinta y Tres*, com assessoramento do BGRM, representou o começo de um processo de duas décadas, cujo legado estende-se até a atualidade. Os principais materiais coletados foram os sedimentos de corrente, que deixaram como saldo, algumas centenas de anomalias pontuais e multielemento e, em ocasiões, as ocorrências minerais associadas. A amostragem de rochas foi escassa, predominando na região de *Isla Patrulla* onde foram prospectados filões de quartzo mineralizados com Au nativo e minerais de metais de base, como azurita, calcopirita, malaquita, pirita e pirolusita.

Os solos foram utilizados na perspectiva de aprimorar a posição e profundidade de corpos minerais, mas com resultados insignificantes. Como ação paralela à prospecção, houve o desenvolvimento da geologia no contexto público aplicado e acadêmico (ensino).

Considerando os dados apresentados na Tabela 3 (sedimentos de corrente), na Tabela 9 (filões de quartzo) e na Tabela 11 (solos), de maneira comparativa; observou-se média de 4% para Fe_2O_3 nos sedimentos de corrente e nos solos, porém, caindo para 2% para os filões de quartzo. Já o Mn apareceu enriquecido nos filões de quartzo com 1202 ppm contrastando com 918 ppm nos sedimentos de corrente e 340 ppm nos solos. Esse enriquecimento nos filões confirmou-se também para Cu e Pb. Já B, P, V, Y e Zn ocorreram enriquecidos nos sedimentos de corrente em relação aos filões de quartzo.

Os limites de detecção representaram um problema para o cálculo preciso do *background* da maioria dos elementos. O que é possível estabelecer são valores mínimos e máximos, a partir do cálculo de médias considerando 0 como mínimo ou o valor relativo ao limite de detecção. Por exemplo, no caso do Au em filões, se teve 18 ppb (anulando o limite de detecção) e 38 ppb (com o limite de detecção como valor mínimo), pelo que, o teor médio ou *background* do elemento, deve se localizar no intervalo 18 – 38 ppb.

O Ni apresentou problemas nas amostras de filões de quartzo, devido à ocorrência de contaminação pelo martelo mecânico de amostragem (liga metálica). Assim, não aparece na Tabela 9.

Lamentavelmente, não foi possível compilar todas as amostras de rochas e solos relacionadas ao *Inventario Minero*, contou-se somente com uma parte, reduzindo a confiabilidade nesses casos.

Finalmente, cabe destacar que os filões de quartzo representaram uma matriz analítica mais pura que no caso dos sedimentos de corrente e solos. Por isso, o autor utilizou dados abaixo do limite de detecção nos estudos relacionados ao Au (filões), pois o equipamento de espectrometria DCP fornecia teores iniciando em 0 (Filippini Alba, 1992). Essa estratégia foi utilizada de maneira alternada para os sedimentos de corrente, o que permite visualizar como os limites de detecção afetam as estatísticas avaliadas (Tabela 3).

Foi possível avaliar somente 34 anomalias multielemento, nos relatórios originais dos fotoplanos Aiguá (10), Alvorada (4), Las Animas (3), Las Flores (1), Mal Abrigo (7) e Mariscala (9). Além disso, Filippini Alba (1998) definiu 9 setores anômalos nos fotoplanos Gutiérrez, Pirarajá, José P. Varela e Zapican. Uma anomalia Pb-Zn em ambiente calcário com ocorrência de quartzitos, cinco setores anômalos relacionados à ocorrência de diques maficos e três anomalias multielemento com ocorrência de mineralização.

REFERÊNCIAS

1. Abre, P.; Blanco, G.; Gaucher, C.; Frei, D.; Frei, R. Provenance of the Late Ediacaran Rocha Formation, Cuchilla Dionisio Terrane, Uruguay: Tectonic implications on the assembly of Gondwana. *Precambrian Research* v. 342, 2020. Retreived in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301926819304462#b0380>. April 10, 2025.
2. Bettuci, L.S.; Cordani, U.; Loureiro, J.; Peel, E.; Fort, S.; Sato, K. The Nico Pérez terrain (Uruguay) and its archean and paleoproterozoic inheritance. *Andean Geology*, 48 (3), 2021, 442-471.
3. Bettucci, L.; Preciozzi, F.; Basei, M.A.S.; Oyhantçabal, P.; Peel, E.; Loureiro, J. Campanero Unit: A probable Paleoproterozoic basement and its correlation to other units of southeastern Uruguay. IV South American Symposium on Isotope geology, 2003, 673-674. Salvador: CBPM.
4. Bonham-Carter, G. Geographic information systems for geoscientists. Ontario: Pergamon, 1994, 398p.
5. Bowell, R.J.; Alpers, Ch. A.; Jamieson, H.E.; Nordstrom, D.K.; Majzlan, J. The environmental geochemistry of Arsenic: An overview. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 79, 2014, 1-16.
6. Bowie, S.; Thornton, I. Environmental Geochemistry and Health. Dordrecht: D. Reidel, 1985, 140p.
7. CEIC. Uruguai, Produção de ouro. Disponível em: <https://www.ceicdata.com/pt/indicator/uruguay/gold-production>. Acesso em: abril 7, 2025.
8. Cernuschi, F. Minería en el Uruguay. *Uruguay Ciencia*, número 18, 2014. Disponível em: https://www.uruguay-ciencia.com/articulos/UC18/UCN18_Mineria.pdf. Acesso em: 28 mar. 2025.
9. Cheng, Q., Agterberg, F.P., Bonham-Carter, G.F. A spatial analysis method for geochemical anomaly separation. *J. of Geochemical Exploration*, 53 (3), 1996, 183-195.
10. Chork, C.Y.; Govett, G.J.S. Interpretation of geochemical soil surveys by block averaging. *Journal of Geochemical Exploration* 11, 1979, 53-71.
11. Crósta, A.P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas: IG-UNICAMP, 1993, 170p.

12. Crounse, R.; Pories, W.; Bray, J.; Richard, M. Geochemistry and Man: Health and Disease. In: Thornton, I. (ed.) Applied Environmental Geochemistry. London: Academic Press, 1983, p. 267-330.
13. Darnley, A.; Björklund, A.; Bølviken, B.; Gustavsson, N.; Koval, P.; Plant, J.; Steenfelt, A.; Tau-chid, M.; Xuejing, X. A global geochemical database for environmental and resource management. Paris: UNESCO, 1995. 122 p.
14. Davenport, P. Geochemical Mapping. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 29, 1993, 212p.
15. Demetriades, A., Johnson, C.C., Smith, D.B., Ladenberger, A., Sanjuan, P.A., Argyraki, A., Stouraiti, C., Caritat, P. de, Knights, K.V., Rincón, G.P. & Simubali, G.N. (Eds.). International Union of Geological Sciences Manual of Standard Methods for Establishing the Global Geochemical Reference Network. IUGS Commission on Global Geochemical Baselines. Atenas: Special Publication, 2, 2022, 515p. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7307696>. Acesso em: Maio 13, 2025.
16. Demarco, P.N.; Masquelin, H.; Loureiro, J.; Preciozzi, C.; Bettucci, L.S. (2019a). Historia de la Geología Precámbrica de Uruguay: Unidades del Cinturón Dom Feliciano y su basamento. *Revista Investigaciones MIEM-DINAMIGE* 2 (1), 2019a, 36-57.
17. Demarco, P.N., Masquelin, H., Peel, E., Betucci, L.S. Stratigraphy and tectonic setting of the Barriga Negra Formation in Uruguay: an update. *Brazilian Journal of Geology* 49(1), 2019b, p. 1-24. Retrived from: <https://doi.org/10.1590/2317-4889201920180047>. 25 mar. 2025.
18. DINAMIGE. Visualizador Geominero. Montevideo: Dirección Nacional de Minería y Geología (DINAMIGE), 2020. Disponible em: http://visualizadorgeominero.dinamige.gub.uy/DINAMIGE_mvc2/. Acesso em: Março 12, 2025.
19. Dutra, C.V. Espectrografia optica de emissão. In: Gomes, C.B. Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1984, p. 121-158.
20. Edén, P. Wide-spaced sampling of overbank sediment, till, humus and river water in Fennoscandia. Åbo: Åbo Akademi University, 1994. 138p. (Ph. D. Thesis).
21. Fesefeldt, K. *Asesoramiento geológico y yacimentológico a la DINAMIGE*. Hannover: BGR, 1988, 186 p.
22. Fesefeldt, K.; Vaz, N.; Arrighetti, R. Interpretação geotectônica preliminar de la faja de la Serie de Minas y áreas vecinas. Montevideo: DINAMIGE, 1 mapa. IN: Fesefeldt, K. Asesoria-mento geológico y yacimentológico a la DINAMIGE. Hannover: BGR, 1988, 186p.

23. Figueiredo, B.R.; De Capitani, E.M.; Dos Anjos, J.A.; Luiz-Silva, W. (Org.). Chumbo, Ambiente e Saúde. São Paulo: ANNABLUME, 2012, 276p.
24. Filippini-Alba, J.M. Influencia de la Geología na geoquímica de sedimentos de corrente del Precambriano de Uruguay. *International Journal of Environment and Climate Change* 15 (7), 2025, 438 - 445.
25. Filippini-Alba, J.M. Geochemical stream sediment signatures from Precambrian terrains of Uruguay. *Geochimica Brasiliensis* 36: e-22004, 2022.
26. Filippini-Alba, J.M. *Aplicação dos métodos estatísticos em prospecção geoquímica de sedimentos de corrente e rochas na região de Isla Patrulla, distrito de Treinta y Tres, Uruguai*, 1992, 178 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, Brasil.
27. Filippini-Alba, J.M. *Análise e integração de dados geoquímicos e de sensoriamento remoto em um setor do Cristalino Uruguaio*. 1998. 172 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, Brasil.
28. Filippini-Alba, J.M.; Crósta, A.P.; Oliveira, S.M.B. Interpretation of surface geochemical data and integration with geological maps and Landsat – TM images for mineral exploration from a portion of the Precambrium of Uruguay. *Revista Brasileira de Geociências*, 31, 2001, 123–130.
29. Filippini Alba, J.M.; Souza Filho, C.R. Discriminação de assinaturas geoquímicas por meio de modelos de regressão e Sistema de informações geográficas: estudo de caso no Vale do Ribeira (SP). *Revista Brasileira de Geociências* 40 (3), 2010, 426-437.
30. Filippini Alba, J.M.; Souza Filho, C.R.; Figueiredo, B.R. Análise da assinatura geoquímica de solos e de sedimentos de corrente no Vale do Ribeira (SP) por meio de um sistema de informação geográfica *Revista Brasileira de Geociências* 38 (1), 2008, 66-77.
31. Fragozo-Cesar, A.R.; Machado, R.; Gómez-Rifas, C. Observações sobre o cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio e correlações com o Escudo do Rio Grande do Sul. Atas do III Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia. Curitiba: SBG, 1987, 791-808.
32. Garrett, R. The chi-square plot : a tool for multivariate outliers recognition. *Journal of Exploration Geochemistry* 32, 1989, 319-341.
33. Govett, G. Rock Geochemistry in Mineral Exploration. Amsterdam: Elsevier, 1983, 461p.

34. Koljonen, T. The geochemical atlas of Finland, part 2: till. Espoo: Geological Survey of Finland, 1992, 218p.
35. Hartmann L.A., Campal, N., Santos, J.O., Mac Naughton, N.J., Schipilov, A. Archaean crust in the Río de la Plata Craton, Uruguay. *Journal of South American Earth Sciences* 14, 2001, 557-570.
36. Haut, R., Lema, F., Mari, C., Cicalese, H., Valverde, C. Geophysics report studies about Mina Apolonia. Montevideo: DINAMIGE, 1987, 80p.
37. Låg, J. Geomedicine in Scandinavia. Aspects of geochemical environments. In: Thornton, I. Applied environmental geochemistry. London: Academic Press, 1983, 335 – 353.
38. Låg, J. Geomedical aspects of geochemical environments. In: Pulkkinen, E. (ed.) Environmental Geochemistry in Northern Europe. Geological Survey of Finland, Special Paper 9, 1991, 271-276.
39. Lahermo, P., Ilmasti, M., Juntunen, R., Taka, M. The geochemical atlas of Finland, part 1 (the hydrogeochemical mapping of Finnish groundwater). Espoo: Geological Survey of Finland, 1990, 66p.
40. Lancianese, V.; Dinelli, E. Different spatial methods in regional geochemical mapping at high density sample: An application on stream sediment of Romagna Apennines, Northern Italy. *Journal of Geochemical Exploration* 154, 2015, 143-155.
41. Lepeltier, C. A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation. *Journal of Geochemical Exploration* 64, 1991, 538 – 550.
42. Licht, O.A., Piekarz, G.F., Silva, J.C.C. da, Lopes Jr., I. Levantamento geoquímico multielemento de baixa densidade no estado do Paraná. *A Terra em Revista* 3, 1997, 34-45.
43. Masquelin, H., Lara, H.S., Bettucci, L.S., Demarco, P.N., Pascual, S., Muzio, R., Peel, E., Scagliola, F. Lithologies, structure and basement-cover relationships in the schist belt of the Dom Feliciano Belt in Uruguay. *Brazilian Journal of Geology* 47 (01), 2017, 21-42. Retrieved from: <https://doi.org/10.1590/2317-4889201720160119>. December 10, 2024.
44. Martins, A.J.M. Geoquímica no Brasil: bases de dados existentes e necessidades futuras de aquisição. MME e Banco Mundial, 2009, 48p. (Relatório técnico nro. 14, Projeto ESTAL).
45. Midot, D. Etude géologique et diagnostic métallogénique pour l'exploration du secteur de minas (Uruguay). Paris: L'Université Pierre et Marie Curie, 1984, 175p.

46. Miesch, A. Estimation of the threshold and its statistical significance. *Journal of Geochemical Exploration* 16, 1981, 49-76.
47. MINEROPAR. Geoquímica de solos – Horizonte B. Relatório Final de Projeto. Curitiba: MINEROPAR, 2005, 408p.
48. Ng Jack, C., Jianping Wang, Amjad Shraim. A global health problem caused by arsenic from natural sources. *Chemosphere* 52(9), 2003, 1353-9. doi: 10.1016/S0045-6535(03)00470-3.
49. Oyhantçabal, P., Siegesmund, S., Wemmer, K. The Río de la Plata Craton: a review of units, boundaries, ages and isotopic signature. *International Journal of Earth Sciences* 100, 2011, 201–220.
50. Pecoits, E.; Gingras, M.K.; Konhauser, K.O. (2011). Las Ventanas and São Carlos formations, Maldonado Group, Uruguay (Chapter 53). *The Geological Record of Neoproterozoic Glaciation*. London: Geological Society Memoirs 36, 2011, 555-564.
51. Preciozzi, F., Spoturno, J., Heinzen, W., Rossi, P. Carta Geológica del Uruguay. Escala 1:500.000. Montevideo: DINAMIGE, 1985, 1 mapa.
52. Preciozzi, F. Contribuciones a la geología del Uruguay. Montevideo: DINAMIGE, número 3, 1989, 15p.
53. Rabinovich, M. Se inicia exploración minera en San José. San José: LaRed21, 2002. Disponível em: <https://www.lr21.com.uy/comunidad/96710-se-inicia-exploracion-minera-en-san-jose>. Acesso em: Maio 14, 2025.
54. Rollinson, H.R. Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation. New York: Longman Scientific and Technical, Wiley, 1993, 352p.
55. Rondinelli, D.; Barbosa, A.M.; Mondelli, G. Análise geoquímica de solos superficiais de uma área contaminada com hexa-cloro-ciclo-hexano (HCH). *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental* 10 (1), 2020, 8–26.
56. Roquin, C.; Zeegers, H. Improving anomaly selection by statistical estimation of background variations in regional geochemical prospecting. *Journal of Geochemical Exploration* 29 (1-3), 1987, 295-316.
57. Santos, C.C. Mobilidade de elementos químicos no perfil do solo e seu controle na prospecção geoquímica: aplicação na região de Santa Maria da Vitória, BA. Brasília: UNB, 2014, 121p. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências).

58. Selinus, O. Medical Geology: an emerging speciality. *Terrae* 1, 2004, 8-15.
59. Shacklette, H., Sauer, H., Miesh, A. Geochemical environments and cardiovascular mortality rates in Georgia. U.S. Geological Survey Professional Paper 574-C. Washington, 1970, 39p.
60. Sinclair, S. The chi-square plot : a tool for multivariate outliers recognition. *Journal of Exploration Geochemistry* 32, 319-342, 1989.
61. Tarvainen, T. Environmental Applications Geochemical Baselines in Finland. Espoo: Geological Survey of Finland, 1996, 75p. (Academic dissertation).
62. Thornton, I. Applied environmental geochemistry. London: Academic Press, 1983, 501 p.
63. Tukey, J.W. Exploratory data analysis. London: Addison-Wesley Publishing Company, 1977, 689p.
64. Wikipédia. Minas de Corrales. Disponível em: https://es.wikipedia.org/wiki/Minas_de_Corrales. Acesso em: Maio 14, 2025.

GEOQUÍMICA APLICADA NO URUGUAI

SEGUNDA VERSÃO

- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
- FACEBOOK www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Fator 1 = 0,8 (Fe+Cu+V)
0,9(Cr+Ni) + 0,6 (Co)

GEOQUÍMICA APLICADA NO URUGUAI

SEGUNDA VERSÃO

