

**PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO
EM GEOCIÊNCIAS
E MEIO AMBIENTE**

Estudo das funções hidrogeológicas e impactos ambientais
em área úmida geograficamente isolada em região de
cultivo de cana-de-açúcar

MATHEUS FELIPE STANFOCA CASAGRANDE

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

MATHEUS FELIPE STANFOCA CASAGRANDE

ESTUDO DAS FUNÇÕES HIDROGEOLÓGICAS E IMPACTOS
AMBIENTAIS EM ÁREA ÚMIDA GEOGRAFICAMENTE ISOLADA EM
REGIÃO DE CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. César Augusto Moreira

Rio Claro - SP
2023

C334e

Casagrande, Matheus Felipe Stanfoca

Estudo das funções hidrogeológicas e impactos ambientais em área úmida geograficamente isolada em região de cultivo de cana-de-açúcar / Matheus Felipe Stanfoca Casagrande. -- Rio Claro, 2023

221 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: César Augusto Moreira

1. Geociências. 2. Geologia. 3. Geofísica. 4. Geologia Ambiental. 5. Hidrogeologia. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Com a crescente importância dada às questões de preservação ambiental, o presente estudo se mostra bastante atualizado no âmbito da caracterização e qualidade hídrica em função da integridade de potenciais mananciais, como são as áreas úmidas. Assim, as conclusões obtidas são capazes de impactar positivamente os meios científico, econômico e social.

Do ponto de vista científico, o grande número de pesquisas relacionadas a áreas úmidas no Brasil tem como foco as bacias Amazônica e do Pantanal. Assim, o avanço de novos estudos sobre áreas úmidas geograficamente isoladas do Cerrado, no contexto de dinâmica hídrica, mobilidade geoquímica e funções hidrogeológicas e ambientais, contribuem com um campo de estudo multidisciplinar bastante atual conhecido como Zonas Críticas (*Critical Zones*).

A melhor compreensão a respeito dos sistemas hídricos e hidrogeológicos por parte do poder público possibilitam a adoção de políticas de preservação ambiental e exploração das reservas hídricas de modo mais eficaz e seguro, o que a longo prazo propicia vantagens econômicas e sociais, uma vez que são as comunidades locais que mais se beneficiam de uma água de qualidade para consumo humano, atividades agrícolas e industriais.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

With the increasing importance given to environmental preservation issues, the present study proves to be highly relevant in the realm of characterizing and assessing water quality concerning the integrity of potential water sources, such as wetlands. Thus, the findings obtained have the potential to positively impact the scientific, economic, and social domains.

From a scientific perspective, the majority of wetland-related research in Brazil has been focused on the Amazon and Pantanal basins. Consequently, the advancement of new studies concerning geographically isolated wetlands within the Cerrado, in the context of hydrological dynamics, geochemical mobility, and hydrogeological and environmental functions, contributes to a highly contemporary multidisciplinary field known as Critical Zones.

A better understanding of water and hydrogeological systems by public authorities enables the adoption of environmental preservation policies and the exploitation of water reserves more efficiently and safely. This, in the long term, provides economic and social advantages, as it is the local communities that benefit the most from high-quality water for human consumption, agricultural, and industrial activities.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

MATHEUS FELIPE STANFOCA CASAGRANDE

ESTUDO DAS FUNÇÕES HIDROGEOLÓGICAS E IMPACTOS
AMBIENTAIS EM ÁREA ÚMIDA GEOGRAFICAMENTE ISOLADA EM
REGIÃO DE CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geociências e Meio Ambiente.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. CÉSAR AUGUSTO MOREIRA
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Profa. Dra. VÂNIA SILVIA ROSOLEN
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. SÉRGIO JUNIOR DA SILVA FACHIN
FAGEO/UFMT/Cuiabá (MT)

Prof. Dr. MARCUS VINICIUS APARECIDO GOMES DE LIMA
UNIPAMPA/Caçapava do Sul (RS)

Prof. Dr. MARCO ANTONIO FONTOURA HANSEN
UNIPAMPA/Caçapava do Sul (RS)

Conceito: Aprovado.

Rio Claro/SP, 28 de setembro de 2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, fonte de toda sabedoria e inspiração, por me conceder força e rumo ao longo desta jornada de pesquisa e aprendizado, sempre me mostrando a luz, por mais difícil que fosse percebê-la em certos momentos.

Expresso minha profunda gratidão ao meu orientador, Prof. Dr. César Augusto Moreira, e à Profa. Dra. Vânia Silvia Rosolen, cuja dedicação e conhecimento foram essenciais para o meu crescimento acadêmico. O apoio incondicional, paciência e orientação ao longo desses anos foram fundamentais para a realização deste trabalho. Suas valiosas contribuições e encorajamento foram decisivos para a minha formação.

Agradeço ao Iata e a UNESPETRO pela ajuda com toda a aquisição de dados por meio de difratometria de raios-x, ao LEBAC pela assessoria e orientação das aquisições por GPS Diferencial. Agradeço ao Prof. Dr. Silvio do Departamento de Estatística Matemática Aplicada e Computação pelos esclarecimentos nas etapas de tratamento de dados.

Sou muito grato ao Hélio Ricardo Rodrigues por toda a ajuda na aquisição de dados de condutividade hidráulica, pela força e incentivo ao longo de todos esses anos. Meus sinceros agradecimentos aos meus amigos e colegas Lucas Moreira Furlan, Fernanda Teles Gomes, João Gabriel Rinaldi e Davi Parrotti pelas inúmeras ajudas, sejam elas braçais em campo, publicações ou na discussão de dados e resultados.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio prestado na forma de bolsa.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento do projeto intitulado “Funções hidrológica e ambiental das áreas úmidas sobre topos planos da Depressão Periférica Paulista” (processo no 2020/03207-9), coordenado pela Profa Dra Vânia Silvia Rosolen.

*Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é
senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria
menor se lhe faltasse uma gota*

(Santa Teresa de Calcutá)

RESUMO

No Brasil, desde o ano 2013 a região Sudeste lida com um recorrente estresse hídrico em virtude do prolongamento da estação seca, cuja tendência é ser mais dramática em função das mudanças climáticas. A situação é mais crítica em algumas áreas, o que inclui a região do município de Cordeirópolis-SP, onde é projetada uma redução de 50% a 100% na disponibilidade hídrica nos próximos 15 anos, algo alarmante em termos de equilíbrio entre oferta e demanda dos recursos hídricos. Assim, as áreas úmidas desempenham um papel importante como ecossistemas ativos na manutenção da qualidade e reserva das águas, atenuação natural de contaminantes e retenção de sedimentos. Na região de estudo ocorrem áreas úmidas geograficamente isoladas (AUGI), cujo reconhecimento da dinâmica hidrogeológica é uma tarefa crucial para a gestão ambiental e dos recursos hídricos, uma vez que as mesmas definem os caminhos e mecanismos de transporte de matéria e energia. O objetivo deste estudo é, portanto, avaliar as funções hidrogeológicas e ecossistêmicas de uma AUGI por meio de métodos minimamente invasivos, como mapeamento por veículo aéreo não tripulado (VANT), Eletrorresistividade, Gamaespectrometria, condutividade hidráulica, análise mineralógica e análise química do solo para desvendar alterações de origem antrópica e serviços ecossistêmicos em termos da dinâmica hidrogeológica. Os resultados evidenciaram os impactos ambientais na forma de conversão do solo para práticas agrícolas, bem como a supressão da vegetação natural e assoreamento. Ademais, a associação de diferentes métodos de investigação direta e indireta permitiu elucidar o papel das margens úmidas como zonas de retenção de metais e de conexão hídrica entre águas superficiais e subterrâneas, de modo que estas perfazem regiões ecologicamente sensíveis e extremamente importantes em termos de amortecimento ambiental. A Eletrorresistividade, por outro lado, com foco na arquitetura hidrogeológica, permitiu a compreensão da hidrodinâmica local, haja vista que o fluxo da água subterrânea é dado principalmente em meio fraturado (Formação Serra Geral) até aflorar em cabeceiras de drenagens, o que garante a manutenção dos mananciais das sub-bacias do Córrego Santa Gertrudes e do Ribeirão do Tatu durante os períodos de estiagem, além da recarga de unidades aquíferas mais profundas (Aquífero Tubarão). Assim, foi constatada a capacidade de certas AU's funcionarem como reservatórios de recarga e zonas de retenção geoquímicas para certos metais e compostos.

Palavras-chaves: solo hidromórfico; aquífero; agricultura; geofísica; VANT; metais pesados

ABSTRACT

In Brazil, since 2013 the Southeast region has been dealing with recurrent hydric stress resulted from the prolongation of the dry season, whose tendency is to be more dramatic in the function of climate change. The situation is more critical in some areas, including Cordeirópolis-SP, projecting a reduction of 50%–100% in water availability in the next 15 years, demanding urgency in water availability-use balance. Thus, wetlands play an important role as an active ecosystem in the maintenance of both water quality and reserve, natural attenuation of contaminants, sediments uptake, etc. A very specific type of wetland, known as geographically isolated wetland (GIW), occurring as a system of many individual wetlands in the region, whose recognition of its hydrogeological dynamics is a crucial task for water resources and environmental management. The objective of this study is, therefore, to evaluate the hydrogeological and ecosystem functions of an geographically isolated wetland (GIW) through minimally invasive methods such as unmanned aerial vehicle (UAV) mapping, DC resistivity acquisitions, gamma spectrometry, hydraulic conductivity, and mineralogical and chemical soil analyses to uncover anthropogenic alterations and ecosystem services in terms of hydrogeological dynamics. The results highlighted environmental impacts in the form of land conversion for agricultural practices, as well as the suppression of natural vegetation and sedimentation input. Furthermore, the combination of different direct and indirect investigation methods elucidated the role of wetlands as retention zones for metals and as hydraulic connections between surface and groundwater, making them ecologically sensitive regions that are extremely important in terms of environmental buffering. DC resistivity, on the other hand, focusing on hydrogeological architecture, ensured the understanding of local hydrodynamic processes, considering that groundwater flow occurs mainly in fractured media (Serra Geral Formation) until it emerges at the heads of drainage channels, thus ensuring the maintenance of water sources in the sub-basins of Córrego Santa Gertrudes and Ribeirão do Tatu during dry periods, as well as the recharge of deeper aquifer units (Tubarão Aquifer). Therefore, the realization of certain UGAI's capacity to function as true recharge reservoirs and geochemical retention zones for certain metals and other compounds.

Keywords: hydromorphic soil; aquifer; agriculture; geophysics, UAV, heavy metals.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo (A), indicada pelo polígono vermelho, inserida na zona rural do município de Cordeirópolis-SP. O detalhe (B) aponta para diferentes culturas agrícolas no local.	26
Figura 2: Delimitação do município de Cordeirópolis e a indicação das rodovias de acesso.	27
Figura 3: Mapa hipsométrico do município de Cordeirópolis.....	31
Figura 4: Mapa de declividade do município de Cordeirópolis.	32
Figura 5: As sub-bacias da UHGRI 5 – PCJ.	34
Figura 6: Sub-bacias do Rio Corumbataí (esquerda) e Ribeirão do Tatu (direita) no contexto da UGRHI 5 – PCJ, cujos pontos vermelhos representam AUGI mapeadas pelo presente estudo e por Junqueira (2021) (segmento Corumbataí). A área de estudo se localiza próximo à divisa entre as sub-bacias.	35
Figura 7: Mapa de localização da Bacia do Paraná. Sua cobertura no Brasil abrange todos os estados da região sul, além de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás.....	36
Figura 8: Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná. Nela é possível visualizar as seis diferentes superseqüências, espessura máxima e ambiente deposicional de cada formação.	37
Figura 9: Distribuição das unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná no Estado de SP..	39
Figura 10: Mapa geológico regional da área de estudo, segundo Loreti Júnior <i>et al.</i> (2014) e perfil esquemático (com sobrelevação) com base em dados SRTM (USGS).	43
Figura 11: Coluna estratigráfica das unidades aflorantes na região da área de estudo.	45
Figura 12: Aspecto geral do afloramento de diabásio em corte de estrada na Rodovia dos Bandeirantes (esquerda) e detalhes da rocha, com escala de 20 cm (direita). A localização é apontada na figura 1.	47
Figura 13: Mapa de distribuição espacial dos aquíferos e sistemas aquíferos aflorantes de parte do Sudeste e Centro-Oeste do Brasil e perfis esquemáticos do Estado de SP.....	48
Figura 14: Mapa pedológico da região da área de estudo.	51
Figura 15: Distribuição global das áreas úmidas (incluindo sistemas artificiais, como reservatórios).....	53
Figura 16: Número de citações ao termo “wetlands” em títulos e palavras-chave em publicações de 1955 a 2008.....	58
Figura 17: Distribuição espacial das áreas úmidas de maior expressão no norte da América do Sul, o que inclui o Brasil.	60

Figura 18: Componentes hidrológicos de uma área úmida geograficamente isolada (bacia de captação, área úmida, zona alagada e margem úmida), segundo Hayashi et al. (2016).....	64
Figura 19: Estágios de circulação da água no ciclo hidrológico global, com detalhe para a área úmida como componente de armazenamento de água dentro do ciclo e a água subterrânea como elemento de contribuição (período úmido).....	65
Figura 20: Sistema hidrológico de uma área úmida com os principais mecanismos de entrada e saída de água, fundamentais no cálculo do balanço hídrico.....	66
Figura 21: As fases e componentes dos solos.	69
Figura 22: Fluxos de matéria e energia entre solo e o ambiente, com detalhe para a interação entre o sistema radicular das plantas e agregados.	71
Figura 23: Estruturas das argilas 1:1 (caulinita) e 2:1 (esmectita) com detalhe para a interação entre a rizosfera e argilas do tipo 2:1 do solo, onde o CO ₂ é gerado pela respiração radicular e acidifica o meio. São necessários dois H ⁺ para que a troca com um cátion bivalente, a exemplo do Ca ²⁺ , aconteça. A acidificação do solo pela biosfera também é responsável pelo intemperismo de rochas e minerais primários, que contribuem para a liberação de elementos nutrientes.	74
Figura 24: Mecanismos de fluxo de matéria entre os componentes do solo.	75
Figura 25: Fluxograma representativo das etapas dos trabalhos da presente pesquisa desde a revisão bibliográfica até a conclusão da tese.....	84
Figura 26: Representação esquemática da Equação de Bragg. Onde θ é o ângulo entre o feixe de raios X incidente e o plano de incidência. A condição de difração é verificada quando a diferença de caminho for um múltiplo inteiro do comprimento de onda λ	87
Figura 27: Esquema de análise e componentes do sistema ICP-OES	88
Figura 28: Localização da radiação gama no espectro eletromagnético.	89
Figura 29: Meia vida de átomos radioativos, onde A representa o número inicial de radionuclídeos.....	90
Figura 30: Esquema de decaimento do ⁴⁰ K para ⁴⁰ Ca por meio de emissão β^- e ⁴⁰ Ar através de captura eletrônica (CE) com emissão gama de 1,34 MeV. A meia vida do ⁴⁰ K é de 1,26 x 10 ⁹	91
Figura 31: Séries de decaimento do ²³⁸ U, ²³² Th e ²³⁵ U até seus membros estáveis. As setas verticais e diagonais representam, respectivamente, decaimentos α e β . Detalhe para os valores de meias-vidas de cada componente.....	92
Figura 32: Espectros gama com a indicação das janelas de leitura do ⁴⁰ K, ²³⁸ U e ²³² Th.	97

Figura 33: Gráfico da resolução de um sistema gamaespectrométrico, cuja definição é dada pela largura total do fotopico pela metade da amplitude máxima (FWHM), expressa em porcentagem.	99
Figura 34: Componentes (fora de escala) de um permeâmetro Gelp e o bulbo de saturação gerado, onde H = coluna d'água; a = raio do poço/furo; ψ = gradiente de pressão.	101
Figura 35: Condutividade Metálica (a) e Condutividade Eletrolítica (b).	106
Figura 36: Esquema de um circuito elétrico simples associado a um resistor ôhmico de resistência R , comprimento L e seção transversal S	108
Figura 37: Propagação da corrente elétrica em subsuperfície, cuja superfície equipotencial descreve uma meia esfera. À direita, detalhe lateral da propagação com medição da ddp em superfície.	109
Figura 38: Configuração tetraédrica de eletrodos (AMNB) com detalhe para as linhas de fluxo de corrente e equipotenciais associadas em um meio com camadas de resistividades distintas.	110
Figura 39: Linhas de fluxo de corrente elétrica em função do espaçamento dos eletrodos em contexto de duas camadas horizontais de resistividades elétricas ρ_1 e ρ_2	111
Figura 40: Disposição e desenvolvimento dos eletrodos aplicados na técnica de tomografia elétrica, com detalhe para leituras em diferentes níveis de profundidade.	112
Figura 41: Aquisição de dados de altimetria por GPS de precisão, com detalhe para a antena receptora.	116
Figura 42: Mapa de pontos de aquisição GPS.	117
Figura 43: Localização dos cinco pontos de tradagem do solo.	118
Figura 44: Mapa de distribuição dos pontos de aquisição do método gamaespectrométrico terrestre. Número total de pontos: 507.	120
Figura 45: Aquisição gamaespectrométrica nas vertentes da AU de estudo, em local de plantio de cana-de-açúcar (a) e soja (b), além de leituras em afloramento de diabásio inalterado da Fm. Serra Geral (c e d), localizado no km 01 da Rodovia dos Bandeirantes.	121
Figura 46: Distribuição dos pontos de ensaio de condutividade hidráulica.	122
Figura 47: Trado tipo caneco (a); trado regulador da base do furo (b); e escova de aço (c).	123
Figura 48: Tradagem do furo de instalação do equipamento e o Permeâmetro Guelph em operação no interior da AU.	123
Figura 49: Localização das 17 linhas de aquisições de Eletroresistividade realizadas na área de estudo, além da sobreposição do polígono de abrangência VANT. As setas das linhas indicam o sentido da origem da aquisição.	124

Figura 50: Campanha de aquisição de dados de Eletrorresistividade, com detalhe para o resistivímetro (A) acoplado à linha de leitura.	125
Figura 51: Aspecto geral do afloramento de diabásio em corte de estrada e detalhes para as medidas estruturais.	126
Figura 52: Ortoimagem gerada pelo processamento de dados obtidos por VANT. No detalhe a variação da vegetação em função da variação da umidade do solo (a); cultivo de cana-de-açúcar (esquerda) e soja (faixa N-S central) (b); trecho de estrada alagado (c); e presença de água	128
Figura 53: Modelo Digital de Elevação gerado pelo processamento de dados obtidos por VANT e perfis topográficos associados. Perfis com sobrelevação de 10x.	129
Figura 54: Esquerda: delimitação da área de inundação e perímetro da AU. Os detalhes mostram detalhes da vegetação típica (majoritariamente <i>Brachiaria</i>) (1) presença de solos hidromórficos saturados (região em cinza escuro) (2). Direita: modelo digital de elevação.....	130
Figura 55: Modelo de Terreno 3D gerado pelo MDE (método TIN) com a ortoreografia VANT sobreposta. São indicadas na imagem áreas impactadas pela conversão do uso do solo (tracejado amarelo) em área agrícola e estradas, o que em tese confere em um desequilíbrio das condições naturais de infiltração e aporte de sedimentos. Modelo com sobrelevação.....	131
Figura 56: Modelo Digital de Elevação gerado pelo processamento de dados obtidos pelo GPS de precisão e perfis topográficos associados. Perfis com sobrelevação de 10x.	132
Figura 57: Perfil esquemático dos cinco perfis de solo analisados.	137
Figura 58: Análises químicas dos perfis de solo P01 e P02 em função dos horizontes amostrados.	142
Figura 59: Análises químicas dos perfis de solo P04 e P05 em função dos horizontes amostrados.	143
Figura 60: Diagramas boxplot para os coeficientes de variação referentes às leituras gama para K (a), U (b) e Th (c).....	145
Figura 61: Avaliação do tempo de aquisição em função do coeficiente de variação (CV) referente à leitura de K.	146
Figura 62: Mapa de distribuição espacial das concentrações de K. A linha pontilhada delimita o compartimento hidromorfológico da área úmida atual.....	147
Figura 63: Mapa de distribuição espacial do coeficiente de variação dos dados referentes ao K. A linha pontilhada delimita o compartimento hidromorfológico da área úmida atual.....	148
Figura 64: Mapa de distribuição espacial das concentrações de eU. A linha pontilhada delimita o compartimento hidromorfológico da área úmida atual.....	149

Figura 65: Mapa de distribuição espacial das concentrações de eTh. A linha pontilhada delimita o compartimento hidromorfológico da área úmida atual.....	149
Figura 66: Mapa de distribuição espacial da relação eU/eTh. A linha pontilhada delimita o compartimento hidromorfológico da área úmida.	150
Figura 67: Esquema geral da mobilidade geoquímica na AU de estudo com base nos metais guia (U, Th e K) durante estações úmida e seca. MOD: Matéria Orgânica Dissolvida. As cores amarela, verde e azul representam solo, Fm. Serra Geral e Fm. Corumbataí, respectivamente.	153
Figura 68: Consequências do incêndio ocorrido em agosto de 2021 na AU de estudo (a), com detalhe para a destruição da vegetação nativa (b) e a ocorrência de marcas de veículos automotores pesados pelo centro da área.	155
Figura 69: Mapas de distribuição espacial do K (%), eU (ppm), eTh (ppm) e eU/eTh após o incêndio na AU. A linha pontilhada delimita o compartimento hidrogeomórfico da área úmida.	157
Figura 70: Lançamento de fertilizantes minerais da área de estudo em meados de maio de 2020.	158
Figura 71: Mapa de condutividade hidráulica (cm/s) da AU e vertentes. A linha pontilhada delimita o compartimento hidromorfológico da área úmida e as setas indicam zonas de intensificação do escoamento superficial em função da baixa condutividade hidráulica em solo agrícola.	158
Figura 72: Modelos de inversão referentes as linhas de aquisição 1 a 16.	160
Figura 73: Modelo de inversão referente à linha de aquisição 17, com comprimento de 630 m.	163
Figura 74: Mapas multiníveis subsuperficiais da distribuição do parâmetro físico da resistividade elétrica.	166
Figura 75: Estereograma de projeção no hemisfério inferior utilizado para a plotagem de 135 polos de fraturas em afloramento de diabásio.	168
Figura 76: Integração de dados de morfologia do terreno com o modelo geofísico e a interpretação geológica local.	168
Figura 77: Esquema da dinâmica hidrogeológica regional da área de estudo com a indicação dos fluxos pelas setas (em domínio fraturado associado à Fm. Serra Geral e poroso associado à Fm. Corumbataí, compreendida como um aquitarde). Neste caso, a associação de AU's agem como verdadeiras “caixas d'água” na manutenção de drenagens próximas.	169

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características gerais e faixas de vazões exploráveis indicadas para os aquíferos sedimentares da Bacia do Paraná. Para cada faixa é indicado o valor máximo de vazão, em m ³ /h.	48
Tabela 2: Serviços ecossistêmicos oferecidos pelas áreas úmidas.	57
Tabela 3: Composição química média dos solos, relação entre a composição da matéria mineral vegetal e dos solos e a taxa de absorção pelas plantas.	70
Tabela 4: Categorias de poluentes associados às práticas agrícolas, pecuária e aquicultura. As cores correspondem à contribuição relativa alta (vermelho), média (amarelo) e baixa (verde).	76
Tabela 5: Principais tipos de defensivos agrícolas e respectivas marcas comercializadas em 2020, de acordo com a Cooperativa de Plantadores de Cana do Estado de São Paulo (COPLACANA), unidade Rio Claro-SP.	81
Tabela 6: Cálculo do fator forma C em função das categorias de solo, onde α^* é o fator de capilaridade microscópica (cm-1); a é o raio do poço/furo; e H1 e H2 as alturas das colunas d'água segundo o método de carga dupla.	104
Tabela 7: Parâmetros principais de aquisição e processamento de dados por VANT.	115
Tabela 8: Coordenadas dos pontos de tradagem, cota e profundidades máximas alcançadas.	117
Tabela 9: Área e perímetro de cada componente hidrogeomórfico da AU de estudo.	131
Tabela 10: Descrição dos horizontes de solo do ponto de tradagem P01.	134
Tabela 11: Descrição dos horizontes de solo do ponto de tradagem P02.	135
Tabela 12: Descrição dos horizontes de solo do ponto de tradagem P03.	135
Tabela 13: Descrição dos horizontes de solo do ponto de tradagem P04.	136
Tabela 14: Descrição dos horizontes de solo do ponto de tradagem P05.	136
Tabela 15: Composição mineralógica obtida por difratometria de raios X para os horizontes representativos. A ordem de espécies minerais apresentada reflete a contagem do(s) respectivo(s) pico(s) no difratograma gerado (ver apêndice III).	138
Tabela 16: Valores máximos, mínimos, média e mediana obtidos para K (desconsiderando os dados abaixo do limite de detecção), eU e eTh na AU de estudo.	144
Tabela 17: Valores de concentração de K, eU e eTh no afloramento de diabásio.	153

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA – Agência Nacional de Águas;
ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil;
ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações;
AU – Área úmida;
AUGI – Área úmida geograficamente isolada;
BGO – Germanato de bismuto (cintilador);
CBH – Comitê de Bacias Hidrográficas;
CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos;
CPP – Centro de Pesquisas do Pantanal;
CPRM – Serviço Geológico do Brasil;
CRH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos;
CV – Coeficiente de variação;
CWCS – *Canadian Wetland Classification System*;
DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica;
DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo;
ERT – *Electrical resistivity tomography*;
ETR – Elementos terras raras;
FAO – *Food and Agriculture Organization*;
GPS – *Global Positioning System*;
IBGE – Instituto brasileiro de Geografia e Estatística;
IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal;
INCT – Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Áreas Úmidas;
ICP-OES - *Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry*;
IO – Instituto de Oceanografia;
IOUSP – Instituto de Oceanografia da Universidade de São Paulo;
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas;
IUCN – *International Union for Conservation of Nature*;
IUSS – *International Union of Soil Science*;
MAUA – Grupo de Monitoramento de Áreas Úmidas da Amazônia;
MDE – Modelo digital de elevação;
MOS – Matéria orgânica do solo;

NORM – *Naturally occurring radioactive material*;

NPK – Nitrogênio, fósforo e potássio (fertilizantes);

NRC – *National Research Council*;

NUPAUB – Núcleo de Apoio a Pesquisa sobre Populações Humanas em Áreas Úmidas Brasileiras;

OLS – *Ordinary least squares*;

PCJ – Piracicaba/Capivari/Jundiaí (bacias);

PCSG – Polo Cerâmico de Santa Gertrudes;

PREP – Programa Regional Ambiental do Pantanal;

RMS – *Root-mean squared*;

SGB – Serviço Geológico do Brasil;

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*;

UEM – Universidade Estadual de Maringá;

UFMT – Universidade Federal do Mato Grosso;

UGRHI – Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

UNDESA – *United Nations Department of Economic and Social Affairs*;

UNECE – *United Nations Economic Commission for Europe*;

UNESP – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho;

UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar;

UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos;

USFWS – *United States Fish and Wildlife Service*;

USGS – *United States Geological Survey*;

VANT – Veículo aéreo não tripulado;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	20
1.1 Justificativa	22
1.2 Hipótese	24
1.3 Tese	24
2. OBJETIVOS	25
2.1 Objetivos Específicos	25
3. ÁREA DE ESTUDOS	26
3.1 Dados socioeconômicos locais	28
3.2 Histórico do desenvolvimento local e agrícola	29
3.3 Clima	30
3.4 Relevô	30
3.5 Hidrografia	32
3.6 Geologia	35
3.6.1 Bacia do Paraná	35
3.6.1.1 Contexto estratigráfico da Bacia no Paraná no Estado de São Paulo	38
3.6.1.2 Geologia regional	42
3.6.1.3 A Formação Serra Geral	45
3.7 Unidades aquíferas da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo	47
3.8 Pedologia	50
4. ÁREAS ÚMIDAS	53
4.1 Definições e considerações históricas	53
4.2 Áreas Úmidas no contexto nacional	59
4.3 Áreas Úmidas Geograficamente Isoladas – AUGI	63
4.4 Aspectos hidrogeoquímicos das AUGI	68
5. INSUMOS AGRÍCOLAS E IMPACTOS AMBIENTAIS	76

5.1	Fertilizantes	77
5.1.1	<i>Fertilizantes Minerais</i>	77
5.1.2	<i>Fertilizantes Orgânicos</i>	79
5.3	Insumos agrícolas utilizados na região de estudo	81
6.	MATERIAIS E MÉTODOS	83
6.1	VANT	84
6.2	Amostragem e descrição do solo	85
6.3	Análise mineralógica por difratometria de raios x	86
6.4	Análise química do solo por ICP-OES	88
6.5	Gamaespectrometria	89
6.5.1	<i>Radioatividade Natural</i>	89
6.5.1.1	Potássio	92
6.5.1.2	Urânio	93
6.5.2	<i>Gamaespectrometria Terrestre</i>	95
6.5.3	<i>Resolução</i>	99
6.5.4	<i>Tempo morto</i>	99
6.6	Condutividade Hidráulica	100
6.7	Eletrorresistividade	105
6.7.1	<i>Mecanismos de propagação da corrente elétrica</i>	106
6.7.2	<i>Princípios teóricos</i>	107
6.7.2.1	Técnica e arranjo.....	112
6.8	Geologia estrutural	113
6.9	Aquisição e processamento de dados	113
7.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	127
7.1	Caracterização hidrogeomórfica da AU	127
7.2	Avaliação pedológica, geoquímica e hidrodinâmica superficial a subsuperficial rasa	133

APÊNDICE I - Dados gamaespectrométricos da primeira campanha de aquisição (04/08/2020)	202
APÊNDICE II - Dados gamaespectrométricos da segunda campanha de aquisição (01/09/2021)	214
APÊNDICE III - Difrátogramas das amostras de solo	218

1. INTRODUÇÃO

Em virtude do contínuo crescimento populacional, sobretudo ao longo do século XX, é esperada que a população mundial atinja a notória marca de 9,7 bilhões em meados dos anos 2050 (UNDESA, 2017). Desta maneira, os atuais problemas socioambientais tendem ao agravamento, sobretudo por questões de acesso à água potável, oferta de alimentos e saneamento básico, além da consequente degradação ambiental causada pela pressão humana sobre ecossistemas. Assim, a manutenção da qualidade hídrica configura uma das mais importantes e desafiadoras tarefas deste século.

A busca por novos mananciais é crescente à medida que a demanda ultrapassa a capacidade de produção das atuais fontes de abastecimento, principalmente pelo impacto negativo das atividades humanas sobre a qualidade de suas águas. Este fato foi intensificado durante o prolongado período de estiagem enfrentado no centro-sul do Brasil, em especial o Estado de São Paulo, no ano de 2001 e no biênio 2014-2015, cujas consequências sociais, econômicas, políticas e de governança reverberam até os dias atuais (CAVALCANTI & KOUSKY, 2002; RESENDE, 2002; RIBEIRO et al., 2007; MARENGO et al., 2015).

Em regiões notoriamente afetadas por estresse hídrico no mundo, o gerenciamento inadequado dos recursos hídricos acarreta o decréscimo da qualidade de vida da população com grandes perdas econômicas, sobretudo em virtude da falta de compreensão acerca dos sistemas hídricos locais e regionais e suas funções hidrogeológicas, como é o caso das ditas áreas úmidas (AU).

Historicamente, as AU compõem a lista dos ecossistemas mais ameaçados do planeta. Dahl (1990) estima uma perda de cerca de 30% das AU dos Estados Unidos em um período de 200 anos (1780-1980), ao passo que em outras localidades da América do Norte, Austrália, Europa e Nova Zelândia viram tais ecossistemas reduzidos em até 50% no último século (BERNÁLDEZ et al., 1993; FINLAYSON et al., 2005). No Brasil, embora não existam estimativas do tipo, as AU perfazem aproximadamente 20% de todo o seu território, o que inclui diversas localidades da Bacia Amazônica (JUNK, 1993; JUNK et al., 2011; JUNK et al., 2013).

Como consequência à degradação ambiental, o tratado para proteção e práticas sustentáveis de AU, mundialmente conhecido como Convenção de Ramsar, foi efetivado em 1975 na cidade iraniana homônima, sendo o primeiro acordo ambiental intergovernamental do tipo da história, com 150 países signatários, inclusive o Brasil. Mesmo após certos avanços, tais ambientes ainda configuram entre aqueles mais ameaçados do planeta, seja pela implementação

de sistemas de drenagem, conversão, poluentes, introdução de espécies invasoras ou atividades extrativas (RAMSAR, 2016).

O fato é que os desafios da área ainda são enormes, o que inclui aspectos econômicos e culturais, onde muitas vezes áreas alagadiças são vistas como regiões impróprias e insalubres (MITSCH & GOSSELINK, 2015). Fato é que pântanos, charcos, florestas de várzea, manguezais, buritizais e tantos outros termos utilizados, configuram ambientes de extrema importância em função dos serviços ecossistêmicos por eles ofertados, haja vista aqueles relacionados à provisão de alimentos, culturais, suporte e regulação (FINLAYSON et al., 2005; MBAIWA et al., 2008), este último no âmbito climático e de qualidade hídrica.

Deste modo, as AU, em termos de função hídrica, são tidas como regiões de armazenamento e depuração das águas e recarga de sistemas aquíferos (APPELS et al., 2015), além de agirem como filtros geoquímicos na depuração de nutrientes e contaminantes com consequente manutenção da qualidade hídrica (OLIVIE-LAUQUET et al., 2001; BIRCH et al., 2004). Em escala regional, as funções ecossistêmicas desempenhadas por um conjunto de AU's são ainda mais expressivas na paisagem hidrológica, em especial pela dinâmica e interação entre águas superficiais e subterrâneas e mobilização de matéria e energia (HAYASHI et al., 2016; RAINS et al., 2016). Ademais, o armazenamento superficial e subsuperficial de água pode garantir parte do suprimento local em regiões notoriamente impactadas por déficit hídrico (BULLOCK & ACREMAN, 2003).

Além de sua importância hídrica, uma AU pode representar um componente importante de acúmulo e transferência de matéria e energia, sobretudo quando considerada a função deste ambiente na dinâmica climática em escala global. Como exemplo, as turfeiras cobrem apenas 3% da superfície continental do planeta, embora possuam a capacidade de armazenar duas vezes mais carbono do que as áreas florestais da Terra (RAMSAR, 2016). Desta maneira, as áreas úmidas de um modo geral perfazem a maior fonte natural de emissão de metano (CH_4) do planeta (12 Tg/ano), um potente gás causador do efeito estufa, o que configura um exemplo bastante claro da interdependência entre AU's e sistema climático global que, de certa forma, estabelece um sistema de *feedback* positivo em termos das mudanças climáticas atuais (FLETCHER et al., 2004; BOUSQUET et al., 2006; FISHER et al., 2011).

Práticas agrícolas inadequadas, assim como a expansão de manchas urbanas, construção de rodovias e estradas, diques de drenagem, dentre outras formas de conversão do solo, são os fatores antrópicos essenciais na degradação e inviabilidade ecossistêmica das AUs, haja vista a redução da oferta e qualidade da água, alteração dos fluxos de recarga de aquíferos, introdução de substâncias contaminantes, mudanças nas características do solo e redução de sua fertilidade,

redução de infiltração e aceleração da erosão por aumento do fluxo superficial, destruição da vegetação e da própria AU (ZUQUETTE et al., 2020).

Neste contexto, diversas categorias de poluentes gerados pelas atividades agrícolas, de pecuária e aquicultura podem influenciar negativamente a qualidade das águas nos sistemas hídricos: nutrientes, metais, pesticidas, sais, sedimentos, matéria orgânica e patógenos (BORDONAL et al., 2018; MATEO-SAGASTA et al., 2018). No primeiro caso, o uso inadequado de fertilizantes, que inclui a fertirrigação por vinhaça, pode ser traduzido num expressivo risco em virtude da possibilidade de eutrofização de águas superficiais, com consequente desbalanço ecossistêmico (HASSUDA, 1989; GLOEDEN, 1994; DONZELLI, 2005; CHRISTOFOLETTI et al., 2013; CAMP & HEATH-CAMP, 2016; MATEO-SAGASTA et al., 2018).

Em relação aos fertilizantes minerais, como compostos do tipo NPK (nitrogênio-fósforo-potássio), o excesso e má aplicação do produto pode causar a mobilização em massa de nutrientes para aquíferos e águas superficiais (ARREGUI & QUEMADA, 2006; GHIBERTO et al., 2009), além de desempenhar certa contribuição na radioatividade ambiental (SOUZA & FERREIRA, 2005). Tal fato é explicado pela presença de radionuclídeos das séries de decaimento do ^{232}Th e ^{238}U , além do ^{40}K , associados à algumas matérias-primas utilizadas na fabricação destes compostos (minerais fosfáticos, por exemplo), cujas mobilidades no ambiente podem estar imitadas aos mecanismos de adsorção por argilominerais, matéria orgânica e óxidos/hidróxidos de Fe, Mn e Al presentes na pedosfera e hidrosfera (IAEA, 1973; BECEGATO & FERREIRA, 2005; SOUZA & FERREIRA, 2005; CONCEIÇÃO & BONOTTO, 2006a; HUSSAIN & HUSSAIN, 2011; MAZZILLI et al., 2013).

Devido ao caráter resiliente dos contaminantes, o manejo adequado de diversos pesticidas e agroquímicos, fontes de metais pesados, e compostos orgânicos tóxicos, como o grupo dos organofosfatos, carbamatos, piretróides, e organoclorados, (MATEO-SAGASTA et al., 2018), é uma questão fundamental para práticas agrícolas de baixo impacto ambiental (UNECE, 1995; GIMENO-GARCÍA et al., 1996; TURGUT, 2003; MONCRIEFF & BENTLEY, 2008), uma vez que as atividades humanas têm um papel importante na alteração dos ciclos geoquímicos naturais, como é o caso dos metais pesados (JING et al., 2018).

1.1 Justificativa

Do ponto de vista socioeconômico, a agricultura possui um papel de destaque no desenvolvimento dos países. Individualmente, o setor consome cerca de 70% de toda a água

explorada no mundo para suprir com alimentos, fibra e combustíveis, com uma taxa de crescimento de 1,7% superior ao observado para o aumento populacional (FAO, 2016).

No Estado de São Paulo a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) representou em 2016 o principal produto agrícola, cujas plantações ocupam uma área de aproximadamente 5,5 milhões de hectares, equivalente ao território do estado da Paraíba, e distribuídas em cerca de 100 mil Unidades de Produção Agropecuária (UPAs) em espaço equivalente a mais de 50% de toda área de cana-de-açúcar cultivada em todo território nacional (UNICA, 2021). Com uma produção de 437.546.402,37 t em 2020 e milhares de postos de trabalho gerados (SILVA, 2021), o estado de São Paulo enfrenta o desafio de conciliar a oferta de biocombustível (etanol) e açúcar para o mercado internacional com a redução dos impactos ambientais causados pela atividade agrícola (FILOSO et al., 2015) e a preservação dos biomas locais e ecossistemas, como é o caso das AU's.

Na região o plantio de cana-de-açúcar pode ser realizado em três épocas distintas do ano: a primeira de fevereiro a maio (período chuvoso), a segunda de junho a agosto (período seco) e a última durante o início do período chuvoso que vai de setembro a novembro, com safras efetuadas no período entre abril e novembro e de forma predominantemente mecanizada. O cultivo extensivo é semiperene, com novo plantio efetuado a cada quatro ou cinco anos e a preparação do solo é realizada com fertilizantes minerais e orgânicos (vinhaça), embora o volume de pesticidas (principalmente herbicidas) aplicado na cana-de-açúcar seja significativamente menor quando comparado ao cultivo de soja (MACEDO, 2005).

A soja no estado, por sua vez, configura como um dos principais grãos produzidos e ocupa uma área de aproximadamente 1.154.281 hectares. De acordo com a EMBRAPA (2014), o melhor período compreendido para semeadura vai de setembro a dezembro, com colheita entre os meses de fevereiro a maio no Estado de São Paulo. Segundo Macedo (2005), os inseticidas são insumos importantes para a cultura, cuja aplicação abrange cerca de 0,4 kg/ha, um volume aproximadamente quatro vezes maior do que o aplicado nas lavouras de cana-de-açúcar.

Assim, o estado tido como o principal polo econômico nacional, o que inclui a agroindústria, tem como desafio a manutenção de um de seus principais produtos de exportação e de milhares de empregos diretos e indiretos, ao mesmo tempo que deve estabelecer políticas ambientais específicas para o gerenciamento, proteção e manutenção da integridade de mananciais e sua qualidade hídrica.

A compreensão acerca das dinâmicas hídrica superficial e subsuperficial, suas interações e dos processos que influenciam diretamente o comportamento dos contaminantes

no meio ambiente são necessárias, haja vista a pressão de regiões populosas, industrializadas e de agricultura intensiva sobre o meio hídrico, como é o caso do interior paulista. O inventário de AU's elaborado por Zuquette *et al.* (2020) indica alta pressão antropogênica sobre AU's no estado, especialmente aquelas relacionadas aos solos argilosos gerados pelo intemperismo de diabásio (de grande interesse agrícola), fato que justificaria modelos hidrológicos e estudos ecossistêmicos mais aprofundados, especialmente em associação ao fator geológico local. Assim, a análise desses parâmetros em uma área úmida geograficamente isolada (AUGI) seria de grande auxílio no gerenciamento de áreas impactadas, busca por novos mananciais, governança ambiental, proteção e preservação, com foco no uso harmônico da terra e demais recursos naturais.

1.2 Hipótese

As áreas úmidas geograficamente isoladas são caracterizadas como depressões topográficas fechadas, que permitem uma lenta infiltração de água proveniente do fluxo superficial de sua área de influência, constituída por solos hidromórficos e orgânicos. Tais características tornam estas áreas locais de armazenamento de água e retenção de uma grande quantidade de elementos químicos e compostos de origem antrópica, devido as suas condições redutoras e a grande quantidade de matéria orgânica.

A monocultura de larga escala é baseada no uso intensivo de fertilizantes e pesticidas que utilizados de forma descontrolada, podem implicar na mobilidade destes compostos por escoamento superficial e acúmulo em AU's.

Diante do exposto, a tese visa avaliar a conectividade de AU's entre sistemas hídricos de superfície e de subsuperfície, em região de cultura de cana-de-açúcar e soja, além dos impactos gerados por tais práticas em termos de conversão do uso do solo, sedimentação e contaminação, esta última com possível mobilização geoquímica para o ambiente subsuperficial.

1.3 Tese

Este trabalho defende a tese de que as áreas úmidas são zonas de armazenamento e recarga de aquíferos por infiltração direta de águas pluviais ou por escoamento superficial. Nesse sentido, o uso da terra nas imediações de áreas úmidas pode interferir diretamente na qualidade das águas, o que inclui a recarga de sistemas aquíferos.

2. OBJETIVOS

O objetivo do presente estudo é caracterização física superficial e da arquitetura hidrogeológica de área úmida em região de cultivo intensivo de cana-de-açúcar com o intuito de analisar possíveis funções de natureza hídrica (armazenamento de água superficial) e hidrogeológica (recarga de aquíferos), além da avaliação de impactos ambientais de origem antrópica e mobilidade geoquímica.

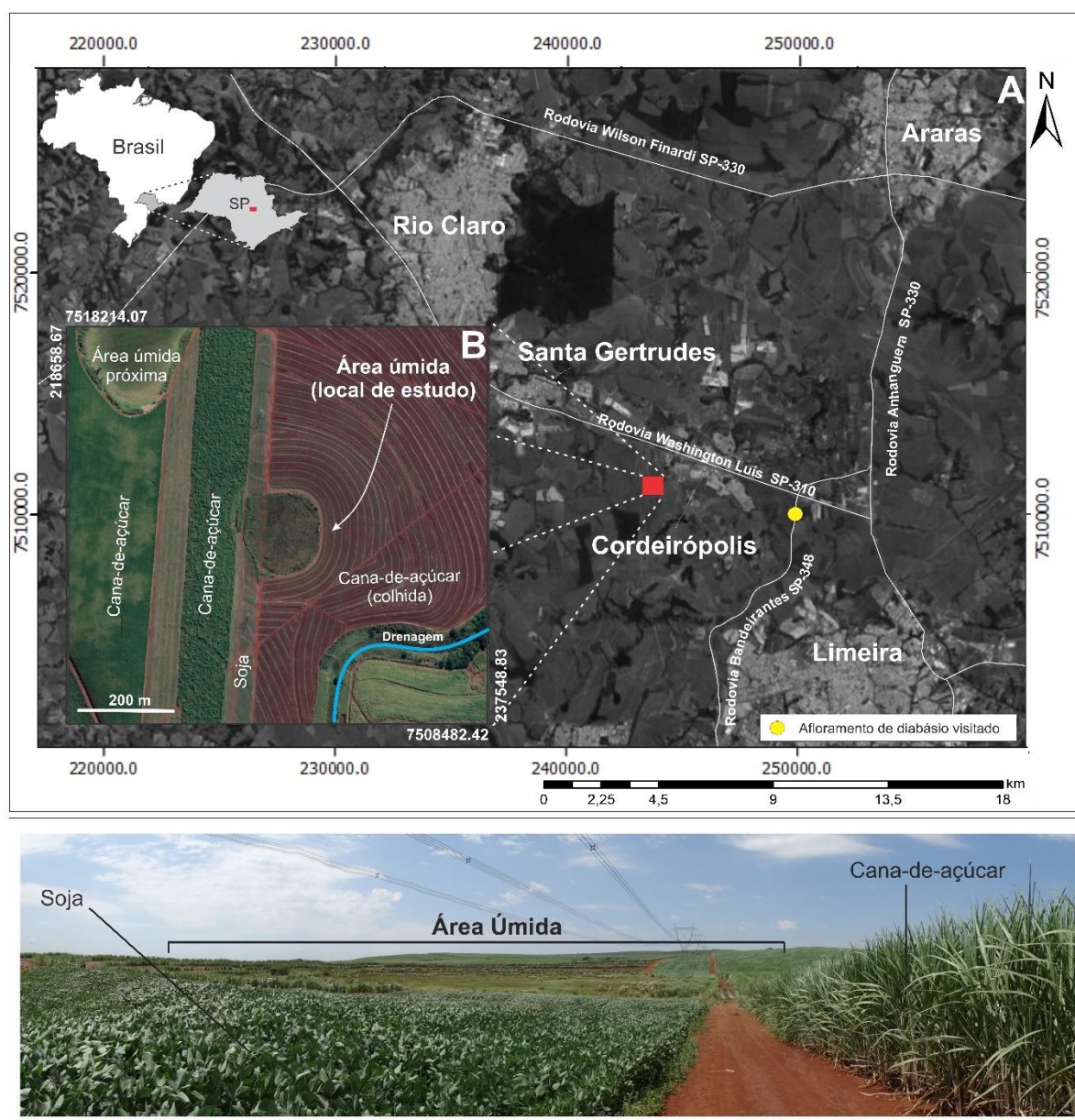
2.1 Objetivos Específicos

- Estimativa hídrica ou de armazenamento superficial de água na superfície da AU em função de variações sazonais;
- Avaliar a arquitetura hidrogeológica com o reconhecimento de eventuais zonas de conexão de águas de superfície e de subsuperfície;
- Estimar o grau de permeabilidade do substrato da área úmida e seu potencial de contribuição na recarga de aquíferos;
- Análise do comportamento e mobilidade geoquímica de elementos químicos relacionados ao cultivo da terra de entorno da área úmida; e
- Análise integrada dos dados e avaliação do grau de exposição da área úmida ao aporte de produtos químicos e risco de contaminação de aquíferos.

3. ÁREA DE ESTUDOS

A área de estudo está localizada na zona rural do município de Cordeirópolis, a uma altitude de 653 m e definida pelas coordenadas -22° 29' 22" S e -47° 29' 14" W, parte da Microrregião de Limeira e Mesorregião de Piracicaba, porção central do estado de São Paulo, Brasil (Figura 1). Cordeirópolis faz divisa com Santa Gertrudes a oeste, Iracemápolis a sul, Araras ao norte e Limeira a leste.

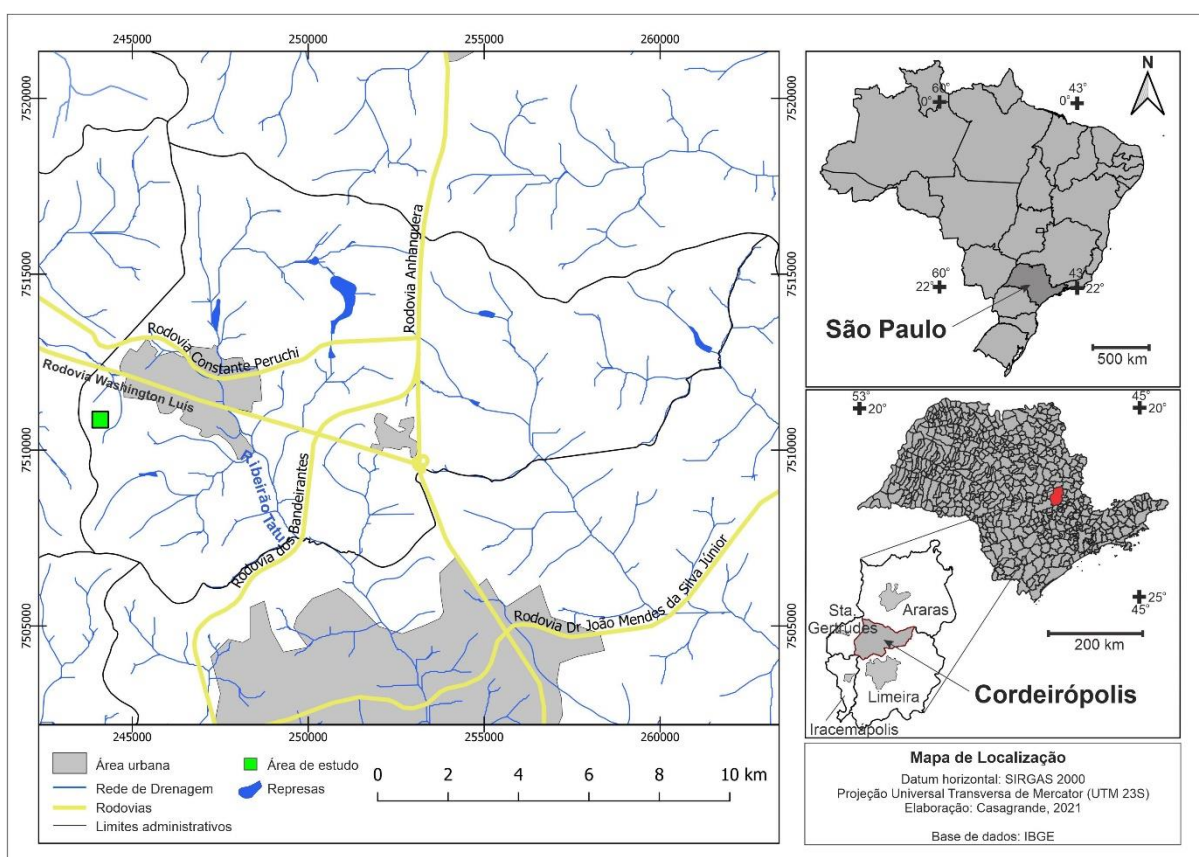
Figura 1: Localização da área de estudo (A), indicada pelo polígono vermelho, inserida na zona rural do município de Cordeirópolis-SP. O detalhe (B) aponta para diferentes culturas agrícolas no local.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em termos logísticos, o município é servido por diversas rodovias estaduais, além de estar localizado a 82 km do Aeroporto Internacional de Viracopos, em Campinas, e a aproximadamente 376 km da capital do estado. O acesso à área de estudo é dado por estradas rurais a partir do Bairro do Cordeiro, este último localizado às margens da Rodovia Washington Luís (SP-310), um importante trecho rodoviário do interior paulista que interliga as Rodovias Anhanguera (SP-330) e Bandeirantes (SP-348) à região de São José do Rio Preto-SP (Figura 2).

Figura 2: Delimitação do município de Cordeirópolis e a indicação das rodovias de acesso.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O local, assim como grande parte do estado, é majoritariamente destinado ao plantio de cana-de-açúcar e soja. Em virtude do tráfego de máquinas agrícolas pesadas na área, foram construídas estradas não pavimentadas ao redor de todo o perímetro da área, bem como uma área destinada à linhas aéreas de transmissão de energia de alta tensão que intercepta a área de estudo na direção aproximada de N-S. Assim, foi estabelecida uma zona de proteção à rede, também conhecida como faixa de servidão, que engloba uma faixa do terreno de 20 a 24 m de

largura e limita o cultivo de culturas cuja limpeza seja realizada através de queimadas, a exemplo da cana-de-açúcar e capim colônia, além de árvores de grande porte e instalações dos mais variados tipos. Por outro lado, a depender de critérios estabelecidos, são permitidas plantações rasteiras e culturas de pequeno a médio porte. Na figura 1 essa faixa de servidão é indicada pela área de lavoura de soja, à direita, em meio à extensas áreas destinadas ao cultivo de cana-de-açúcar.

3.1 Dados socioeconômicos locais

A região configura uma importante área econômica no domínio estadual, haja vista a integração do município ao Polo Cerâmico de Santa Gertrudes (PCSG), composto ainda pelos municípios de Santa Gertrudes, Rio Claro, Araras, Iracemápolis, Limeira e Piracicaba. As características geológicas locais, como a ampla ocorrência da Formação Corumbataí na região (origem da argila como matéria-prima), configuram um fator fundamental no desenvolvimento do PCSG como o maior polo do tipo nas Américas e um dos maiores no mundo (CHRISTOFOLETTI & MORENO, 2011). Das 34 cerâmicas do PCSG, que geram 11.500 empregos diretos, cerca de 10 delas estão localizadas em Cordeirópolis, o que perfaz por volta de 58% dos postos de trabalho de todo o setor industrial municipal (VIEIRA & VIEIRA, 2018; ASPACER, 2021).

A região é servida por um grande entroncamento de rodovias estaduais e municipais que ligam o PCSG às regiões metropolitanas de Campinas e São Paulo, e seus respectivos aeroportos internacionais, além de diversas outras áreas consumidoras e industriais do estado e do país (Figura 2). Tal posição estratégica no interior paulista faz da região uma zona economicamente diversificada e com grande capacidade de escoamento de bens manufaturados e agrícolas.

No aspecto agrícola, o município tem a cana-de-açúcar como seu principal produto do setor com uma produção superior a 900 mil toneladas e área plantada de 10.020 ha, seguido por milho, soja, mandioca e tomate (IBGE, 2021).

Com uma população estimada em 25.116 pessoas, Cordeirópolis conta com uma densidade demográfica de aproximadamente 180,45 hab/km² (IBGE, 2021). A importância da indústria, setor de serviços e agricultura coloca o município com o 11º maior produto interno per capita do estado de São Paulo e 48º de todo o Brasil, um montante de 116.519,63 reais (IBGE, 2021).

No que tange ao aspecto social, o município possui um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,758, acima da média brasileira, com um nível de ocupação em relação à população total de 42,5% e rendimento médio mensal de 3,0 salários mínimos, segundo dados de 2019, enquanto que a parcela de menor renda, que recebe até meio salário mínimo, abrange cerca de 30,4% da população, o que estabelece Cordeirópolis na posição 381 de 645 dentre as cidades paulistas e na posição 4607 de 5570 à nível nacional (IBGE, 2021).

Dados do Censo 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apontaram para uma elevada taxa de escolarização de crianças e jovens de 6 a 14 anos de cerca de 96,7% e mortalidade infantil baixa, com 6,9 óbitos por mil nascidos vivos, o que também traduz a elevada taxa de esgotamento sanitário do município (92,3%) (IBGE, 2021).

3.2 Histórico do desenvolvimento local e agrícola

O início do processo de ocupação do atual município de Cordeirópolis teve início no século XIX, cujo nome remete à antiga Fazenda Cordeiro, onde, pela lei nº 645 de 7 de agosto de 1889, foi criado o Distrito de Paz de Cordeiro, compreendido pelas povoações de Cordeiro e Cascalho, que na época, ainda faziam parte do atual município limítrofe de Limeira (TAMIAZO, 2021).

Do ponto de vista político, as primeiras mobilizações sociais pela emancipação do distrito foram registradas em 1902 através de reivindicações feitas ao Congresso Legislativo do Estado na época, porém a emancipação completa viria décadas mais tarde através da Lei Estadual nº 233 de 24 de dezembro de 1948. O nome atual foi definido apenas por plebiscito municipal de 1943, que significa, literalmente, “cidade do cordeiro” (TAMIAZO, 2021).

Na agricultura, o ramo de café e cana aparecem no atual brasão de armas do município em alusão ao passado e presente agrícolas. A produção cafeeira da região é datada do século XIX, com destaque para a antiga Fazenda Ibicaba, de propriedade do então Senador Vergueiro, e um dos pioneiros núcleos rurais de mão de obra assalariada do país. O local de estudo está localizado em terras outrora pertencentes à denominada fazenda, fato este que demonstra um longo e praticamente ininterrupto histórico de atividade agrícola no entorno da AU.

Com o início das atividades da Companhia Paulista de Estradas de Ferro que, através dos esforços dos fazendeiros na época que visavam escoar a produção cafeeira até o porto de Santos, a empresa inaugura o trecho Rio Claro-Campinas em 1876, juntamente com a estação

de Cordeiro. Esta forma de escoamento de produtos foi fator essencial na prosperidade econômica do município, até seu desenvolvimento atual.

Após longo período de vanguarda e destino de dezenas de famílias de imigrantes europeus para o trabalho nos cafezais, o sistema entrou em decadência, sobretudo após históricas revoltas de colonos e declínio da produção cafeeira (DAVATZ, 1980). A partir de 1930 a cana-de-açúcar passa a ocupar o lugar do café como principal produto de exportação de São Paulo e do País, haja vista as consequências econômicas e sociais da crise de 1929.

Após essa mudança no cenário agrícola nacional, a produção de açúcar seguiu de forma crescente e alçou o Brasil como um dos maiores produtores de açúcar e, posteriormente, etanol combustível do mundo, cujo setor possui como seu principal polo de cultivo e produção o estado de São Paulo.

3.3 Clima

De acordo com a classificação climática de Köppen & Geiger (1928), o clima do município é do tipo “Cwa”, caracterizado como úmido de verão quente e inverno seco com temperatura média de 21,1° C, o que confere a ocorrência de secas agrícolas no período compreendido entre maio e setembro (BLAIN & BRUNINI, 2007).

Dados coletados em estações meteorológicas administradas pelo Instituto Agrônomo de São Paulo de municípios vizinhos revelam uma possível tendência de queda na precipitação, cuja média anual de 1.212 mm para os anos de 2018, 2019 e 2020 é significativamente inferior aos dados históricos de 1.366 mm com base no período de 1961 a 1990 (IA, 2021). Entretanto, a ausência de uma estação meteorológica no município e um intervalo maior de observação a partir de uma única estação meteorológica seria necessário para confirmar de forma categórica tal tendência.

3.4 Relevo

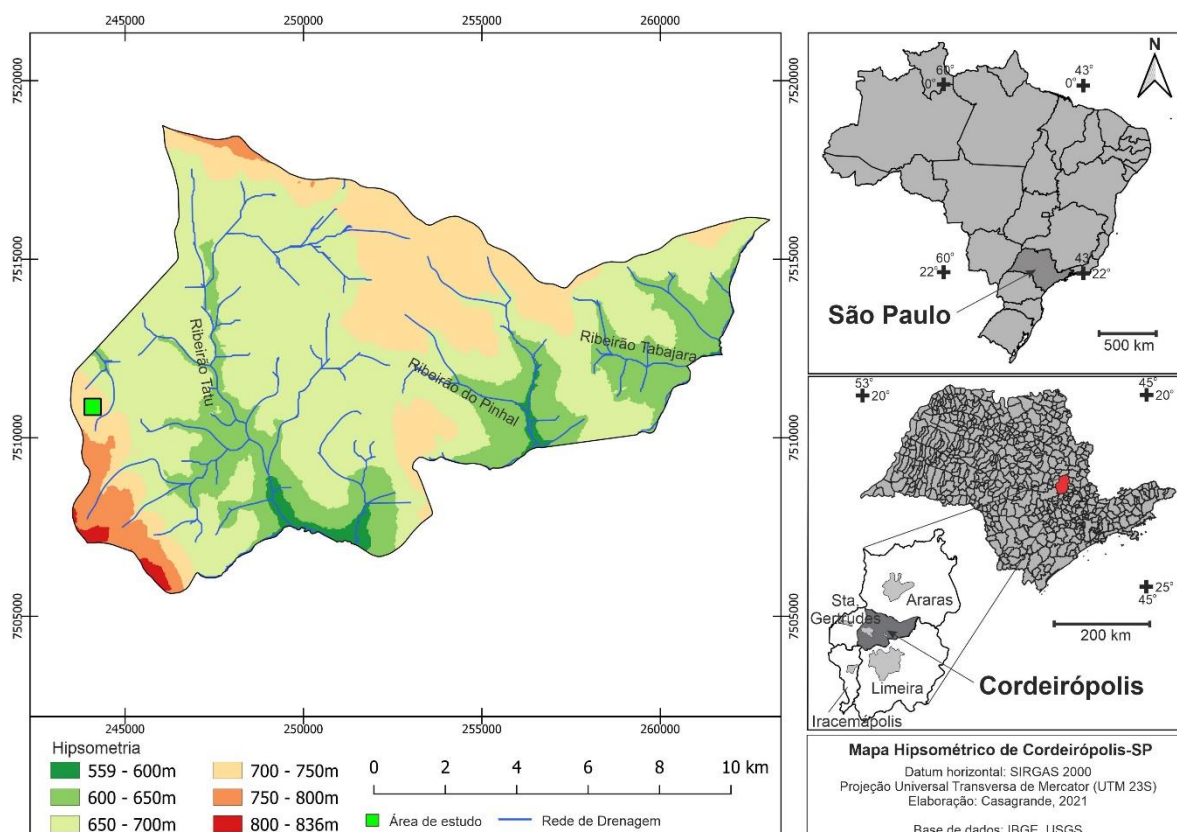
A subdivisão do Estado de São Paulo em províncias geomorfológicas, segundo Almeida (1964), a área de estudo é inserida no domínio da Depressão Periférica, unidade morfológica que abrange significativa porção do centro do estado, que é delimitada pelas Cuestas Basálticas a oeste e Planalto Atlântico a leste, este último formado por terrenos cristalinos pré-cambrianos que perfazem o embasamento da Bacia do Paraná. Segundo Penteado (1976), esta unidade é

quase totalmente relacionada às rochas sedimentares Paleo-mesozoicas e é caracterizada por uma faixa de orientação aproximada N-S com 450 km e largura média de 100 km, com a subdivisão em três zonas (ALMEIDA, 1964): Médio Tietê, Paranapanema e Mogi-Guaçu, de acordo com os divisores de águas dos rios homônimos.

A Zona do Médio Tietê, unidade que representa aproximadamente 2/5 da província através de seus 15.200 km² delimitados pela área de drenagem do rio Tietê. É caracterizada por relevo pouco acidentado, com desníveis locais que dificilmente superam 200 m, além do domínio de colinas baixas suavizadas e separadas por vales jovens, sem planícies aluviais importantes. A rede hidrográfica da zona exhibe um padrão dentrítico e as intrusões básicas da Formação Serra Geral, em meio às rochas sedimentares, faz com que existam uma certa variabilidade de feições de drenagens, como saltos e cachoeiras (ALMEIDA, 1964).

O mapa hipsométrico (Fig. 3) retrata a altitude média local de 650 m, cujo contraste é dado pelas regiões mais elevadas ao sul da área de estudo, exatamente nas imediações do Morro Azul e limite com os municípios vizinhos de Limeira e Iracemápolis. A declividade do terreno da área de estudo, por sua vez, é definida como levemente ondulada (3% - 8%) a ondulada (8% - 20%), de acordo com os parâmetros definidos por EMBRAPA (1979) (Fig. 4).

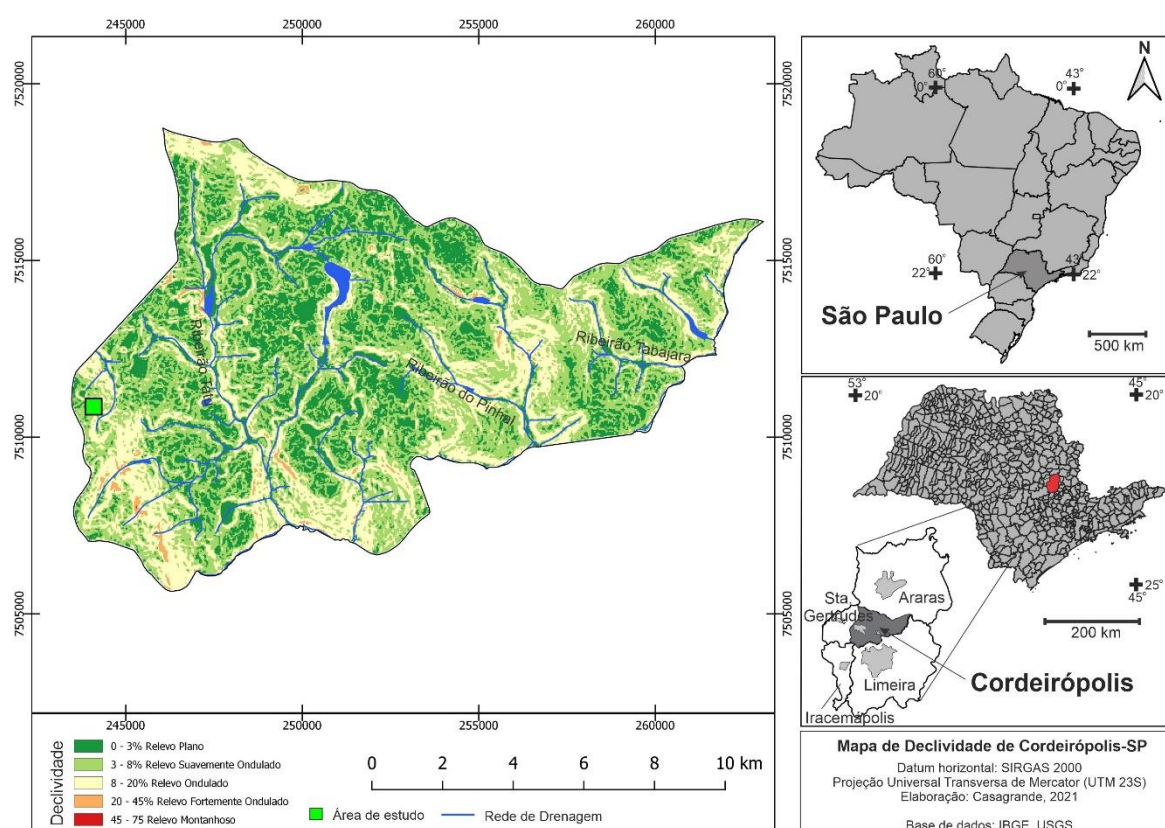
Figura 3: Mapa hipsométrico do município de Cordeirópolis.



Fonte: Elaborado pelo autor

A presença de morrotes alongados também é relacionada as intrusões máficas da Formação Serra Geral, além do terreno mais acidentado a oeste das serras de São Pedro, Itaqueri, Pau d'Alho, Floresta e Fortaleza, com altitudes que variam de 700 m a 1.100 m na região das cuestas. Próximo à área de estudo, a feição de relevo mais característica influenciada pelas intrusões máficas é do Morro Azul e seus 800 m de altitude acima do nível do mar.

Figura 4: Mapa de declividade do município de Cordeirópolis.



Fonte: Elaborado pelo autor

3.5 Hidrografia

A divisão hidrográfica brasileira estabelece a existência de 12 regiões hidrográficas de escala nacional, segundo a Resolução nº 32 de 15 de outubro de 2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH. A região de estudo, bem como grande parte do interior do estado, é localizada na Região Hidrográfica do Paraná, que por sua vez engloba a bacia hidrográfica do rio homônimo, este último considerado um dos maiores rios do mundo com extensão próxima de 4.800 km e que drena cerca de 10% do território nacional.

No contexto das Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UHGRI, a área de estudo é localizada na unidade de número 5, denominada bacia Piracicaba/Capivari/Jundiaí (PCJ) e constituída pelas sub-bacias hidrográficas dos rios Piracicaba (parte paulista), Capivari e Jundiaí, com exutórios independentes no rio Tietê (Fig. 5), este último afluente do Rio Paraná. A bacia PCJ possui uma área de drenagem de 15.377 km², mais de 5 milhões de habitantes divididos em 76 municípios (o que inclui a Região Metropolitana de Campinas) e conta com os rios Atibaia, Atibainha, Cachoeira, Camanducaia, Capivari, Corumbataí, Jaguari, Jundiaí e Piracicaba como suas principais drenagens.

Do ponto de vista do gerenciamento e governança, a partir da lei estadual 7.663 de 30 de dezembro de 1991 foram criados o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH) e os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) como órgãos colegiados, de natureza consultiva e deliberativa. Porém, apenas em 18 de novembro de 1993 o CBH PCJ foi efetivamente instalado e reconhecido como o primeiro Comitê de Bacia do Estado de São Paulo.

No âmbito do uso e ocupação do solo, a agricultura na Bacia PCJ abrange cerca de 36% da totalidade da área, com a cana-de-açúcar como o principal produto agrícola da região, cuja concentração se dá em locais de menor elevação, com a maior parte dos plantios em áreas de baixa declividade e com altitudes inferiores a 800 m (PCJ, 2020). As áreas úmidas, denominadas de “campos úmidos” ou “áreas de várzea” por PCJ (2020), são distribuídas por cerca de 319,42 km², o que representa apenas 2,08% da UHGRI 5.

A área úmida foco do presente trabalho está inserida próximo ao divisor de águas das áreas de drenagem do Ribeirão Santa Gertrudes, no contexto da sub-bacia do Rio Corumbataí, e do Ribeirão Tatu, pertencente à sub-bacia do Rio Piracicaba. Esta última abrange uma área de aproximadamente 12.500 km² no sudoeste de São Paulo e Sul de Minas Gerais com sua nascente formada pela junção dos rios Atibaia e Jaguari em Americana-SP, além de possuir o Rio Corumbataí como seu principal afluente.

O conjunto de AU's do local de estudo pode ser considerada ambíguo do ponto de vista da contribuição hídrica para ambas as bacias, uma vez que a delimitação dos domínios das águas subterrâneas pode não seguir exatamente a delimitação das bacias hidrográficas locais. Desta maneira, este trabalho considera a AU (indicada na Fig. 6) e todo seu conjunto proximal como parte direta do sistema hidrogeológico das bacias do Ribeirão Santa Gertrudes (Bacia do Rio Corumbataí) e do Córrego do Ribeirão do Tatu.

O Ribeirão Santa Gertrudes compõe parte da bacia do Córrego Santa Gertrudes que perfaz um fluente da margem esquerda do Ribeirão Claro que, por sua vez, deságua no Rio Corumbataí, um afluente do Rio Piracicaba, conforme já mencionado. PASCHOAL (2010)

afirma que, embora o relevo da bacia seja pouco acidentado, a mobilização de sedimentos é intensa em virtude das atividades agrícola e mineradora, esta última com foco nas cavas de argila para o suprimento do polo cerâmico local.

Figura 5: As sub-bacias da UHGRI 5 – PCJ.



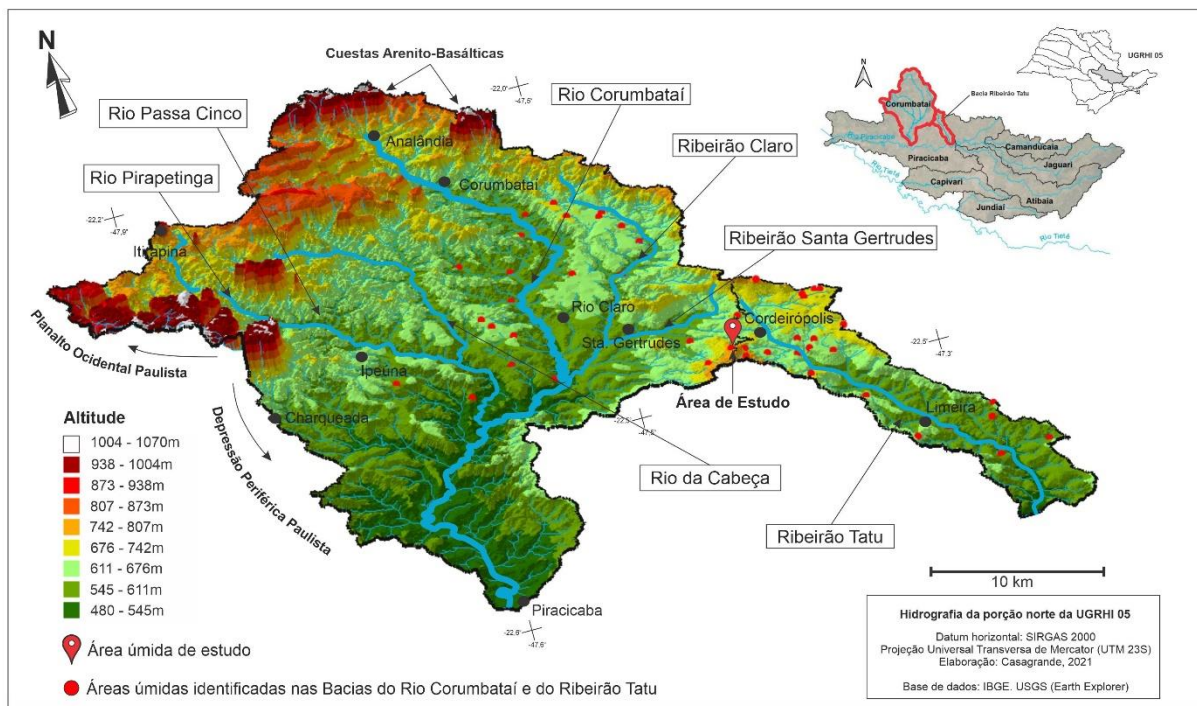
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao principal manancial do município de Cordeirópolis, o Ribeirão do Tatu contempla estudos de balanço hídrico que apontam para um déficit hídrico crônico, haja vista que, para toda a bacia do rio Piracicaba, houve uma redução de 4% na disponibilidade de recursos hídricos per capita entre os anos de 2014 a 2018, nível considerado crítico (PCJ, 2019). Desta maneira, em um cenário sem intervenção para os próximos 15 anos, é projetada uma redução de 50% a 100% do saldo hídrico para Cordeirópolis (PCJ, 2020), o que certamente forçará a busca pela expansão e estudos de novos mananciais, o que inclui a água subterrânea no contexto local das unidades aquíferas potenciais: Serra Geral e Tubarão.

Dado este contexto de déficit hídrico, as áreas úmidas perfazem importantes componentes do ciclo hidrológico regional e, portanto, há a possibilidade destes ambientes serem capazes de armazenar e transmitir água para aquíferos mais profundos. A figura 6 indica a delimitação das sub-bacias do Ribeirão Tatu e do Rio Corumbataí, com a localização do Ribeirão Santa Gertrudes a oeste da área de estudo. De modo adicional, são indicadas as localizações das AUGIs mapeadas por Junqueira (2021) e pela presente pesquisa através de

técnicas de sensoriamento remoto. Ao todo, apenas na sub-bacia do Ribeirão Tatu, foram identificadas 21 AUGIs independentes.

Figura 6: Sub-bacias do Rio Corumbataí (esquerda) e Ribeirão do Tatu (direita) no contexto da UGRHI 5 – PCJ, cujos pontos vermelhos representam AUGI mapeadas pelo presente estudo e por Junqueira (2021) (segmento Corumbataí). A área de estudo se localiza próximo à divisa entre as sub-bacias.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.6 Geologia

3.6.1 Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná, ou Chaco-Paraná em consideração aos limites internacionais da unidade (cujas correlações estratigráficas com as unidades argentinas não serão discutidas neste trabalho), é reconhecida como uma bacia de natureza intracratônica com sedimentação compreendida ao longo de grande parte do éon Fanerozóico, mais precisamente do Ordoviciano ao Cretáceo. Sua extensão corresponde a uma área de aproximadamente 1.400.000 km² que se estende pelo centro-sul do Brasil (1.100.00 km² em estados do Centro-Oeste, Sul, Minas-Gerais e São Paulo) até porções do norte da Argentina (100.000 km²), Paraguai (100.000 km²) e Uruguai (100.000 km²) Zalán *et al.* (1990) (Figura 7). Seu limite norte e sul corresponde às cidades de Morrinhos-GO e Durazno, no Uruguai, enquanto suas extremidades leste e oeste se encontram nas cidades de Sorocaba-SP e Aquidauana-MS.

Sua geometria compreende um formato alongado e elíptico segundo a direção NNE-SSW e paralelo à drenagem do Rio Paraná, que dá nome à bacia (QUINTAS et al., 1997). Em termos de espessura, a bacia atinge em torno de 6.000 metros na região da calha do rio homônimo, região que corresponde ao seu depocentro, embora o eixo de deposição tenha variado em função do tempo de deposição (MILANI et al., 2007; PEREIRA et al., 2012).

Figura 7: Mapa de localização da Bacia do Paraná. Sua cobertura no Brasil abrange todos os estados da região sul, além de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás



Fonte: Schneider (1974)

A exemplo de outros grandes eventos de sedimentação ocorridos ao longo do Paleozoico e com registro em território nacional, como as bacias do Solimões, Amazonas e Parnaíba, a Bacia do Paraná foi formada por lentas taxas de subsidência em ambiente intracratônico, o que resultou em flancos pouco inclinados e de grande amplitude, além de uma forma semi-circular e elíptica, num processo denominado de sinéclise (PEREIRA et al., 2012). Embora existam diferentes modelos e trabalhos publicados que expliquem a evolução desses processos e formação de áreas de deposição intracratônicas, Leighton & Kolata (1990) sugerem que heterogeneidades na crosta aliadas à carga sedimentar e tensões intraplaca geradas por esforços convergentes em suas extremidades são dois fatores preponderantes na geração e evolução das

Desta maneira, o trabalho de Milani *et al.* (2007) aponta para uma flexura litosférica por sobrecarga tectônica que foi propagada devido ao desenvolvimento de calha de antepaís na porção ocidental do Gondwana, enquanto Zalán *et al.* (1990) apostam no fator termal e apontam que a subsidência teria relações com contrações térmicas que sucederam o tectonismo do Ciclo Brasileiro.

Em termos estratigráficos, a Bacia do Paraná abrange unidades que englobam o Neo-Ordoviciano ao Neocretáceo, embora sejam reconhecidas várias discontinuidades entre as sequências estratigráficas que formam hiatos temporais e que, de certa forma, compreendem grande parte do período (Figura 8). Desta maneira, Milani *et al.* (2007) descrevem seis supersequências deposicionais denominadas de Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Triássico), Gondwana III (Neojurássico a Eocretáceo) e Bauru (Figura 8), com as três primeiras caracterizadas por sedimentações relacionadas a ciclos transgressivos e regressivos durante o Paleozóico e as demais supersequências associadas à paleoambientes continentais com vulcanismo máfico generalizado relacionado à quebra do Gondwana (Formação Serra Geral).

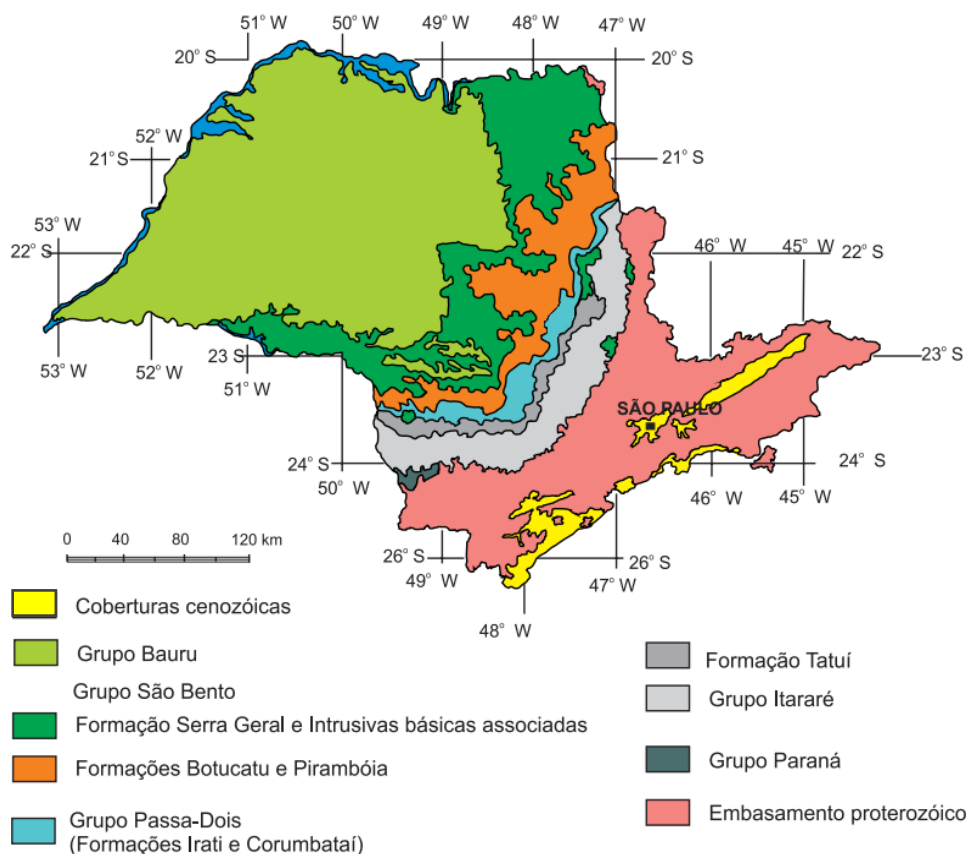
Em termos estruturais, a Bacia do Paraná apresenta feições lineares segundo três orientações preferenciais: NW-SE, NE-SW e E-W (SOARES *et al.*, 1982; ZALÁN *et al.*, 1990), com as duas primeiras as de maior importância e que constituem falhas simples ou extensas zonas de falhamentos associadas à antigas zonas de fraqueza do embasamento cristalino e que foram reativadas durante a evolução da Bacia do Paraná. As falhas orientadas segundo NW-SE são entendidas como reativações durante o processo de ruptura do Gondwana (Juro-Cretáceo) e foram caminho preferencial para a extrusão do magma basáltico da Formação Serra Geral e instalação de corpos ígneos intrusivos, diferentemente das zonas de falhas NE-SW, caracterizadas pela menor ocorrência de diques básicos e pelo caráter transcorrente associado, além de estarem associadas a estruturas regionais como o Arco de Ponta Grossa. A direção E-W, por sua vez, é o conjunto de feições menos compreendidas, entretanto são paralelas às fraturas oceânicas, o que levaria a relacioná-las com o desenvolvimento do Atlântico Sul (ZALÁN *et al.*, 1990).

3.6.1.1 Contexto estratigráfico da Bacia no Paraná no Estado de São Paulo

A distribuição espacial da Bacia do Paraná abrange cerca de dois terços da área do Estado de São Paulo nos domínios do Planalto Ocidental, zona de cuevas basálticas e da Depressão Periférica Paulista, reconhecida em regiões do triângulo mineiro, Mato Grosso do

sul e noroeste do estado do Paraná. Seu limite leste é definido pelo contato com rochas cristalinas do embasamento da bacia que compõem o Planalto Atlântico (Figura 9).

Figura 9: Distribuição das unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná no Estado de SP.



Fonte: IPT (1981), modificado por Perinotto *et al.* (2008).

A sedimentação da Bacia do Paraná no estado tem início durante o Denoviano com o Grupo Paraná, que ocorre de forma restrita no extremo sudoeste do território paulista e é caracterizado unicamente pela Formação Furnas, associada à conglomerados e arenitos conglomeráticos em sua base, arenitos médios a grossos feldspáticos a quartzosos no topo, com matriz caulínica e estratificações cruzadas. Em sua porção superior são descritos arenitos finos e siltitos argilosos (MILANI, 1997; PERROTTA *et al.*, 2005).

O Grupo Itararé, uma das unidades de maior expressão em área aflorante e de idade Eocarbonífero ao Neopermiano, é subdividido nas formações Campo Tenente, Aquidauana, Mafra e Rio do Sul nos estados de Santa Catarina e Paraná (SCHNEIDER *et al.*, 1974), embora seja frequentemente tratado como uma unidade indivisa no Estado de São Paulo. Devido as diferentes fácies sedimentares, estas não possuem grande continuidade lateral, o que dificulta correlações estratigráficas em grandes extensões (ARAB *et al.*, 2009).

No Estado de São Paulo, Perrota *et al.* (2005) mapeiam o Grupo Itararé em associação à Formação Aquidauana como a porção basal transgressiva da Supersequência Gondwana I. Litologicamente é composto por rochas relacionadas à ambiente glacial: diamictitos maciços e estratificados com seixos e blocos de litologias múltiplas e arenitos maciços ou com ondulações, relacionados à sedimentação turbidítica (MILANI *et al.*, 2007). A Formação Aquidauana é considerada para alguns autores como uma unidade crono-correlata ao Grupo Itararé com afloramentos frequentes na borda oeste da bacia, mais precisamente como porções marginais de sedimentação predominantemente continental em sistemas de leques aluviais (ZALÁN *et al.*, 1990).

A Formação Tatuí, do Eopermiano, possui discordância erosiva em sua base e é dividida em dois membros por Soares (1972). O membro inferior é descrito por siltitos, ocasionalmente laminados, de coloração comumente marrom-arroxeadada com ocorrências restritas de arenitos. O membro superior também é composto por siltitos, entretanto sua coloração é descrita como cinza-esverdeada. Lentes de arenitos de granulação média a grossa são comuns neste membro e podem apresentar marcas de ondas e estratificações cruzadas. Nos estados de Santa Catarina e Paraná, a Formação Tatuí possui o mesmo intervalo deposicional das denominadas formações Rio Bonito e Palermo, que compõem o Grupo Guatá (MILANI *et al.*, 2007; LORETI JÚNIOR *et al.*, 2014).

A Formação Irati compreende folhelhos, argilitos cinza escuro, folhelhos pirobetuminosos e calcários que se desenvolveram em um ambiente com circulação de água restrita no Neopermiano, segundo trabalhos de Schneider *et al.* (1974). É comumente subdividida em dois membros: Taquaral (base) e Assistência (topo). O primeiro é composto por uma sequência de argilitos e folhelhos cinza escuros com gradação para uma coloração mais clara e siltitos que possuem discordância erosiva em sua base e concordante no contato superior (SCHNEIDER *et al.*, 1974). O Membro Assistência, por sua vez, é descrito pelo mesmo autor como folhelhos cinza escuros, pretos pirobetuminosos com camadas e níveis de calcários dolomíticos. O paleoambiente associado é do tipo marinho raso de águas calmas (SCHNEIDER *et al.*, 1974) e o contato com a Formação Corumbataí é gradativo (HACHIRO, 1997).

A Formação Corumbataí, também constituinte do Grupo Passa Dois, é o equivalente litoestratigráfico no domínio paulista da Formação Teresina, datada do Neopermiano (MILANI *et al.*, 2007). Atinge a espessura máxima de 130 m na região de Rio Claro e é constituída predominantemente por argilitos e siltitos de coloração cinza escuro em sua porção basal. A parte superior é descrita como sendo composta por argilitos, folhelhos e siltitos roxos

avermelhados com intercalações de bancos carbonáticos e arenitos finos (SCHNEIDER et al., 1974).

Embora não seja amplamente aceita, a hipótese de um paleoambiente do tipo marinho raso com a influência de marés na parte superior da formação é bastante difundida (SCHNEIDER et al., 1974; TOMASSI & DO CARMO, 2009). Seu contato com a Formação Pirambóia (unidade sobreposta) também é controverso, sendo caracterizado como discordante por Zaine (1994) ou localmente gradacional por Hachiro (1997).

Como representante do Triássico, a Formação Pirambóia é caracterizada por arenitos finos a grossos de coloração esbranquiçada, amarela e vermelha, com grãos subangulares a subarredondados e moderadamente selecionados, além de exibir estratificações cruzadas de grande porte e contato superior do tipo concordante (SCHNEIDER et al., 1974; MILANI et al., 2007). Schneider *et al.* (1974) descreve ainda ocorrências locais de finas camadas de argilitos, siltitos e arenitos conglomeráticos, em um paleoambiente de lençóis de dunas eólicas associados a depósitos fluviais (CAETANO-CHANG & WU, 1993).

A Formação Botucatu (Neojurássico a Eocretáceo) compreende, juntamente com a Formação Pirambóia, o Aquífero Guarani. É caracterizada por arenitos róseos a vermelhos de granulação média a fina, normalmente bimodais, grãos arredondados e aspecto fosco e ocorrência de estratificações plano-paralelas e presença de arenitos argilosos mal selecionados em sua porção basal (SCHNEIDER et al., 1974). Segundo Milani *et al.* (2007) a unidade exibe ainda estratificações tangenciais bastante comuns que seriam indicativos de ambientes desérticos. Para Schneider *et al.* (1974), o contato superior com a Formação Serra Geral é do tipo discordante. O paleoambiente associado é do tipo eólico seco pela ausência de fácies de depósitos de interdunas úmidos (SCHERER, 1998), o que gera a frequente menção ao antigo Deserto Botucatu pela literatura.

A Formação Serra Geral (Eocretáceo), devido à sua ocorrência na área de estudo como substrato de desenvolvimento da área úmida, será discutida à parte nos próximos subcapítulos.

O Grupo Bauru, por sua vez, é eventualmente designado como evento deposicional independente da Bacia do Paraná através da designação de “Bacia Bauru” em virtude da subsidência termomecânica pós gondwânica (FERNANDES & COIMBRA, 2000). O fato é que a unidade, majoritariamente arenosa, se estende pelo oeste de São Paulo, noroeste do Paraná, porção oriental do Mato Grosso do Sul, triângulo mineiro e sul de Goiás. Configura uma unidade siliciclástica neocretácea pós-basáltica e pertencente à Supersequência Bauru, cujo paleoambiente é caracterizado como semi-árido a desértico (MILANI et al., 2007).

Litologicamente pode ser caracterizada por arenitos, arenitos argilosos, arenitos argilosos carbonatados, siltitos, argilitos e localmente conglomerados e calcários (FERNANDES, 2004). Em termos litoestratigráficos é cronocorrelato ao Grupo Caiuá (passagem lateral gradual) e subdividido nas formações Uberaba, Vale do Rio do Peixe (outroa denominada Formação Adamantina), Araçatuba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente e Marília, enquanto que o Grupo Caiuá abrange as formações Rio Paraná, Goio Erê e Santo Anastácio (MILANI et al., 2007). Segundo Fernandes (2004), de todas as unidades citadas, apenas as Formações Goio Erê e Uberaba não são mapeadas no Estado de São Paulo.

3.6.1.2 Geologia regional

De acordo com o mapeamento geológico do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes realizado por Loreti Júnior *et al.* (2014) as unidades litoestratigráficas mapeadas são o Grupo Itararé e formações Tatuí, Irati, Corumbataí, Piramboia, Botucatu, Serra Geral, Itaqueri e Rio Claro, além de depósitos quaternários, de acordo com a figura 10 e a coluna estratigráfica regional (Figura 11). O baixo ângulo de mergulho das camadas sedimentares da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo em direção à oeste resulta no afloramento de rochas mais antigas à leste.

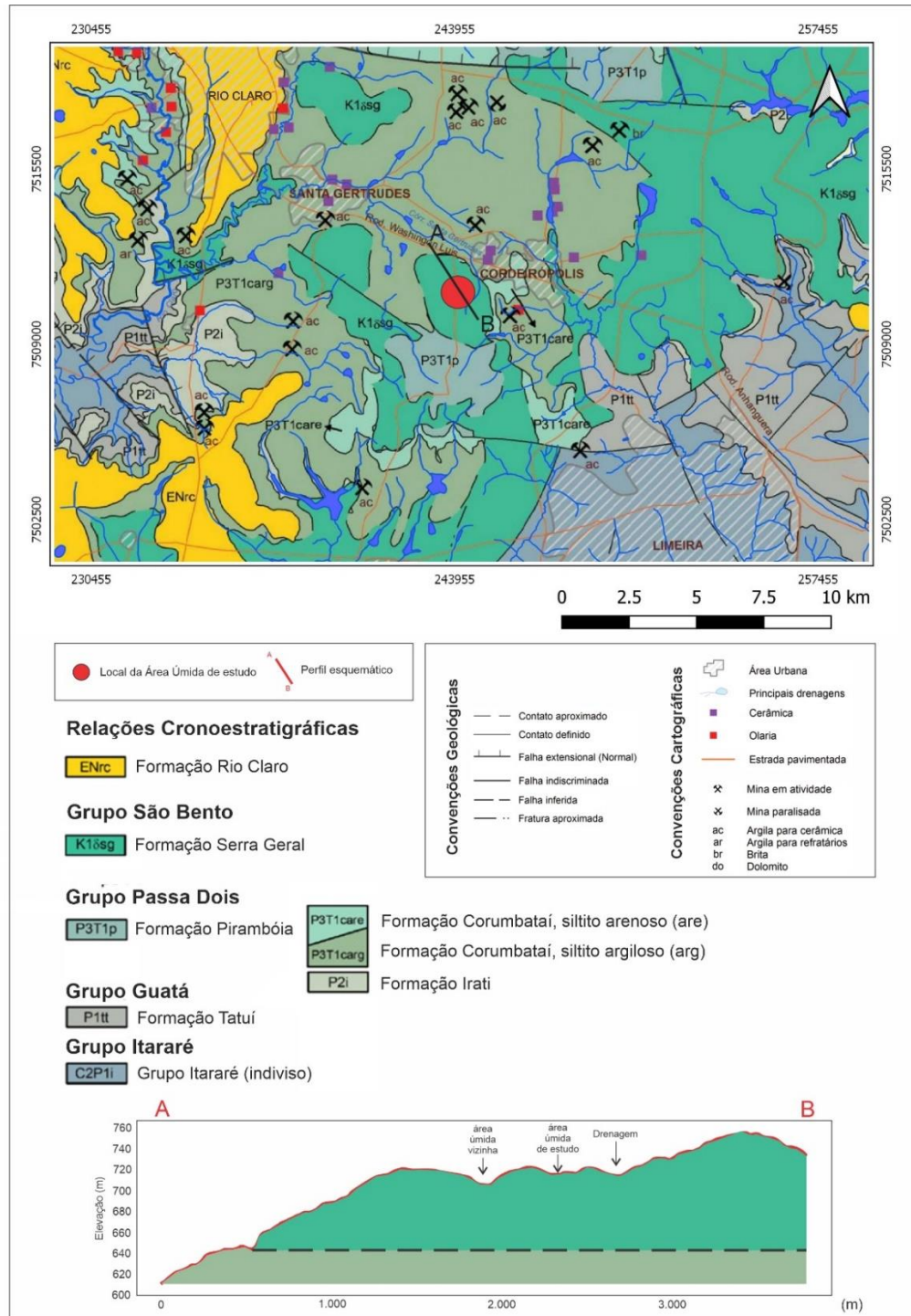
Numa área mais proximal à área úmida de estudo há a ocorrência superficial do Grupo Itararé em sua porção leste, além da região ao sul da cidade de Rio Claro, onde a unidade aflora graças a ocorrência de um alto estrutural denominado de Domo de Pitanga (RICCOMINI, 1992; SOUZA, 2002), bem como acontece com a sobreposta Formação Tatuí, pertencente ao Grupo Guatá.

Os folhelhos pirobetuminosos e carbonatos da Formação Irati possuem ocorrência bastante restrita em virtude da relativa pouca espessura da unidade, que na região do estudo é caracterizada por uma média de 40 m (HACHIRO, 1997). De modo adicional, a Formação Irati possui importância econômica em virtude da exploração das rochas carbonáticas para aplicação agrícola, cujas minerações são presentes principalmente nos municípios de Ipeúna, Limeira e Rio Claro.

A Formação Corumbataí, que também integra o Grupo Passa Dois, possui espessura mais significativa na região, cerca de 100 m. Em razão de sua heterogeneidade, o mapeamento realizado por Loreti Júnior *et al.* (2014), com o objetivo de direcionar a exploração de argila para o Polo Cerâmico de Santa Gertrudes, subdividiu informalmente a formação em duas

litofácies, uma basal mais rica em siltitos argilosos, compactados, de granulação fina, com coloração variando de vermelha a marrom, com ocorrência local de níveis arenosos, e outra sotoposta, de menor interesse pela indústria, que abrange o topo da Formação Corumbataí, caracterizada por siltitos arenosos intercalados com areias finas de cores vermelha e laranja.

Figura 10: Mapa geológico regional da área de estudo, segundo Loreti Júnior *et al.* (2014) e perfil esquemático (com sobrelevação) com base em dados SRTM (USGS).



Fonte: Modificado de Loreti Júnior *et al.* (2014)

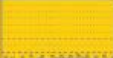
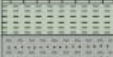
De acordo com o perfil esquemático da figura 10, a vertente, na qual a área úmida de estudo é localizada, possui em sua parte inferior a ocorrência da Formação Corumbataí, marcada por uma clara quebra no relevo. Entretanto, a continuidade da litofácies mais arenosa da unidade é desconhecida em virtude da sobreposição de um *sill* de diabásio relacionado à Formação Serra Geral, que por sua vez forma a unidade de instalação e desenvolvimento da área úmida. Através do mapa geológico da área, é provável que a soleira tenha sido instalada ao longo do contato litológico entre as formações Corumbataí e Pirambóia (sotoposta), haja vista a ocorrência desta última unidade na porção topograficamente mais elevada do mesmo morro.

Como única representante do Grupo São Bento na figura 10, a Formação Piramboia tem ocorrência restrita na área, porém a oeste das cidades de Rio Claro e Piracicaba a unidade se torna mais presente. A Formação Piramboia, que na região chega a 250 m de espessura, juntamente com a Formação Botucatu, perfaz o Aquífero Guarani, uma das mais importantes unidades hidrogeológicas do mundo. Entretanto, esta última formação não aflora nas proximidades da AU de estudo, sendo apenas mapeável ao longo das cuestas arenito-basálticas que dividem a Depressão Periférica Paulista do Planalto Ocidental (ALMEIDA, 1964) mais precisamente nas regiões de Charqueada, Ipeúna e Itirapina.

As cuestas supracitadas são feições geomorfológicas sustentadas pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral, que na área de estudo se faz presente apenas como corpos intrusivos hipoabissais na forma de diques e soleiras, especialmente nas formações Irati e Itararé, conforme já mencionado (LORETI JÚNIOR et al., 2014).

A Formação Rio Claro, por sua vez, é caracterizada por arenitos mal selecionados de cor amarela ou avermelhados com eventuais estratificações cruzadas e presença de níveis conglomeráticos, o que evidencia sedimentação em um contexto fluvial meandrante durante reativação neocenoica (MELO, 1995). Na região, com uma espessura máxima de 40 m, a unidade é sobreposta às formações Corumbataí, Irati e Tatuí através de contatos erosivos (LORETI JÚNIOR et al., 2014). Também do cenozoico, a Formação Itaqueri ocorre no topo das serras do Itaqueri, São Pedro, São Carlos e Cuscuzeiro, a oeste da área de estudo. A unidade é caracterizada essencialmente pela predominância de arenitos de granulação variável com níveis de folhelhos e conglomerados num contexto de deposição em leques aluviais (RICCOMINI, 1997).

Figura 11: Coluna estratigráfica das unidades aflorantes na região da área de estudo.

Era	Períodos	Grupo	Formação	Litologia	I metros	Descrição	Ambiente de Deposição
Cenozoica	Neógeno		Rio Claro		30	Arenitos pouco consolidados com lentes de argila e níveis conglomeráticos na base.	Continental: planície aluvial e lacustre, coluviões.
	Paleógeno		Itaqueri		100	Arenitos conglomeráticos e arenitos silicificados/ferricretes.	Continental: leques aluviais.
Mesozoica	Cretáceo	São Bento	Serra Geral		100	Derrames de basalto com lentes de arenito na base, diques e soleiras de diabásio.	Magmatismo fissural.
	Jurássico		Botucatu		100	Arenitos bem selecionados com grãos bem arredondados e esféricos, pouca argila.	Continental: desértico.
	Triássico		Piramboia		150	Arenitos arredondados e esféricos, diversos níveis de lamitos.	Continental: fluvial e desértico.
Paleozoica	Permiano	Passa Dois	Corumbataí Topo		100	Siltitos contendo lentes de arenito fino, arenitos, siltitos, arenitos finos, níveis de calcários dolomíticos e coquinas.	Continental: lacustre e planície de maré.
			Corumbataí Base				
			Irati		40	Folhelhos, siltitos, folhelhos pirobetumínicos e calcários dolomíticos.	Laguna e plataforma.
		Guatá	Tatuí		50	Siltitos e siltitos arenosos.	Planície costeira e plataforma.
		Itararé	«Indiviso»		900	Arenitos, siltitos, varvitos e diamictitos.	Continental: glacial, fluvial e lacustre.
Pré-Cambriano			Embasamento			Granitos, migmatitos, gnaisses, xistos e quartzitos.	

Fonte: Perinotto & Zaine (2008)

3.6.1.3 A Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral é associada ao magmatismo fissural acarretado pelo rompimento do megacontinente Gondwana durante o Eocretáceo e a consequente evolução do Atlântico Sul (MILANI et al., 2007). O peso gerado pelo derrame basáltico da Formação Serra Geral acarretou uma importante fase de subsidência da bacia, denominada de reativação Waldeniana (ALMEIDA, 1967), ou evento Sul-Atlântico, segundo (SCHOBENHAUS et al., 1984), que deu sequência ao processo de entulhamento da bacia com os grupos Bauru e Caiuá.

As intrusões diabásicas cortam a sequência sedimentar da Bacia do Paraná e são representantes hipoabissais do derrame basáltico sobreposto aos arenitos eólicos da Formação Botucatu e sotoposto ao Grupo Bauru, o que torna a dita Província Magmática do Paraná uma das maiores manifestações continentais do tipo no mundo, com 800.000 km³ de lavas que recobriram cerca de 75% da bacia (MACHADO et al., 2005). Datações de ⁴⁰Ar/³⁹Ar realizadas por Ernesto *et al.* (1999) em intrusões máficas correlatas apontam para idades de 129,9 ± 0,1 Ma a 131,9 ± 0,4 Ma.

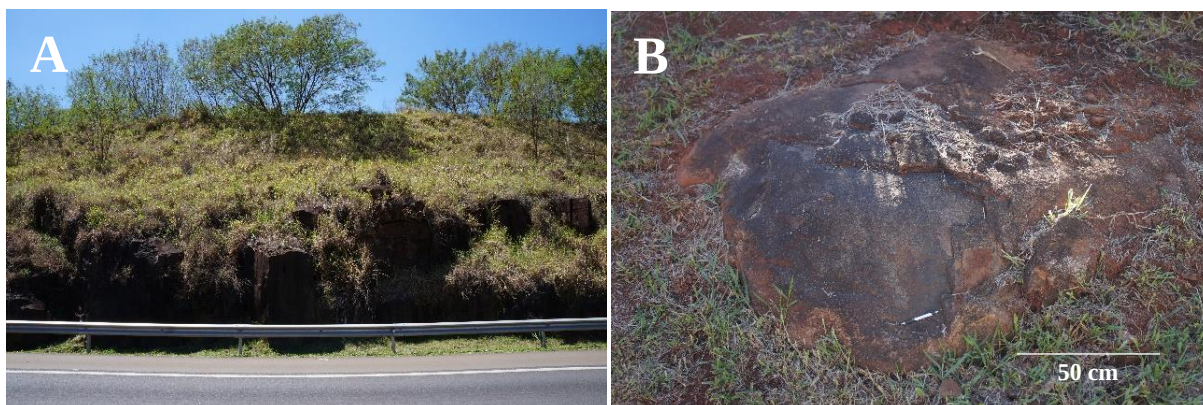
O magmatismo é caracterizado por sua natureza básica e caráter toleítico, embora termos mais diferenciados ácidos-intermediários também sejam presentes, porém menos comuns (~3% do volume total). Os corpos intrusivos, também de afinidade toleítica, afloram preferencialmente na porção norte da província magmática, mais precisamente onde é localizada a borda leste da bacia no Estado de São Paulo (MACHADO et al., 2005) (Figura 12). Na região do estudo, estudos geofísicos determinaram a espessura de *sills* na região de Iracemápolis e Tanquinho (bairro do município de Piracicaba), com aproximadamente 80 m e 70 m, respectivamente (SOARES, 1985; MONTEIRO, 1986).

Em termos petrográficos, na região as intrusivas máficas possuem coloração cinza a preta com tons esverdeados com predominância de rochas mesocrática (embora ocorram raras porções leucocráticas), granulação de fina a grossa com texturas intergranular (predominante), ofítica, subofítica, granofírica e intersetal (MACHADO et al., 2005). Dentre as amostras analisadas por Machado *et al.* (2005), a composição mineralógica abrange plagioclásios (25 a 50%), piroxênios (3 a 39%, principalmente augita e pigeonita), minerais opacos (4 a 20%, magnetita, ilmenita e sulfetos) e olivina (0 a 5%), além de matriz vítrea (mesóstase) presente em maiores proporções em corpos pouco espessos. Como minerais acessórios estão a apatita, quartzo, carbonatos, clorita, titanita e epidoto, enquanto as espécies geradas pela alteração da rocha básica são listadas biotita, horblenda e celadonita, este último um argilomineral de forte coloração verde (MACHADO et al., 2005).

De acordo com critérios geoquímicos estabelecidos por Peate (1997), é possível a subdivisão dos diferentes magmas-tipo da Formação Serra Geral nos seguintes grupos: Urubici ($\text{TiO}_2 > 3,3\%$, $\text{Sr} > 550$ ppm, $\text{Ti/Y} > 500$, $\text{Zr/Y} > 6,5$), Pitanga ($\text{TiO}_2 > 2,9\%$, $\text{Sr} > 350$, $\text{Ti/Y} > 500$, $\text{Zr/Y} > 5,5$) e Paranapanema ($1,7\% < \text{TiO}_2 < 3,2\%$, $200 \text{ ppm} < \text{Sr} < 450 \text{ ppm}$, $\text{Ti/Y} > 330$, $4 < \text{Zr/Y} < 7$), Gramado ($0,75\% < \text{TiO}_2 < 1,9\%$, $140 \text{ ppm} < \text{Sr} < 400 \text{ ppm}$, $\text{Ti/Y} < 300$, $3,5 < \text{Zr/Y} < 6,5$), Esmeralda ($1,1\% < \text{TiO}_2 < 2,3\%$, $120 \text{ ppm} < \text{Sr} < 250 \text{ ppm}$, $\text{Ti/Y} < 330$, $2 < \text{Zr/Y} < 5$) e Ribeira ($1,5\% < \text{TiO}_2 < 2,3\%$, $200 \text{ ppm} < \text{Sr} < 375 \text{ ppm}$, $\text{Ti/Y} > 300$, $3,5 < \text{Zr/Y} < 7$). O magma-tipo gerador das intrusões da região da área do estudo são associados ao grupo Pitanga, caracterizado por ser alto titânio, além de enriquecimento relativo em Ba, K_2O , U, Sr, La, Ce, Ta, P_2O_5 , Hf, Zr e empobrecimento nos elementos Cs e Rb (PEATE, 1997; MACHADO et al., 2005).

Segundo dados geoquímicos de Machado *et al.* (2005), as intrusões da região de Cajuru, Leme e Iracemápolis aparentam pertencer a um único grande corpo ígneo com centenas de quilômetros de extensão e submetidos a uma certa diferenciação, como observado em amostras mais ácidas na Pedreira Cavinatto (município de Limeira).

Figura 12: Aspecto geral do afloramento de diabásio em corte de estrada na Rodovia dos Bandeirantes (esquerda) e detalhes da rocha, com escala de 20 cm (direita). A localização é apontada na figura 1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.7 Unidades aquíferas da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo

No Estado de São Paulo a exploração da água subterrânea atende a agricultura, pecuária e abastecimento público e balneários, especialmente na porção ocidental do estado, onde os aquíferos são intensamente explorados, a exemplo do Aquífero Guarani. Os sistemas aquíferos integrantes da Bacia do Paraná estão inseridos na região hidrográfica homônima e são divididos, segundo DAEE (2005), nos seguintes sistemas: Furnas (Formação Furnas), Tubarão (Grupo Itararé/Formação Aquidauana e Formação Tatuí), Guarani (Formações Piramboia e Botucatu), Serra Geral (Formação Serra Geral) e Bauru (Grupos Bauru e Caiuá). ANA (2013), por sua vez, abrange o Grupo Itararé e a Formação Tatuí no que denomina de Aquífero Itararé, com o Aquífero Aquidauana individualizado (Figura 13).

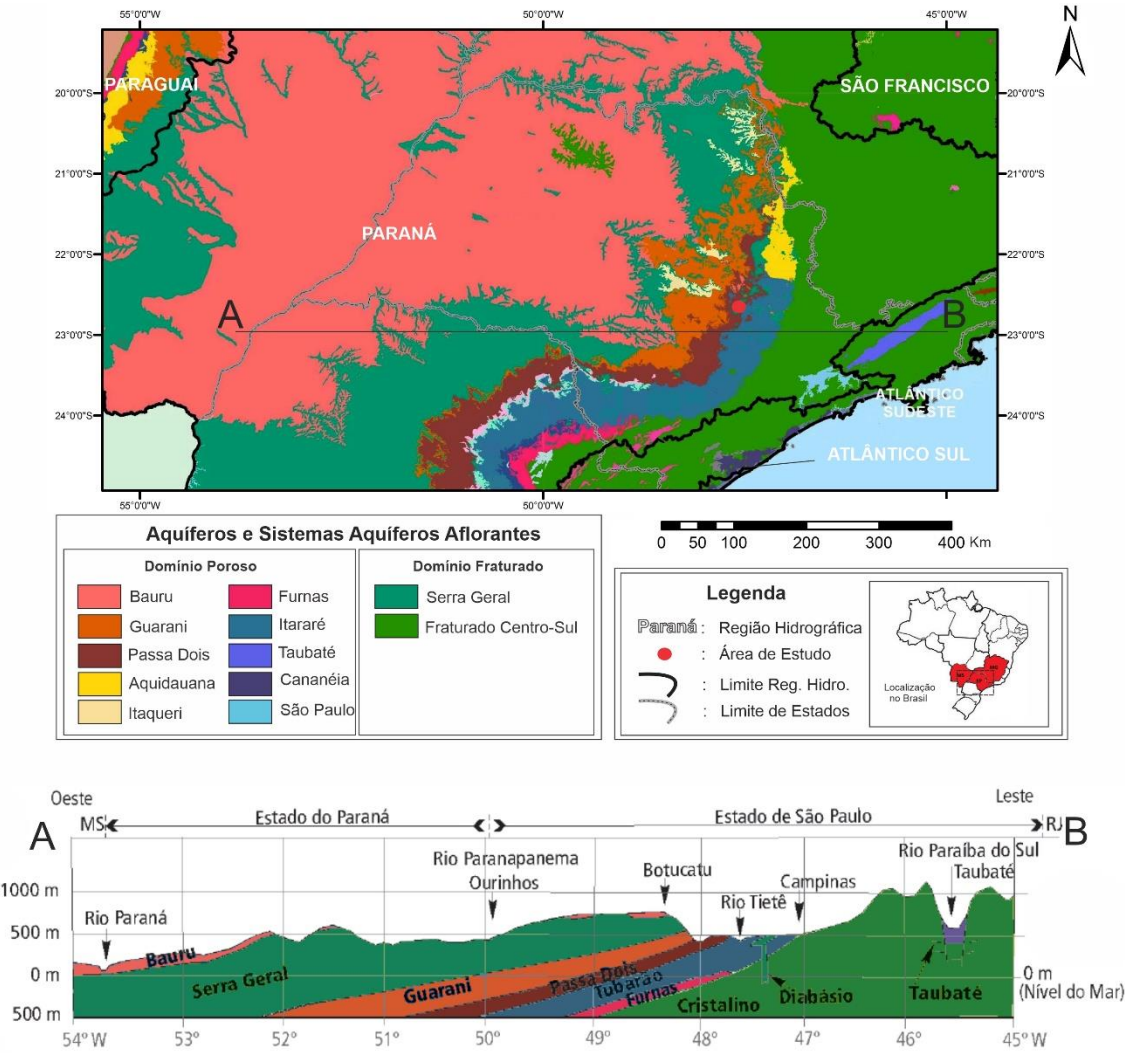
De acordo com Rocha *et al.* (2006), os aquíferos granulares/porosos que apresentam as maiores vazões exploráveis no estado, em ordem decrescente, são Guarani, Taubaté (Bacia de Taubaté) (Tabela 1) e Bauru, enquanto os de menor produtividade englobam São Paulo (Bacia de São Paulo), Tubarão e Litorâneo (ou Cananéia, segundo ANA, 2013). Dentre os fraturados/fissurais, merecem destaque os aquíferos Serra Geral e Pré-Cambriano Cárstico (parte do Fraturado Centro Sul, segundo ANA, 2013).

Os aquíferos São Paulo, Taubaté, Litorâneo e Fraturado Centro Sul, como já mencionado, também são de ocorrência em território paulista, porém não serão discutidos pelo presente trabalho, pois não integram a Bacia do Paraná.

Assim como a formação homônima, o Aquífero Furnas é do tipo poroso granular com vazão explorável estimada em 10 m³/h, embora tais dados sejam obtidos através de

pouquíssimos poços em virtude da restrição espacial da formação no estado e, portanto, estimados para toda a área de afloramento da unidade (ROCHA et al., 2006).

Figura 13: Mapa de distribuição espacial dos aquíferos e sistemas aquíferos aflorantes de parte do Sudeste e Centro-Oeste do Brasil e perfis esquemáticos do Estado de SP.



Fontes: Iritani e Ezaki (2012); ANA (2013)

Tabela 1: Características gerais e faixas de vazões exploráveis indicadas para os aquíferos sedimentares da Bacia do Paraná. Para cada faixa é indicado o valor máximo de vazão, em m³/h.

		10	20	40	80	120	250	360
Bauru	Contínuo, extensão regional, livre a semi-confinado, com transmissividade moderada a baixa							
Guarani	Contínuo, extensão regional, parcialmente livre a predominantemente confinado, com elevada transmissividade	Livre						
		Confinado						
Tubarão	Descontínuo, extensão regional, em horizontes e corpos localizados, semi-confinado ou confinado, com baixa transmissividade							
Furnas	Contínuo, regional, extensão limitada, livre a semi-confinado, com transmissividade moderada a baixa							

Fonte: ROCHA et al (2006)

O Aquífero Tubarão é uma unidade porosa que aflora em uma faixa na região central do estado, reconhecido na Depressão Periférica Paulista, com área próxima de 20.700 km². Em função de sua litologia, o aquífero é extremamente heterogêneo em termos hidrológicos com vazão explorável variando localmente. Rocha *et al.* (2006) observaram vazões exploráveis de no máximo 40 m³/h para a unidade.

O Grupo Passa Dois, por outro lado, é reconhecido como um aquitardo devido à predominância de rochas de baixa permeabilidade e, portanto, incapaz de abastecer grandes comunidades (IRITANI & EZAKI, 2012; PCJ, 2020). Sua faixa de afloramento é bem estreita, com cerca de 6.900 km² na porção central de São Paulo e é uma unidade que separa os aquíferos Guarani e Tubarão. De acordo com Iritani & Ezaki (2012), a unidade é pouco estudada do ponto de vista hidrogeológico, embora localmente possa apresentar certa produtividade através de fluxos por fraturamentos.

O Aquífero Guarani é composto pelos arenitos das formações Pirambóia e Botucatu, cujo sistema é predominantemente confinado pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral, porém em sua área aflorante pode chegar a uma vazão de até 80 m³/h como um aquífero livre, frente aos 360 m³/h em regiões onde a unidade é confinada (Tabela 1). Suas excelentes características hidrogeológicas, como elevada capacidade de armazenamento e vazão, são dadas pela grande quantidade de poros interconectados em razão da boa seleção de seus arenitos predominantemente eólicos.

A Formação Serra Geral perfaz um aquífero do tipo fraturado, formado pelos derrames e intrusões e com espessuras mais significantes nas porções centrais da bacia onde é aflorante e livre em uma área de 31.900 km² no Estado de São Paulo (IRITANI & EZAKI, 2012). Seu fraturamento é dado por esforços tectônicos relacionados a fraturas subverticais, enquanto aquelas sub-horizontais são dadas em razão de processos de resfriamento (CAMPOS, 2004). Segundo Coelho (1996) é caracterizado como um aquífero com características hidráulicas bastante heterogêneas, onde os poços mais profundos recebem contribuição de águas dos aquíferos Bauru, Serra Geral e Guarani. Segundo Diniz *et al.* (2014) e Campos (2004) o sistema possui valores bastante variáveis de vazão de 10 a 100 m³/h em poços de 100 a 150 m de profundidade.

A Formação Serra Geral na forma de intrusões como soleiras e diques, principalmente no contexto da Depressão Periférica Paulista, perfazem aquíferos fraturados de importância local devido à sua restrita distribuição espacial, porém também são explorados em conjunto com outros sistemas aquíferos. Também denominado de Aquífero Diabásio (ROCHA *et al.*,

2006; ODA et al., 2016), o sistema apresenta vazões menores, da ordem de 5 a 30 m³/h para poços de até 150 m de profundidade (CAMPOS, 2004).

Embora os dados para esse tipo específico de sistema aquífero não sejam abundantes, Campos (2004) relata valores de pH mais elevado com a dominância de águas bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas sódicas, com salinidades superiores a 142 mg/L e quantidades razoáveis de sulfatos e cloretos.

Com uma área de aproximadamente 96.900 km² no Estado de São Paulo, o Aquífero Bauru é um dos sistemas mais intensamente explorados da Bacia do Paraná pela indústria, agricultura e abastecimento público devido à pouca profundidade dos poços e grande extensão areal na porção oeste do território paulista. Constitui um aquífero litologicamente heterogêneo composto pelas rochas dos grupos Bauru e Caiuá, com interferência direta nas condições de armazenamento e circulação de águas (COELHO, 1996). Esses fatores levaram à subdivisão do aquífero, segundo DAEE (1979), nas seguintes sub-unidades: Bauru Médio/Superior (Grupo Bauru) e Bauru Inferior/Caiuá (Grupo Caiuá), com valores de vazão médias da ordem de 10 a 80 m³/h, segundo dados de Rocha *et al.* (2006).

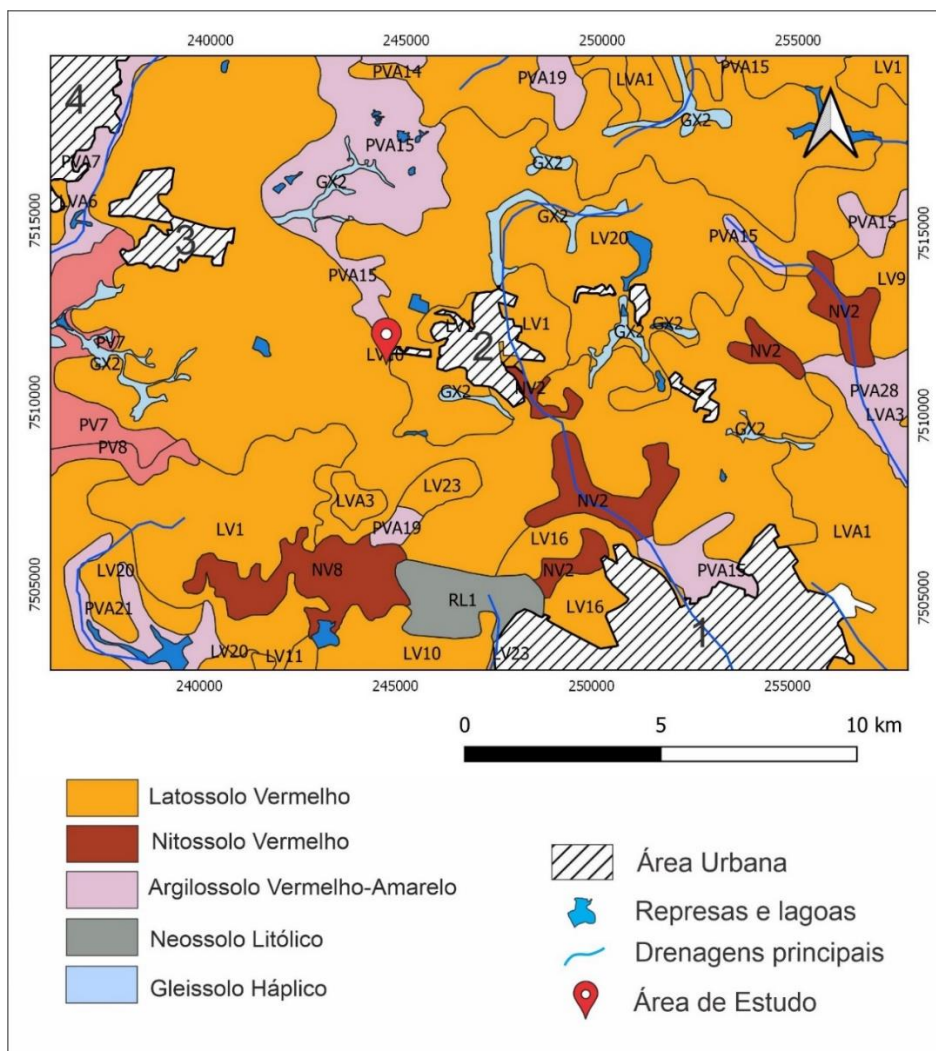
3.8 Pedologia

A região da área de estudo abrange, em termos pedológicos, uma predominância de Latossolos vermelhos, descritos por Rossi (2017) como distroférico/eutroférico típico a húmico, com A moderado, fraco, chernozêmico ou proeminente, textura argilosa ou muito argilosa associado a relevos suavemente ondulados (Figura 14). Essa classe, presente nos arredores da AU de estudo, é relacionada a solos bem drenados com características de cor, estrutura e textura uniformes em função da profundidade, com ocorrência comum nas regiões centro-oeste, sudeste e sul do Brasil, correlacionadas a áreas de relevo pouco acidentado onde são concentradas as atividades agrícolas mecanizadas. A cor mais avermelhada é dada pela presença de Fe₂O₃.

Solos com horizonte B latossólico são de evolução muito avançada, evidenciada pela concentração relativa em argilominerais resistentes e óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, além de baixa reserva de elementos nutritivos para as plantas (SANTOS et al., 2013). Geralmente são muito porosos, característica que propicia maior resistência à erosão. Os Latossolos vermelhos possuem expressiva capacidade de absorção de fósforo em virtude do

elevado teor de óxidos de ferro, o que é importante para práticas agrícolas de fertilização do solo, embora sejam naturalmente de baixa fertilidade.

Figura 14: Mapa pedológico da região da área de estudo.



Fonte: Rossi (2017)

Os Nitossolos possuem distribuição espacial mais restrita ao sul da AU de estudo e são, segundo Rossi (2017), distro/eutroférico típico ou latossólico, A moderado, textura argilosa ou muito argilosa, em fase de relevo ondulado ou suave ondulado. São solos constituídos por material mineral, com 350 g kg^{-1} ou mais de argila, inclusive no horizonte A, que apresentam horizonte B nítico abaixo do horizonte A, além de estruturas em blocos ou prismáticas (SANTOS et al., 2013). Os Nitossolos possuem alta erodibilidade intrínseca, sobretudo em áreas afetadas por más práticas agrícolas.

Os Argissolos vermelhos-amarelos distróficos típicos ou espessoarênicos abruptos, A moderado ou proeminente, textura média, arenosa/média, argilosa ou média/argilosa a álicos, fase de relevo ondulado a forte ondulado (Rossi, 2017). Os Argissolos, segundo Santos et al. (2013), são caracterizados por horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argilas de atividade baixa ou alta, estas últimas desde que associadas com saturação por bases baixa ou com caráter alumínico na maior parte do horizonte B. Nos argissolos, horizontes plíntico ou glei, se presentes, não satisfazem critérios para Plintossolos ou Gleissolos.

O Neossolo litólico é descrito por Rossi (2017) como eutrófico típico, A moderado ou chernozêmico, textura argilosa ou muito argilosa, fase substrato basalto/diabásio, relevo regional ondulado local escarpado. São solos pouco evoluídos, constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando nenhum tipo de horizonte B diagnóstico (SANTOS et al., 2013).

Por fim, os ambientes hidromórficos são representados por gleissolos háplicos ou melânicos com ou sem ocorrência de organossolo, em fase relevo plano (ROSSI, 2017), sobretudo em áreas de cabeceira de drenagens e várzeas das principais drenagens. De acordo com Santos *et al.* (2013), o horizonte glei é iniciado dentro dos primeiros 50 cm a partir da superfície do solo, ou a profundidade maior que 50 cm e menor ou igual a 150 cm desde que imediatamente abaixo de horizonte A ou E ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos.

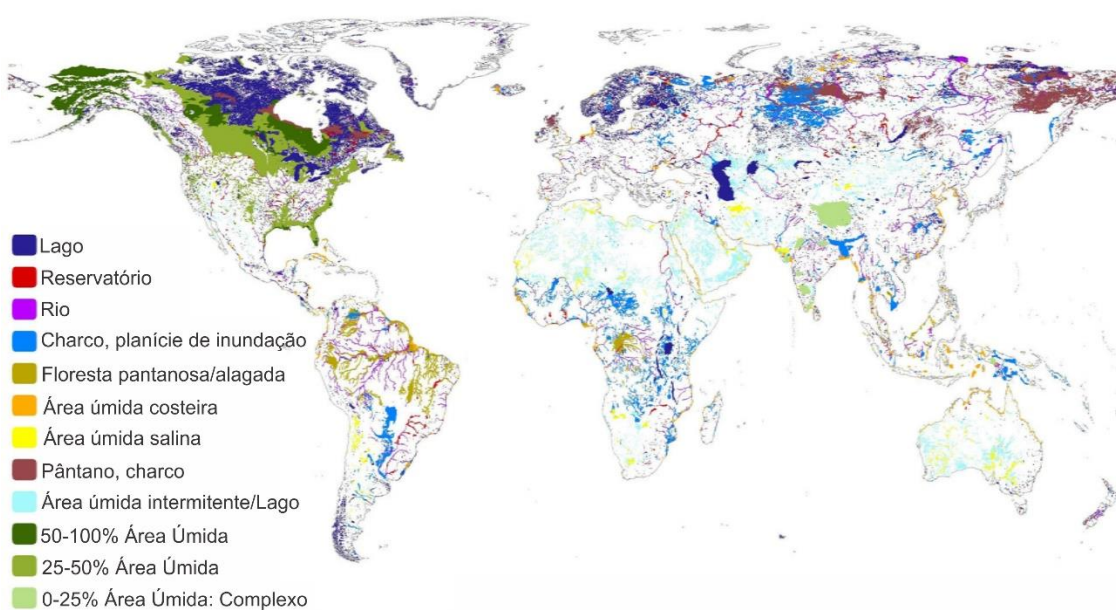
Por conta da escala de mapeamento, as AUGI abordadas neste trabalho não são contempladas na figura 14, porém vale ressaltar a natureza hidromórfica do solo no interior destes sistemas.

4. ÁREAS ÚMIDAS

4.1 Definições e considerações históricas

O estabelecimento de uma definição para as ditas áreas úmidas é um desafio recorrente nos campos científicos e legais. Deste modo, a ideia tem sido lapidada e refeita ao longo das últimas décadas por diferentes organizações com o intuito de abranger características comuns destes ecossistemas transicionais de ocorrência mundial que perfazem cerca de 6% da área do planeta (2,1 milhões de km²), (MALTBY, 1988; ZHANG et al., 2016) (Figura 15). A variabilidade de seus componentes, condições hidrológicas e limites/sobreposições complexas com outros ecossistemas dificulta uma definição, embora Cowardin *et al.* (1979) ressalte a inexistência de uma única e verdadeira definição de área úmida, não apenas em virtude da variabilidade, como também pela transição quantitativa entre ambientes aquáticos e terrestres.

Figura 15: Distribuição global das áreas úmidas (incluindo sistemas artificiais, como reservatórios)



Fonte: Lehner & Döll (2004)

Em termos históricos, o termo começou a ser utilizado pela comunidade acadêmica a partir de meados do século XX, mais precisamente durante a década de 50 com os trabalhos de Shaw & Fredine (1956) como um dos pioneiros, embora o termo composto “*wet land*” tenha sido empregado pela primeira vez quase meio séculos antes, por Wright (1907) como um eufemismo genérico para áreas alagadas e “pântanos” (*swamps*). Geralmente as definições

estabelecidas abrangem três pontos principais: presença de água, condições pedológicas diferenciadas do entorno e biota local adaptada (plantas hidrófitas). Deste modo, as áreas úmidas são porções da paisagem encharcadas por um período suficientemente longo para que condições químicas, físicas e biológicas as tornarem adaptadas e características (ROSENBERRY & HAYASHI, 2013).

Um tratado para proteção e práticas sustentáveis de áreas úmidas, mundialmente conhecido como Convenção de Ramsar, efetivado em 1975 na cidade iraniana homônima, foi o primeiro acordo ambiental intergovernamental de escala mundial da história, com 150 países signatários, incluindo o Brasil. Outro exemplo de mobilização na área é a *Wetlands International*, uma organização não governamental e não lucrativa, sediada em Wageningen, Países Baixos, que atua em mais de 120 países ao redor do mundo como mantenedora e restauradora de áreas úmidas, seus recursos e biodiversidade.

De modo a cumprir parte dos objetivos do tratado, trabalhos de classificação e inventários de áreas úmidas em território brasileiro são de fundamental importância para pesquisas, manejo sustentável e preservação (JUNK et al., 2011; JUNK et al., 2013).

Sob o texto da Convenção Ramsar (artigo 1.1), a definição das áreas úmidas engloba uma ideia bastante generalista do tema, cujo texto não menciona os aspectos pedológicos e biológicos de tais ecossistemas:

[...] áreas de pântanos, turfeiras ou águas, naturais ou artificiais, permanentes ou temporárias, com água estática ou corrente, doce, salobra ou salgada, incluindo áreas de águas marinhas cuja profundidade não exceda seis metros (IUCN, 1971, tradução nossa).

Deste modo, a classificação adotada pela convenção abrange 42 tipos distintos destes ecossistemas agrupados em três categorias de áreas úmidas: marinhas e costeiras, interiores e artificiais (RAMSAR, 2016). Por outro lado, Mitsch & Gosselink (2015) listam 40 termos particulares que são utilizados para descrever áreas caracterizadas por zonas alagadas, solos hidromórficos, condições anóxicas, acúmulo de matéria orgânica e adaptações da flora e fauna, enquanto que, através do Sistema de Classificação de Áreas Úmidas Canadenses (CWCS), são reconhecidos 49 categorias baseadas em critérios de classes, formas e tipos (RUBEC, 2018).

Sob a vasta diversidade de áreas úmidas no contexto de diferentes domínios climáticos e biológicos, Junk *et al.* (2013) propuseram uma definição e delimitação específica para tais

ecossistemas em território brasileiro. A ampla definição abrange aspectos geográficos, hidrológicos, hidroquímicos e biológicos:

[...] áreas úmidas são ecossistemas na interface entre ambientes terrestres e aquáticos; eles podem ser continentais ou costeiros, naturais ou artificiais, permanente ou periodicamente inundados por água rasa ou consistam em solos encharcados. Suas águas podem ser caracterizadas como doces ou altamente a medianamente salinas. Áreas úmidas perfazem habitats para comunidades específicas de animais e vegetais adaptados à dinâmica hidrológica (JUNK et al., 2013, tradução nossa).

A adoção de princípios científicos na definição precisa de áreas úmidas e seus limites físicos traria a racionalização de aplicações de regulamentação e manejo das ditas áreas úmidas. Deste modo, em uma das definições mais amplas, que abrangem os três aspectos principais mencionados, o *Committee on Wetlands Characterization* (Comitê para Caracterização de Áreas Úmidas) define o termo da seguinte maneira:

[...] áreas úmidas são ecossistemas que dependem de constantes ou recorrentes inundações rasas ou saturação em/próximo à superfície do substrato. As características mínimas essenciais de uma área úmida se resumem a inundações recorrentes ou sustentadas ou saturação em/próximo à superfície do substrato e a presença de características físicas, químicas e biológicas que refletem inundações recorrentes e sustentadas ou saturação. Características diagnósticas comuns de áreas úmidas compreendem solos hidromórficos e vegetação hidrófita. Tais atributos serão presentes, exceto onde fatores físico-químicos, bióticos e antropogênicos específicos as tenham removido ou impedido seu desenvolvimento (NCR, 1995, tradução nossa).

Outra definição robusta e bastante adotada pela comunidade científica internacional é a do *U.S Fish and Wildlife Service* (USFWS), que também aborda os principais aspectos comuns entre áreas úmidas e será a definição seguida pelo presente trabalho:

“Áreas úmidas são áreas transicionais entre sistemas aquáticos e terrestres onde o nível d’água é geralmente próximo ou em superfície ou o substrato é coberto por um nível raso de água. Para propósitos desta classificação, áreas úmidas devem conter pelo menos um dos seguintes atributos: (1) ao menos de

forma periódica, a área suporta predominantemente plantas hidrófitas; (2) o substrato é composto predominantemente por solos hidromórficos não drenados; e (3) o substrato é saturado ou coberto por água rasa durante algum período da estação de crescimento de cada ano (COWARDIN et al., 1979, tradução nossa).

A importância dos pântanos, charcos, mangues, turfas, lagos rasos, lagoas costeiras, várzeas, matas ciliares etc. na manutenção e desenvolvimento de grupos humanos é historicamente inquestionável (HOOK, 1993). Tais ecossistemas garantem os chamados serviços ecossistêmicos, como o armazenamento e purificação de água, contenção de descargas, recarga da água subterrânea, retenção de sedimentos, regulação de microclimas, recreação, armazenamento de carbono, plantas medicinais, peixes e produtos agrícolas (TODHUNTER & RUNDQUIST, 2004; JUNK et al., 2013; McCAULEY et al., 2015), além de sustentarem uma vasta biodiversidade (NRC, 1995). A tabela 2 possui um resumo simplificado de todos os serviços ecossistêmicos associados a tais ambientes.

Desta maneira, algumas civilizações, ao longo dos séculos, aprenderam a conviver harmonicamente e tirar seu sustento das áreas úmidas, enquanto outras suprimiram e alteraram completamente suas dinâmicas hidrológicas e biológicas. Localidades como Paris e Versailles, na França, e a capital americana Washington foram desenvolvidas sobre antigos terrenos alagados, ao passo que várias comunidades do extremo oriente souberam conviver e tirar proveito destes ecossistemas (DAHL, 1990; DAVIDSON, 2014; MITSCH & GOSSELINK, 2015).

Embora exista uma certa imagem desfavorável destes ecossistemas aquáticos gerada pela literatura e cultura ocidentais durante décadas, sobretudo pela retratação de pântanos, prados e áreas alagadas como ambientes insalubres, depreciados e de baixo potencial econômico, a agricultura de subsistência, em especial os arrozais instalados em regiões de áreas úmidas, alimentam uma significativa parte da população mundial, sem contar a produção de considerável parcela da proteína consumida na África Subsaariana (HOOK, 1993; MACASKILL, 2011). Além de fonte de alimentos, as áreas úmidas historicamente forneceram materiais para construção e combustíveis para diversos povos que extraíram, durante séculos, suas argilas e vegetação, para a construção de paredes e telhados, além da turfa utilizada como combustível residencial (ACHARYA, 2014; MITSCH & GOSSELINK, 2015). Coles & Coles (1989) denominaram de “povos de áreas úmidas” (*wetlanders*) as comunidades de culturas sustentáveis desenvolvidas neste tipo de ambiente, como é o caso dos Camarguais no sul da

Europa e antigas tribos norte-americanas que conviveram durante séculos em harmonia com as áreas úmidas, principalmente na região da Flórida e costa noroeste dos Estados Unidos com registros arqueológicos da ordem de 2.000 anos.

Tabela 2: Serviços ecossistêmicos oferecidos pelas áreas úmidas.

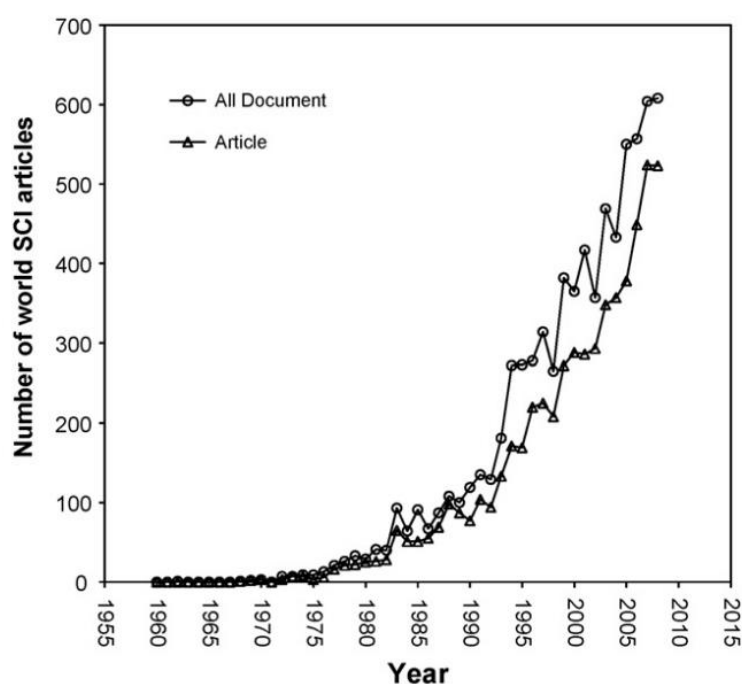
SERVIÇOS	EXEMPLOS
Provisão	
<i>Comida</i>	Produção de peixes, frutas e grãos
<i>Água Doce</i>	Armazenamento e retenção de água para uso doméstico, industrial e agrícola
<i>Fibras e Combustível</i>	Produção de lenha, turfa e forragens
<i>Bioquímicos</i>	Extração de medicamentos e outros materiais
<i>Materiais Genéticos</i>	Genes de resistência a patógenos vegetais, plantas ornamentais etc.
Regulação	
<i>Climática</i>	Fonte e captação de gases estufa; influência no clima local
<i>Água (fluxos hidrológicos)</i>	Descarga e recarga de água subterrânea
<i>Purificação e Tratamento</i>	Retenção, recuperação e remoção de excessos de nutrientes e poluentes
<i>Erosão</i>	Retenção de solos e sedimentos
<i>Riscos Naturais</i>	Controle de enchentes e eventos tempestivos
<i>Polinização</i>	Habitat para agentes polinizadores
Culturais	
<i>Espiritual e Inspiracional</i>	Fonte de inspiração e religiosidade
<i>Recreacional</i>	Oportunidades para atividades recreacionais
<i>Estético</i>	Valores de beleza dos ecossistemas de áreas úmidas
<i>Educacional</i>	Oportunidades para educação formal e informal; treinamentos
De Suporte	
<i>Pedogênese</i>	Retenção de sedimentos e acúmulo de matéria orgânica
<i>Ciclagem de Nutrientes</i>	Armazenamento, reciclagem, processamento e aquisição de nutrientes

Fonte: Finlayson *et al.* (2005)

Em relação às práticas agrícolas, muitas espécies vegetais são incapazes de sobreviver em ambientes de solos saturados devido a condições anóxicas, crescimento restrito de raízes, disponibilidade de nutrientes reduzida, aumento relativo de salinidade e presença de ervas daninhas e pestes, além de dificultar a ação do próprio maquinário utilizado na agricultura (BROWN et al., 2017). Por outro lado, uma relação mais “moderna” entre homem e áreas úmidas ocorre pelo desenvolvimento o chamado ecoturismo, sobretudo em regiões como o Pantanal brasileiro e do Delta do Okavango, na África, ambos sistemas com grande importância na geração de recursos, empregos e renda para populações locais (MBAIWA et al., 2008; TOMAS et al., 2019).

Até meados da década de 70, a pouca importância dada às áreas úmidas possibilitava a destruição destes ecossistemas aquáticos por conta do avanço da agricultura e urbanização, sobretudo pelo encorajamento de tais práticas por parte de governos e legislações ambientais vigentes na época, como foi o caso do Programa Pró-Várzea do Governo Federal brasileiro, responsável pela drenagem de inúmeras várzeas e banhados para fins agrícolas (DIEGUES, 1994). Atualmente, a visão destes ambientes por parte da população e governantes vai de encontro a políticas de preservação e manejo sustentável, embora as áreas úmidas ainda estejam sob risco ambiental constante, assim como vários outros ecossistemas mundiais.

Figura 16: Número de citações ao termo “wetlands” em títulos e palavras-chave em publicações de 1955 a 2008.



Fonte: Zhang et al. (2010).

Embora atualmente haja milhares de pesquisadores atuantes em estudos focados em áreas úmidas, a realidade até meados da década de 70 era bastante distinta, com apenas alguns trabalhos de pesquisadores pioneiros na área (Figura 16). Zhang *et al.* (2010) quantificaram a produção científica do tema de 1991 a 2008, cujos resultados mostraram que as três categorias de estudo mais comuns foram: ciências ambientais, ecologia e biologia marinha e de água doce, o que representa cerca de 39%, 29% e 11% de toda a produção, respectivamente. De modo mais subordinado, a abordagem geoquímica e geofísica das áreas úmidas perfizeram apenas 0,93% das publicações, um total de 127 trabalhos em 17 anos. No que tange aos países, os Estados Unidos mantêm a liderança de país com a maior produção, seguidos do Canadá e Reino Unido, enquanto o Brasil, um dos países com o maior número de sistemas de AU's do mundo, contava apenas com 202 publicações e ocupava a 14ª posição em meados de 2008 (ZHANG *et al.*, 2010).

4.2 Áreas Úmidas no contexto nacional

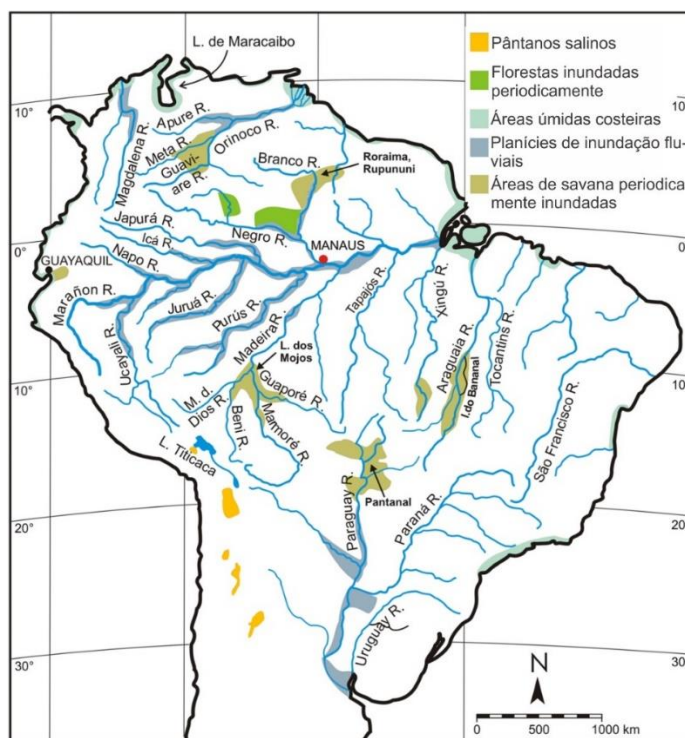
No Brasil tais ecossistemas possuem algumas peculiaridades devido ao extenso território nacional e a grande diversidade de AU's, o que as torna alvos ainda mais difíceis em trabalhos de definição, delimitação e classificação, haja vista que estimativas apontem para uma abrangência de aproximadamente 20% dos 8.516.000 km² de território brasileiro, o que inclui áreas de difícil acesso da Bacia Amazônica (JUNK *et al.*, 2011; JUNK *et al.*, 2013).

A região Norte do país é detentora de grande parte destes ecossistemas, cujas AU's em florestas ocupam cerca de 30% das planícies do bioma Amazônico, enquanto em direção ao sul as AU's se tornam relativamente menos comuns, embora o Pantanal Matogrossense e as áreas úmidas do Rio Araguaia cubram milhares de quilômetros quadrados no contexto do Cerrado brasileiro (Figura 17), bioma este bastante significativo do ponto de vista de ocorrência territorial (JUNK *et al.*, 2013). Do mesmo modo, vale ressaltar a importância dos 1.012.376 ha de manguezais ao longo da costa brasileira, mais especificamente até seu limite ao sul próximo a 30° em latitude, além de extensas lagunas (HERTZ, 1991 *apud* LACERDA *et al.*, 1993). Por outro lado, as áreas úmidas artificiais são tidas por salinas, açudes, arrozais e reservatórios de hidrelétricas também espalhados por grande parte do território nacional (DIEGUES, 1994).

A tradução e correlação dos termos entre diferentes idiomas é uma tarefa desafiadora, sobretudo pelas questões culturais e linguísticas de cada povo, além dos fatores físicos

específicos que envolvem as áreas úmidas (químicos, biológicos e hídricos) (ZOLTAI & VITTI, 1995; HAYASHI et al., 2016). Alguns termos em português ou derivados de línguas indígenas utilizados para descrever regiões de áreas úmidas na América do Sul incluem: igapó, várzea, vereda, campo úmido, buritizal etc. (JUNK et al., 2011).

Figura 17: Distribuição espacial das áreas úmidas de maior expressão no norte da América do Sul, o que inclui o Brasil.



Fonte: Junk (2007).

Os escassos inventários e sistemas de classificação de AU's no Brasil foram propostos a partir da década de 1980 e, principalmente, durante os dez anos posteriores, porém de forma compartimentada segundo diferentes biomas e regiões geográficas brasileiras (MALTCHIK, 2003). Desta maneira, Ribeiro & Walter (1998) propuseram classificações com base nas fitofisionomias do bioma Cerrado, com as veredas (cabeceiras de drenagem) relacionadas aos solos hidromórficos. Maltchik *et al.* (1999) *apud* Junk *et al.* (2013), por sua vez, estabeleceram um sistema de classificação para AU's do semiárido nordestino, enquanto no Sul do país pode-se citar os trabalhos de Maltchik *et al.* (2004). Os grandes biomas brasileiros, como o da região da Bacia Amazônica e suas várzeas e o Pantanal, provavelmente os de maior interesse e visualização pela comunidade acadêmica internacional, também foram contemplados por

trabalhos de classificação de AU's (JUNK et al. 2011, 2013; NUNES DA CUNHA & JUNK, 2011).

Em termos de grupos de pesquisa no Brasil, o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Áreas Úmidas (INCT Áreas Úmidas ou INAU) é um grupo de pesquisa financiado pelo Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (CNPq) e coordenado pela Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), com o intuito de formação de uma equipe multi-institucional e multidisciplinar atuante neste tipo de ecossistema. Como produto recente do instituto está a classificação das AU's em todo o território brasileiro, trabalho de extrema importância na elaboração de políticas públicas para a conservação e o manejo sustentável destes importantes biomas.

De forma mais focada em um dos complexos de AU's mais importantes do mundo, o Centro de Pesquisas do Pantanal (CPP) configura organização independente, com enfoque humanista e sem fins lucrativos, além de atuar em nível internacional nos países da bacia do Prata através do Programa Regional Ambiental do Pantanal (PREP), cuja missão se resume em contribuir com a sustentabilidade ambiental, social e econômica de AU's. Ademais, outros grupos atuantes na área se resumem ao Grupo de Monitoramento de Áreas Úmidas da Amazônia (MAUA), laboratório de Ecologia e Conservação de Ecossistemas Aquáticos da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura (Nupélia) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), Instituto de Ciências Marinhas (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará e o Instituto de Oceanografia das Universidade de São Paulo (IOUSP) e Federal do Rio de Janeiro (IO).

Sob o ponto de vista social, o NUPAUB (Núcleo de Apoio a Pesquisa Sobre Populações Humanas em Áreas Úmidas Brasileiras) configura um centro interdisciplinar de pesquisa ligado à Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade de São Paulo. Foi criado em 1988 para o estudo das relações entre populações humanas e áreas periodicamente inundáveis do Brasil.

Devido à relativamente alta complexidade ecológica e hidrogeológica das AU's, além da ignorância acerca de sua importância, a preocupação no estabelecimento de diretrizes e legislações para a proteção destes ecossistemas é um evento relativamente recente na história, fato este que levou a uma perda significativa de uma grande parcela deste ecossistema em várias localidades do mundo, sobretudo durante o século XX, o que o torna um dos ecossistemas mais ameaçados em todo o planeta (FINLAYSON et al., 2005; JUNK et al. 2013; DAVIDSON, 2014). Dados sobre fauna e flora também não são nada animadores: cerca de 81% e 36% das espécies de AU's continentais e costeiras, respectivamente, têm apresentado significativo declínio desde os anos de 1970 (GARDNER & FINLAYSON, 2018).

Embora as conversões de uso e ocupação do solo tenham dizimado parte das AU's da América do Norte e Europa (DAHL, 1990; BERNÁLDEZ et al., 1993; FINLAYSON et al., 2005), é evidente que tais problemas ambientais não sejam de ocorrência exclusiva de países atualmente tido como desenvolvidos economicamente, uma vez que África do Sul e China têm passado por questões ambientais similares em razão da introdução de plantas exóticas, erosão, drenagem e ocupação do solo, poluição, queimadas e atividade mineira nos domínios destes ecossistemas (EWART-SMITH et al., 2006; AN et al., 2007).

No Brasil, os recentes trabalhos de definição e classificação integrados, como aqueles propostos por Junk *et al.* (2013), revelam o atraso do país perante o tema, sobretudo pela falta de bases para uma estimativa precisa de perdas das AU's em um território tão vasto e heterogêneo do ponto de vista climático, geológico, pedológico e hidrogeológico. Não é difícil de imaginar, entretanto, o impacto histórico da ocupação humana ao longo da costa brasileira e a pressão exercida sobre os ecossistemas úmidos costeiros (DIEGUES, 1994).

Do mesmo modo, o avanço populacional e agrícola sobre os biomas do Cerrado e Amazônia, intensificado a partir de meados do séc. XX, fornece uma ideia de todas as áreas úmidas aniquiladas ou modificadas ao longo do processo de desenvolvimento nacional, sem que tais ecossistemas tenham despertado interesse significativo por parte do Estado ou da própria população. Isso é evidenciado pelo fato de que a velocidade de degradação das AU's é bastante superior em comparação a outros ecossistemas (cerca de três vezes maior) (FINLAYSON et al., 2005; NEUBAUER & VERHOEVEN, 2019).

No contexto do interior paulista, mais precisamente na região de Leme, Zuquette *et al.* (2020) desenvolveram um inventário de 120 AU depressionais nos mais variados contextos litológicos e pedológicos, cuja área total equivale a aproximadamente 902 ha. Os resultados mostraram a predominância da agricultura (62,9%), em especial do cultivo de cana-de-açúcar, no entorno ou na área de captação das AU, além 60 delas impactadas por escavações ou trincheiras e 10 AU cortadas por estradas e rodovias. Zuquette *et al.* (2020) ressaltam ainda a ocorrência do avanço da urbanização nestes ambientes.

No mesmo contexto do Cerrado brasileiro, Furlan *et al.* (2020) e Rosa *et al.* (2022) exploraram métodos de imageamento não tripulado e geofísica na determinação de estoques de água e geração de modelos da dinâmica hidrogeológica local, enquanto em publicações mais recentes de Furlan *et al.* (2023), os autores revelaram uma variação espacial significativa na área inundada das AU's ao integrar dados de várias fontes, além de alterações no padrão de vegetação, na interação solo-água, bem como na interação de água superficial e subsuperficial

ao longo de um hidroperíodo. Esses resultados foram importantes na compreensão da hidrodinâmica e hidroperíodos de pequenas AU's em uma escala local.

Mesmo com a crescente importância dada ao tema, as áreas úmidas ainda são alvo de várias ações predatórias, em especial devido à implementação de sistemas de drenagem, conversão, poluentes, introdução de espécies invasoras e atividades extrativas (GARDNER & FINLAYSON, 2018). De maneira complementar, Davidson (2014) menciona fatores como o aumento da urbanização e desenvolvimento de infraestrutura e controle de doenças (especialmente para a eliminação de vetores), além da construção de defesas marítimas, desenvolvimento de regiões portuárias e a aquicultura, estas três últimas relacionadas à degradação de AU's costeiras.

4.3 Áreas Úmidas Geograficamente Isoladas – AUGI

A hidrologia de uma área úmida é relacionada aos aspectos temporais e espaciais, sobretudo pela circulação e características físico-químicas das águas superficiais e subterrâneas da área úmida e de sua bacia, cujas condições químicas do solo e da água perfazem importantes parâmetros para os ciclos biogeoquímicos (RICHARDSON et al., 2001; JUNK et al., 2011). Em outras palavras, o termo “hidrologia” é relacionado ao estudo da água e sua distribuição na superfície e interior da Terra. No presente caso, a hidrologia de uma área úmida é associada ao balanço hídrico através da análise dos fluxos de água que entram, deixam ou são armazenados neste ambiente.

Embora haja uma ampla variedade de fatores, o que inclui os aspectos geológicos, climáticos, geomorfológicos, biológicos e hidroquímicos das áreas úmidas, o contexto hidrológico discutido tem como finalidade a apresentação de um modelo teórico compatível com a região da presente área de estudo que, de certa forma, pode apresentar certas similaridades com outros sistemas hídricos como aqueles presentes na grande região de pradarias da América do Norte, onde são denominados de *potholes* e alvos de inúmeras pesquisas na área (HARRIS & MARSHALL, 1963; SLOAN, 1972; LaBAUGH et al., 1987; ARNDT & RICHARDSON, 1988; ARNDT & RICHARDSON, 1993; LaBAUGH et al., 1998; CONLY & KAMP, 2001; HAYASHI et al., 2016).

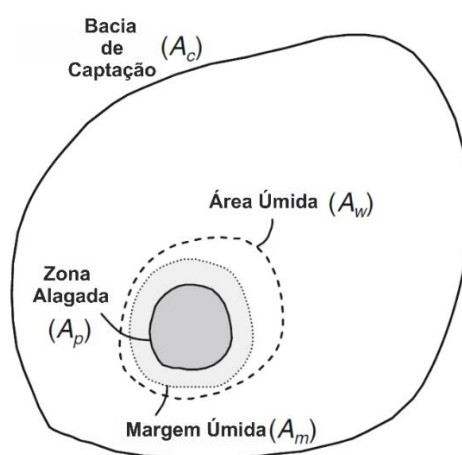
No contexto de ecossistemas transicionais não conectados através de corpos hídricos superficiais, existem as chamadas “áreas úmidas geograficamente isoladas” (AUGI), embora o termo isolado não deva ser compreendido no sentido de funcionalidade, pois as transferências

de água, matéria e energia são realizadas por meios subsuperficiais e transbordamentos intermitentes (*spillovers*) (TINER, 2003; LEIBOWITZ, 2015; MUSHET et al. 2015). Desta maneira, estes sistemas são compreendidos como bacias de ordem zero (SIDLE et al., 2018), termo definido nas décadas de 60 e 70, e de grande importância para a dinâmica e relação entre processos hidrológicos e geomórficos (SIDLE et al., 2000).

Mesmo que a conectividade entre ecossistemas aquáticos seja importante do ponto de vista biológico e das funções e condições daqueles à jusante, uma área úmida isolada possui vantagens funcionais na medida em que, por exemplo, retém de forma mais eficaz um contaminante de via aquosa, além de reduzir os efeitos de enchentes durante eventos de tempestades (LEIBOWITZ et al., 2018).

Tais sistemas hídricos são caracterizados hidrogeomorficamente pela ocorrência de uma bacia de captação delimitada pelo divisor de águas, uma possível zona alagada (sazonal ou permanente) e uma borda úmida, todos geometricamente dispostos de forma relativamente concêntrica em relação à área úmida e seu centro, morfologia análoga a um anfiteatro romano (HAYASHI et al., 2016) (Figura 18). Todos os componentes mencionados desempenham um papel fundamental de influência nas condições hidrológicas das AUGI's que, por sua vez, regulam a biodiversidade, produtividade primária, acúmulo de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (MITSCH E GOSSELINK, 2015).

Figura 18: Componentes hidrológicos de uma área úmida geograficamente isolada (bacia de captação, área úmida, zona alagada e margem úmida), segundo Hayashi et al. (2016).



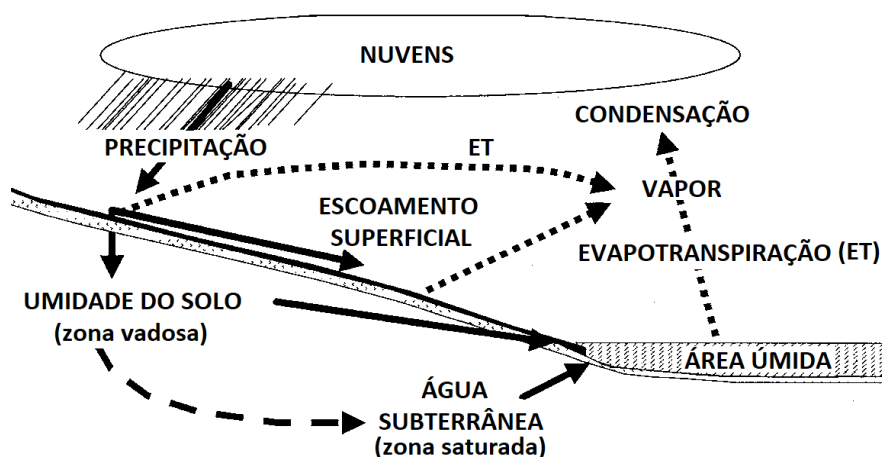
Fonte: Hayashi et al. (2016)

Embora presente de forma permanente ou apenas durante parte do ano, a água em uma área úmida constitui elemento principal de sustento de toda a singular biodiversidade local, sobretudo por possibilitar a existência de uma flora adaptada às condições de umidade e

saturação do solo que, por sua vez, tem na água um importante fator em termos pedogenéticos, conforme mencionado. Petrescu *et al.* (2010) salientam que em torno de 60% das áreas úmidas naturais do mundo são inundadas em apenas um determinado período do ano.

Para a compreensão dos processos que regem a dinâmica hídrica em áreas úmidas, é necessária a noção de que tais ecossistemas, assim como os rios e a atmosfera, perfazem componentes de armazenamento temporários do ciclo hidrológico global (RICHARDSON *et al.*, 2001; BULLOCK & ACREMAN, 2003) (Figura 19). Este ciclo é baseado na circulação contínua da água do planeta entre os três estados físicos da matéria, i.e., sólido, líquido e gasoso, cuja energia motora, tanto em escala global quanto microscópica, é proveniente, em sua totalidade, do sol.

Figura 19: Estágios de circulação da água no ciclo hidrológico global, com detalhe para a área úmida como componente de armazenamento de água dentro do ciclo e a água subterrânea como elemento de contribuição (período úmido).



Fonte: Richardson *et al.* (2001)

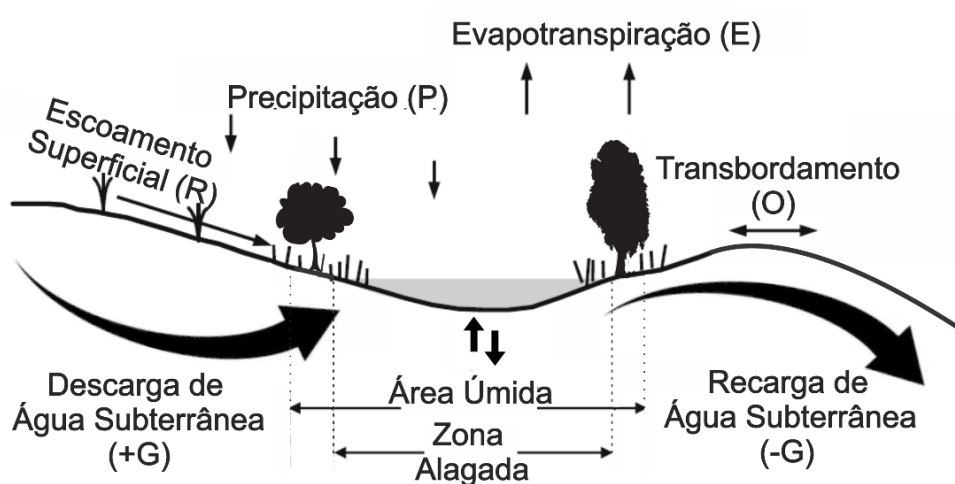
Desta maneira, os fluxos de água que alimentam a área úmida, compreendida como um reservatório, são: escoamento superficial, precipitação direta (neve ou chuva), descarga de água subterrânea e transbordamento. Por outro lado, a saída de água do sistema ocorre por mecanismo da evapotranspiração e recarga de água subterrânea, este último como importante componente de abastecimento de aquíferos (MENDOZA-SANCHEZ *et al.*, 2013). Um elemento-chave do aspecto hídrico de uma área úmida é, sem dúvida, a água subterrânea, cuja dinâmica de fluxo, variabilidade do nível freático e persistência da zona saturada possuem profunda influência na intensidade e taxas de processos físicos e químicos que fornecem uma série de indicadores pedológicos.

Assim, as áreas úmidas são tidas como regiões de conexão entre águas superficiais e subterrâneas, na forma de verdadeiras “janelas” para o aquífero sotoposto (APPELS et al., 2015) que, de certa forma, possui uma dependência significativa das áreas úmidas no tocante à retenção de contaminantes e manutenção da qualidade hídrica (BIDWELL, 2013). Toda essa dinâmica de fluxos entre a área úmida e o ambiente subsuperficial confere uma mobilização de matéria, seja na remoção de materiais deste meio através de fluxos para fora do sistema e a entrada de compostos pelo sentido oposto (Figura 20).

Estes sistemas possuem ocorrência mundial, cuja variabilidade de fatores fisiográficos, tais como clima, flora, pedologia e geologia, propicia o estabelecimento de sistemas hídricos e hidrogeológicos definitivamente únicos.

O clima é um dos fatores preponderantes na existência e sazonalidade das áreas úmidas (TROCH et al., 2013), sobretudo pela existência ou não de zonas alagadas em seu interior que, de acordo com Stewart & Kantrud (1971), são classificadas em sete classes diferentes baseadas na relação área alagada-vegetação. Assim, o volume de água armazenada varia em resposta ao balanço entre a entrada e saída de água, uma vez que climas mais úmidos favorecem uma sustentação anual de fluxo contínuo, o que mantém os níveis d'água relativamente constantes (HAYASHI et al., 2016). Por outro lado, a condutividade hidráulica também pode ser tida como um fator importante na retenção ou não da zona alagada de uma AU.

Figura 20: Sistema hidrológico de uma área úmida com os principais mecanismos de entrada e saída de água, fundamentais no cálculo do balanço hídrico.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Vale ressaltar a importância da diferenciação entre clima e tempo, o primeiro definido por um estado coletivo da atmosfera em um dado lugar dentro de um tempo especificado e

geralmente longo. Por outro lado, o tempo reflete um estado individual observado por curtos períodos (RICHARDSON et al. 2001). Desta maneira, o clima é refletido nos aspectos morfológicos dos solos hidromórficos de uma área úmida e sua flora, enquanto o tempo é associado a variações pontuais no nível freático, resultado da pluviosidade local.

O balanço hídrico de um local definido através de um longo período é fundamental na indicação da existência ou não de uma área úmida. Variações de curto período, por sua vez, produzem curtas flutuações no nível freático, fato este denominado de Hidroperíodo (RICHARDSON et al., 2001). Segundo Reddy e DeLaune (2008), o hidroperíodo é um fator que, aliado à hidrodinâmica e origem das águas, pode ser utilizado na classificação das AU's.

O balanço hídrico de uma AU é dado pela equação 1, na qual são estabelecidas relações entre todas as variáveis de entrada e saída observadas na Fig. 20, segundo Hayashi *et al.* (2016):

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \text{carga} - \text{descarga} = A_w(P - E) + (A_c - A_w)R + G + O \quad (\text{Equação 1})$$

Onde A_w é a área da área úmida; A_c a bacia de captação delimitada pelo divisor de águas (m^2); ΔS é a variação do armazenamento de água em função de um curto período Δt (m^3s^{-1}); O representa o transbordamento (m^3s^{-1}); G é contribuição da água subterrânea (m^3s^{-1}), de maneira positiva (recarga) e negativa (descarga) (ver Figura 20); P a precipitação direta ($m^3m^{-2}s^{-1}$); R o escoamento superficial ($m^3m^{-2}s^{-1}$); e E referente a evapotranspiração ($m^3m^{-2}s^{-1}$). A definição desta última variável é dada pela soma dos processos de evaporação direta da água superficial/umidade do solo/superfície das plantas (evaporação) e a perda de água através dos estômatos da flora local (transpiração).

Do ponto de vista antrópico, o uso do solo nas bacias hídricas das áreas úmidas é de extrema importância no escoamento superficial e, conseqüentemente, no balanço hídrico local, haja vista que a predominância de solos de baixa permeabilidade hidráulica induz o escoamento pela superfície do terreno (HAYASHI et al., 2016). Deste modo, a fração de água infiltrada que atinge profundidades superiores a 30 cm no solo dificilmente deixam o ambiente pelo processo de evaporação, enquanto que plantas freatófitas são capazes de absorver a água em grande quantidade diretamente da zona saturada, o que pode levar a um rebaixamento local do nível freático (RICHARDSON et al., 2001).

Em virtude da hidromorfia, solos saturados têm seu suprimento de O_2 rapidamente esgotado em função das demandas químicas e bioquímicas de oxigênio, o que influencia diretamente em suas características químicas e no desenvolvimento da biota local, sobretudo

por configurarem ambientes anaeróbios, onde a difusão do O₂ atmosférico é significativamente mais lenta quando comparada às condições não saturadas do entorno das áreas úmidas (LYON & LYON, 2011)

Uma vez que as áreas úmidas são ecossistemas de ocorrência mundial, a grande variabilidade de fatores ambientais, tais como clima, flora e contexto geológico, propiciam o estabelecimento de sistemas hídricos definitivamente únicos do ponto de vista hidrogeológico. Desta maneira, cada área úmida, de maneira individual ou coletiva, desempenha suas funções ecológicas (hídricas, biogeoquímicas, de habitat e de biodiversidade) próprias e, por isso, estudos sob a ótica do conceito de Zonas Críticas (*Critical Zones*) (BRANTLEY et al. 2006) são essenciais no gerenciamento ambiental e exploração sustentável destes ecossistemas, sobretudo pela manutenção da qualidade hídrica de populações locais (GREEN et al., 2019).

4.4 Aspectos hidrogeoquímicos das AUGI

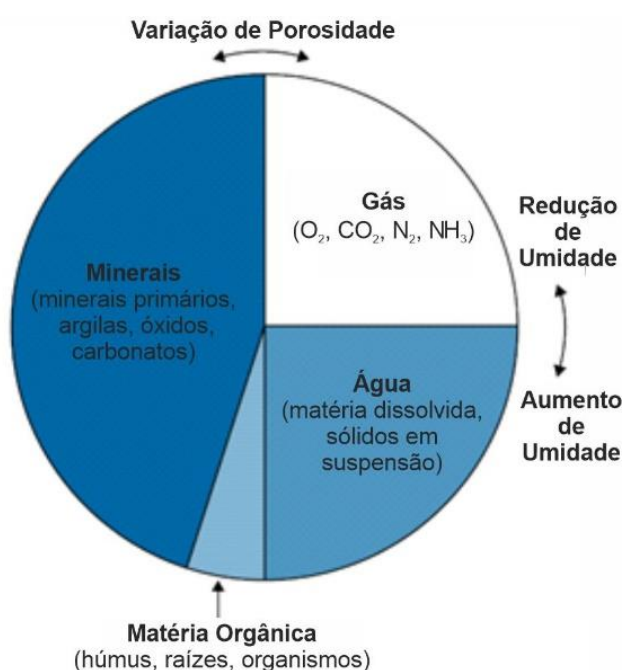
As áreas úmidas como ambientes transicionais caracterizados pela alta concentração de matéria orgânica e sazonalidade das condições oxido-redutoras possuem, como uma de suas funções geoquímicas principais, a capacidade de retenção de elementos-traços reconhecidos pela sua alta toxicidade (LI et al., 2018), devido a condições físico-químicas intrínsecas a cada sistema de áreas úmidas, cujas variações são resultado dos fatores ambientais já mencionados. Desta maneira, qualquer avaliação da mobilidade de certos elementos químicos para a fase líquida do solo para o sistema hídrico deve, portanto, considerar estes fatores associados a variações sazonais dos ciclos bioquímicos e hidrológicos (OLIVIE-LAUQUET et al., 2001). O diagrama da figura 21 mostra os diferentes componentes das fases sólida, líquida e gasosa de um solo genérico, além de variações de outras características físicas como umidade e porosidade.

O solo é composto essencialmente por uma matriz de O-Si-Al-Fe que, até certo ponto, é inerte em termos de nutrição vegetal, com um conteúdo relativamente pequeno de elementos essenciais (Tabela 3). Mesmo como elementos majoritários, Fe, Si e Al também possuem, de modo geral, baixas concentrações em águas superficiais (BOHN et al., 2001). Assim, o termo “especiação” é dado à inferência da fase (sólida, líquida e gasosa), oxidação, estado de valência, estado isotópico, ambiente de ligação e estrutura de um certo elemento ou molécula (STRAWN et al., 2020).

A relação entre solo e a hidrosfera desempenha um papel fundamental na dinâmica geoquímica do sistema, uma vez que várias reações e a mobilidade de partículas e íons ocorrem

em meio aquoso. Entretanto, toda a água contida na pedosfera na forma de umidade do solo corresponde a apenas 0,0005% de toda a reserva global da substância (LUTGENS & TARBUCK, 2016), o suficiente para suportar uma grande biodiversidade e reger trocas de matéria e energia entre os solos e a atmosfera, hidrosfera e a biosfera (Figura 22). Em muitos casos, as águas que atingem profundidades maiores no ambiente geológico ainda conservam as características químicas geradas pela sua percolação através dos níveis mais superficiais (BOHN et al., 2001).

Figura 21: As fases e componentes dos solos.



Fonte: Strawn *et al.* (2020)

Solutos e eletrólitos presentes na fase líquida dos solos são fontes imediatas de matéria para o crescimento e desenvolvimento da flora local, além daqueles adsorvidos em fase sólida, com exceção do carbono (como CO₂), hidrogênio (como H₂O) e oxigênio (como O₂) obtidos diretamente e/ou originados da atmosfera. Estes elementos possuem contínua disponibilidade, especialmente aqueles baseados na interação complexa entre os íons e componentes do solo, que podem atuar de forma a retirar ou adicionar espécies iônicas da fase líquida através de vários mecanismos, como é o caso de intemperismo de minerais, decomposição da matéria orgânica, chuva, irrigação, fertilização e liberação de íons retidos por colóides (BOHN et al., 2001).

Tabela 3: Composição química média dos solos, relação entre a composição da matéria mineral vegetal e dos solos e a taxa de absorção pelas plantas.

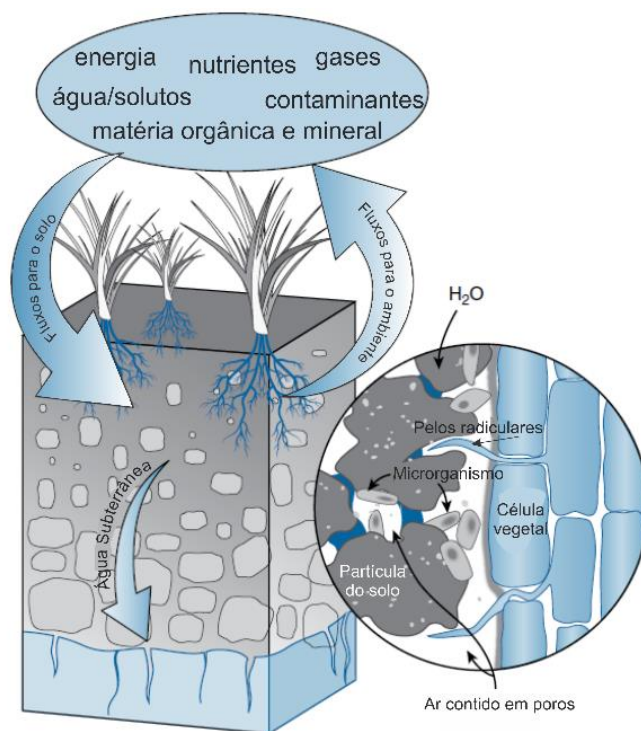
Elemento	Conteúdo no solo (%)	Relação Matéria Mineral Vegetal/Solo	Absorção anual pelas plantas (kg ha⁻¹ ano⁻¹)
Oxigênio	49	-	-
Hidrogênio	-	-	-
Silício	33	0,3	20
Alumínio	7	0,03	0,5
Ferro	4	0,1	0,4
Carbono	1	-	-
Cálcio	1	25	50
Potássio	1	15	30
Sódio	0,7	1	2
Magnésio	0,6	3	4
Titânio	0,5	0,08	0,08
Nitrogênio	0,1	15	30
Fósforo	0,08	4	7
Manganês	0,08	0,6	0,4
Enxofre	0,05	70	2
Flúor	0,02	1	0,01
Cloro	0,01	10	0,06
Zinco	0,005	5	0,3
Cobre	0,002	5	0,1
Boro	0,001	50	0,003
Estanho	0,001	2	0,001
Iodo	0,0005	0,1	0,00003
Molibdênio	0,0003	~2	0,003
Cobalto	0,0008	1	0,0006
Selênio	0,000001	~500	0,003

Fonte: Bohn *et al.* (2001)

A mobilidade de elementos e moléculas através dos solos, de maneira geral, é relativamente complexa, pois as diferentes fases atuam através de distintos mecanismos de retenção ou liberação, que são regidos através das condições físico-química que ocorrem de maneira específica em cada tipo de ambiente (STRAWN *et al.*, 2020). As trocas entre as fases sólida e líquida dos solos são uma das mais importantes do ponto de vista ecológico e ambiental, pois atuam de modo a proporcionar a disponibilidade de nutrientes às plantas e a retenção de contaminantes, no caso de impactos de origem antrópica. Assim, os mecanismos de sorção e dessorção atuam na fixação de íons à superfície de minerais, em especial os argilominerais, cujo

comportamento é controlado por forças elétricas em virtude de suas especificidades químicas e cristalográficas.

Figura 22: Fluxos de matéria e energia entre solo e o ambiente, com detalhe para a interação entre o sistema radicular das plantas e agregados.



Fonte: Strawn *et al.* (2020)

Os argilominerais são silicatos de alumínio hidratados com a presença em quantidades variáveis de elementos alcalinos (Na, K) e alcalinos terrosos (Ca, Mg). Sua estrutura singular é formada pela intercalação entre folhas de arranjo hexagonal de tetraedros de silício e oxigênio e octaedros de alumínio/magnésio e oxidrilas. Em função da relação entre raios iônicos e cargas de certos íons, trocas isomórficas podem ocorrer nas posições do Si (por Al^{3+} , Fe^{2+} e Fe^{3+}) e Al (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Ti^{4+} , Cr^{3+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Li^{1+} e Mg^{2+}). A efetiva troca, em especial do Si^{4+} no tetraedro por Al^{3+} , causa um desbalanço e a consequente geração de cargas elétricas negativas permanentes na superfície do mineral, que são equilibradas por cátions presentes no solo. Esse mecanismo é a base para a atividade da fração argila.

A classificação estrutural dos argilominerais é um fator chave na questão da CTC, pois a depender da sequência das “folhas” octaédricas e tetraédricas na espécie mineral, a capacidade de troca de cátions pode ser aumentada ou reduzida. Neste caso, os argilominerais são subdivididos entre minerais de estrutura 1:1 (caulinita, halloysita etc.) ou 2:1 (grupos da illita,

esmectita/montmorilonita, vermiculita etc.). No primeiro caso, uma camada tetraédrica é associada a uma folha octaédrica, cujo empilhamento é feito através das ligações dos oxigênios dos vértices dos tetraedros. As estruturas 2:1, por outro lado, são compostas por duas folhas tetraédricas que envolvem, através do eixo cristalográfico C, uma camada octaédrica, de modo a formar uma estrutura do tipo “sanduíche” que, diferentemente dos argilominerais 1:1 que possuem camadas unidas por pontes de hidrogênio, são unidas por cátions nos espaços intercamadas (VELDE & MEUNIER, 2008; VELDE & BARRÉ, 2009).

A capacidade de realizar trocas catiônicas é facilitada pelos argilominerais em virtude da elevada área específica de seus cristais, que possuem dimensões inferiores a 2 μm , além do potencial de expansão de suas camadas basais que algumas espécies exibem quando são inseridas em meio aquoso. Isso ocorre na maioria dos argilominerais do tipo 2:1, em especial o grupo das esmectitas/montmorilonitas, em função da distância reticular das camadas, que é ausente na caulinita, por exemplo. Assim, a capacidade de retenção de moléculas de água e cátions nestes espaços varia de espécie mineral para espécie mineral, o que torna terrenos ricos em argilas expansivas ambientes menos interessantes para ocupação e construções, haja vista a consequente instabilidade do substrato (solos expansíveis).

A montmorilonita é um argilomineral altamente expansivo que se forma através de processos supérgeos em condições antagônicas àquelas observadas para a geração da caulinita, esta última presente em abundância em solos bem drenados e desenvolvidos. De maneira geral, a montmorilonita é associada a ambientes com alta relação Si/Al, relativa abundância de Mg, Fe, Ca, Na e K com baixas concentrações de H^+ , além de condições de lixiviação pobre, o que impede a perda de bases. Assim, a montmorilonita é um argilomineral do tipo 2:1 comum no interior de AUs, dadas as condições pedológicas distintas (VELDE & BARRÉ, 2009).

A figura 23 demonstra como rizosfera é capaz de gerar a acidificação do solo (geração de H^+) por meio da respiração radicular e consequentemente a troca por outros cátions, como o Ca^{2+} , e sua incorporação na biosfera.

Diante das várias possibilidades de retenção para cada uma das espécies iônicas ou moleculares, a complexidade química de um solo é uma característica natural da pedosfera. Assim, a retenção e troca de íons e moléculas configuram as propriedades coloidais mais importantes desempenhada pelos argilominerais presentes no solo (VIERS et al., 1997), o que constitui um mecanismo fundamental na manutenção da vida e dinâmica hidrogeoquímica do substrato, embora outras substâncias, como a matéria orgânica do solo, humus, protoplasma, e paredes celulares também exibam propriedades de sistemas coloidais (BOHN et al., 2001;

PANSU & GAUTHEYROU, 2006; TAN, 2011). Em certos casos, dada a dificuldade de distinção entre os mecanismos de absorção e adsorção, o termo “sorção” pode ser empregado.

Assim, os colóides podem ser definidos como substâncias que exibem alguma integridade estrutural, cujo tamanho de partícula varia de 1 a 1.000 nm e formam misturas quando suspensas no ar ou em meio aquoso, i.e, seus componentes tendem a perder suas características individuais para formarem misturas que praticamente configuram substâncias únicas, embora suas partículas diminutas nunca cheguem a atingir dimensões moleculares (BOHN et al., 2001; TAN, 2011).

Os colóides também são componentes-chave na dinâmica química do solo em virtude da grande área superficial de interação entre as partículas com o meio. Para efeitos comparativos, um grão de areia de 1 mm possui a razão área superficial/massa de aproximadamente $0,002 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, enquanto uma partícula de argila de $1 \mu\text{m}$ e uma nanopartícula de 1 nm possuem razões da ordem de $2 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ e $2.000 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, respectivamente (BOHN et al., 2001).

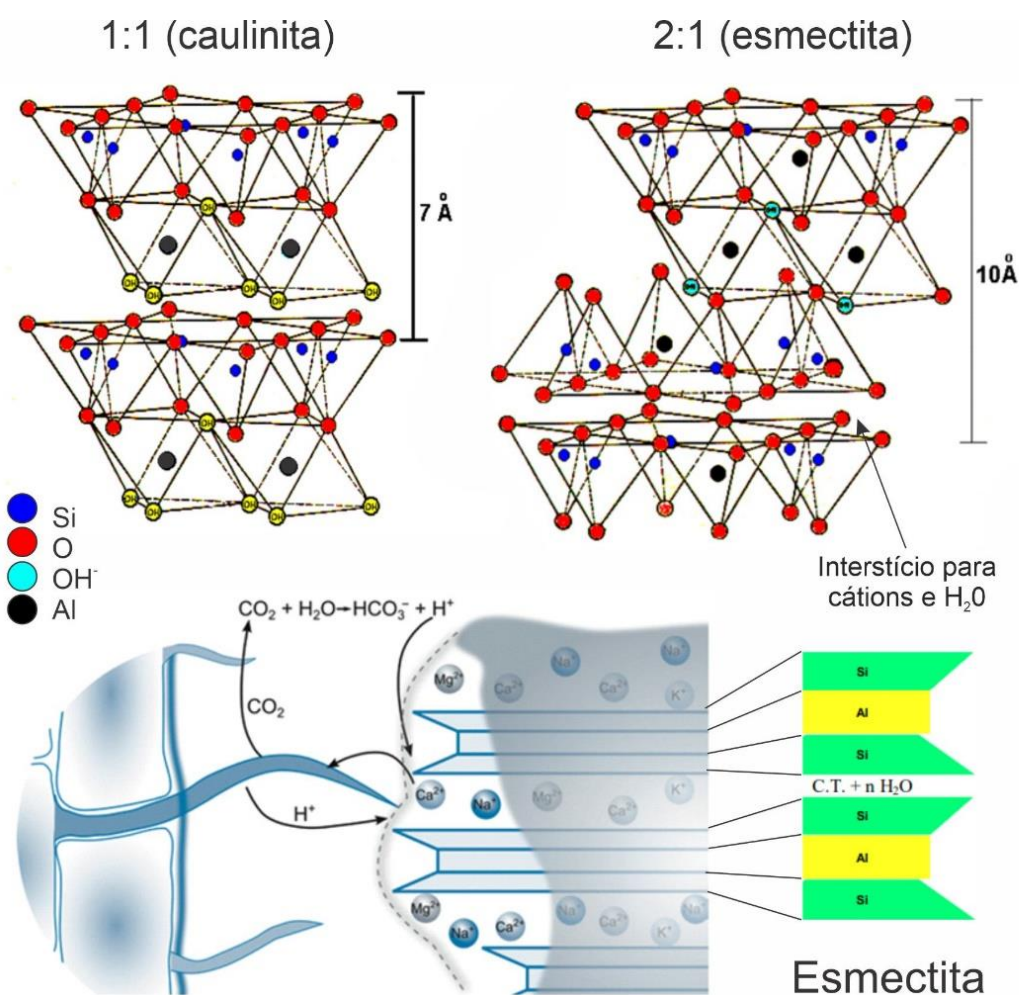
Além dos mecanismos de sorção, íons e moléculas podem ser retidos no solo (ou liberados para a água intersticial) através de trocas iônicas, precipitação, atração eletrostática, reações com a matéria orgânica do solo (MOS) e retenção pelas células microbiais (BOHN et al., 2001). A figura 24 trata, de maneira didática, a complexidade da dinâmica dos compostos iônicos nos solos através de diferentes mecanismos atuantes entre as fases sólida, líquida e gasosa, como é o caso da volatilização e dissolução (como ocorre com o CO_2 , O_2 e vários poluentes voláteis); mineralização e imobilização através de compostos orgânicos; precipitação e dissolução, altamente dependente de condições de pH, temperatura, atividade biológica e concentrações de diferentes compostos nas águas intersticiais; e oxidação/redução, com influência direta nas condições de Eh.

Em regiões de solos alagados, a entrada de O_2 no sistema pode ficar bastante reduzida em função das condições hidrogeológicas locais. Em resposta a isso, a decomposição da matéria orgânica por parte de microrganismos é feita através de receptores específicos de elétrons presentes no ambiente, além de configurarem como fatores limitantes à ação microbiana, produção enzimática e decomposição da matéria orgânica nas áreas úmidas (McLUTCHEY & REDDY, 1998).

A maior parte da matéria orgânica de uma área úmida consiste em celulose e lignina, ambos polissacarídeos complexos de origem vegetal, que originam monômeros simples através da ação de enzimas extracelulares. O decaimento da matéria orgânica libera íons para o solo a uma taxa maior do que aquela gerada pela decomposição de minerais por ação do intemperismo,

embora sejam elementos retidos ou que reagem com a fase sólida do solo antes de serem absorvidos pelas plantas (McLATCHY & REDDY, 1998; BOHN et al., 2001). Essa retenção não impede que um solo passe por um processo total de lixiviação, mas com ligação suficientemente forte para que os íons sejam reciclados várias vezes através dos solos, fauna e flora antes de serem liberados para os aquíferos e águas superficiais (BOHN et al., 2001).

Figura 23: Estruturas das argilas 1:1 (caulinita) e 2:1 (esmectita) com detalhe para a interação entre a rizosfera e argilas do tipo 2:1 do solo, onde o CO_2 é gerado pela respiração radicular e acidifica o meio. São necessários dois H^+ para que a troca com um cátion bivalente, a exemplo do Ca^{2+} , aconteça. A acidificação do solo pela biosfera também é responsável pelo intemperismo de rochas e minerais primários, que contribuem para a liberação de elementos nutrientes.



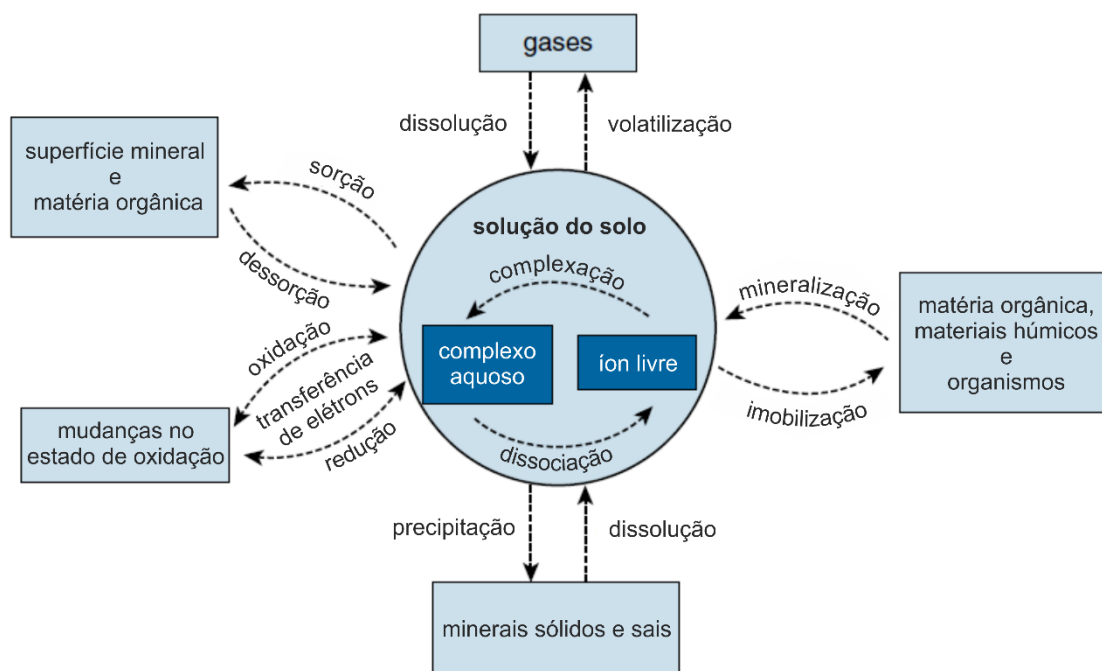
Fonte: modificado de Strawn et al. (2020)

Ligantes orgânicos atuam na complexação de elementos traços, o que inclui U e Th e seus radionuclídeos gerados por suas séries de decaimento, e podem aumentar a solubilidade dessas espécies atômicas no meio aquoso graças à presença de matéria orgânica dissolvida

(DOC) (OLIVIE-LAUQUET et al., 2001). Deste modo, a presença de DOC pode determinar a função da área AU como fonte ou armazenamento dos elementos traços.

As condições de Eh de uma área úmida também perfazem um importante fator de mobilização de espécies químicas, sobretudo contaminantes inorgânicos. Mudanças de Eh em áreas de solos hidromórficos são intimamente ligadas à sazonalidade de parâmetros como temperatura e regime hidrológico, conforme mencionado (OLIVIE-LAUQUET et al., 2001). Ademais, a redução de oxi-hidróxidos de Fe e Mn contidos no solo e a destruição da matéria orgânica através da decomposição anaeróbica por microrganismos heterotróficos configuram processos que podem acarretar mudanças na qualidade hídrica local, sobretudo pela diminuição da retenção de contaminantes inorgânicos em áreas úmidas e a mobilização dos mesmos para a hidrosfera (OLIVIE-LAUQUET et al., 2001).

Figura 24: Mecanismos de fluxo de matéria entre os componentes do solo.



Fonte: Strawn *et al.* (2020)

5. INSUMOS AGRÍCOLAS E IMPACTOS AMBIENTAIS

Alguns compostos originados pelas atividades agrícola, pecuária e aquicultura possuem a capacidade de alterar a integridade dos solos e sistemas hídricos locais e regionais (Tabela 4). Entretanto, é inquestionável a contribuição dos fertilizantes minerais e defensivos agrícolas na manutenção e aumento da produtividade de alimentos para uma população mundial em constante crescimento. Assim, os governantes e as políticas ambientais necessitam atuar no controle do uso deste recurso ao estritamente indispensável com base no controle de desperdícios no campo, restrição de compostos ambientalmente menos seguros e desenvolvimento de técnicas que reduzam o acúmulo e propagação através da cadeia alimentar (BRAGA et al., 2005).

Tabela 4: Categorias de poluentes associados às práticas agrícolas, pecuária e aquicultura. As cores correspondem à contribuição relativa alta (vermelho), média (amarelo) e baixa (verde).

Categoria do Poluente	Indicadores/Exemplos	Contribuição relativa		
		Lavouras	Pecuária	Aquicult.
Nutrientes	Nitrogênio e fósforo primários presentes em fertilizantes orgânicos e inorgânicos, além de resíduos animais. Normalmente encontrados em águas na forma de nitrato, amônia e fósforo			
Pesticidas	Herbicidas, inseticidas, fungicidas e bactericidas, o que inclui organofsfatos, carbamatos, piretroides, pesticidas organoclorados, etc. Muitos, como o DDT, são banidos em vários países, porém ainda utilizados ilegalmente.		-	-
Sais	Íons de sódio, cloro, potássio, magnésio, sulfato, cálcio e bicarbonato. Eles são medidos nas águas diretamente na forma de sólidos dissolvidos totais ou condutividade elétrica.			
Sedimentos	Medido nas águas na forma de sólidos suspensos totais ou em unidades nefelométricas de turbidez, especialmente em drenagens durante o período de colheita.			
Matéria orgânica	Medida como demanda química e bioquímica de oxigênio			
Patógenos	Bactérias ou indicadores patogênicos, como <i>Escherichia coli</i> , coliformes totais, coliformes fecais e <i>enterococcus</i>			
Metais	Selênio, chumbo, cobre, mercúrio, arsênio e manganês			
Poluentes emergentes	Resíduos de medicamentos, hormônios e aditivos alimentares	-		

Fonte: Mateo-Sagasta *et al.* (2018)

Além de nutrientes e pesticidas, as práticas agrícolas podem ainda gerar outras importantes classes de contaminantes, como sais, sedimentos e matéria orgânica. Com exceção do processo de salinização, que ocorre em virtude da irrigação artificial do solo, e problemas ambientais relacionados à sedimentação, relacionados ao uso e gerenciamento inadequados do solo com consequências como a perda do substrato e assoreamento de sistemas hídricos, a questão dos fertilizantes, matéria orgânica (na forma de fertilizantes orgânicos, como a vinhaça) e pesticidas são tratados com maiores detalhes a seguir.

5.1 Fertilizantes

Fertilizantes são considerados insumos agrícolas, naturais ou manufaturados, utilizados como fontes de nutrientes para lavouras, onde o objetivo final é o aumento da produtividade e qualidade das culturas em geral (ISHERWOOD, 2000). São cerca de dezesseis os elementos necessários assimilados pelo vegetal durante seu desenvolvimento, como os macronutrientes primários (N, K e P), macronutrientes secundários (Ca, Mg e S) e os micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo e Cl), que são naturalmente limitados pela capacidade de suprimento do solo a partir de suas formas minerais ou mineralizadas.

Em solos de baixa e média produtividade, a adubação pode corresponder a até 25% dos custos de produção, a depender também das exigências nutricionais do vegetal e histórico de adubação da área (TRANI e TRANI, 2011). Nem mesmo as melhores técnicas de aplicação garantem uma eficiência de 100%, onde o excedente acaba incorporado ao solo através de mecanismos de fixação na fração sólida (ver Seção 3.5) ou lixiviados para águas subterrâneas e/ou superficiais. De forma geral, os compostos fertilizantes são classificados em relação à sua natureza química e origem: minerais e orgânicos.

5.1.1 Fertilizantes Minerais

A fórmula dos compostos fertilizantes minerais segue a regra das concentrações, expressas em porcentagem, de seus três componentes majoritários (macronutrientes primários): nitrogênio, fósforo e potássio. O trio NPK constitui vários componentes essenciais das plantas, tais como proteínas, ácidos nucleicos e clorofila, essenciais para a dinâmica de transferência de energia e atividade enzimática, além da manutenção da pressão interna do vegetal (ISHERWOOD, 2000).

Segundo (TRANI & TRANI, 2011) as fórmulas mais comuns são: 04-14-08; 08-28-16; 05-30-10; 05-30-15; 04-20-20 e 05-25-25 para plantio e 20-05-20; 20-00-20; 20-05-15; 14-07-28; 12-06-12; 10-10-10 e 15-15-15 para aplicação em cobertura. A depender da soma de NPK, podem ser classificados como fertilizantes de baixa, média e alta concentração.

As principais fontes de matérias-primas utilizadas para a fabricação de compostos fertilizantes são hidrocarbonetos como fontes de nitrogênio; enxofre, rocha fosfática e carbonatitos para produção de adubos fosfatados e rocha potássica, principalmente de sequências evaporíticas, para produção de adubos potássicos (CELLA & ROSSI, 2010). No primeiro caso, os subprodutos do refino de petróleo, como resíduo asfáltico, e o gás natural são utilizados para a fabricação da amônia anidra, além de reações entre o globalmente disponível N_2 atmosférico e H_2 (ISHERWOOD, 2000).

Em relação ao nitrogênio, o inadequado uso e gerenciamento dos insumos agrícolas, aliados à aplicação de esterco de origem animal e combustão de combustíveis fósseis, desempenham um papel fundamental na contaminação de sistemas hídricos superficiais e subterrâneos, haja vista a detecção de níveis de nitrato (NO_3^-) em diversos sistemas aquíferos (WASSENAAR, 1995; RAHMATI et al., 2015; Mas-Pla & Menció, 2019). Em águas superficiais, por outro lado, o excesso de nutrientes de um modo geral, pode favorecer a eutrofização de lagos, reservatórios e águas costeiras locais e consequente desbalanço ecossistêmico (CHRISTOFOLETTI et al., 2013; CAMP & HEATH-CAMP, 2016; MATEO-SAGASTA et al., 2018). Além das toxinas produzidas pela explosão de algas gerada, o nitrato é um composto prejudicial à saúde humana em elevadas concentrações, sobretudo em recém-nascidos, que podem adquirir uma condição denominada metemoglobinemia (FEWTRELL, 2004).

O fósforo, por sua vez, é tido como o décimo elemento mais comum e de concentração de 1.050 ppm na crosta terrestre. A principal matéria-prima para a fabricação de concentrados fosfáticos, com concentrações de P_2O_5 da ordem de 32% a 38%, são as rochas fosfatadas, ricas em minerais do grupo da apatita, onde as rochas ígneas, como os carbonatitos, contemplam 95% da fonte de produção de concentrados apatíticos no Brasil (LOUREIRO et al., 2005). Estes minerais apresentam relativa abundância de troca catiônica entre o Ca e U, são tratados com ácido sulfúrico na geração de pirofosfatos contendo sulfato uranoso $U(SO_4)_2$ e sulfato de uranila $(UO_2)SO_4$, relativamente solúveis em meio aquoso (ULBRICH et al., 2009). Os minerais do grupo da apatita englobam as variedades fluorapatita $Ca_5(PO_4,CO_3,OH)_3(F,OH)$, hidroxiapatita $Ca_5(PO_4)_3(OH,F)$ e cloroapatita $Ca_5(PO_4)_3(Cl,OH)$, enquanto que nos depósitos sedimentares

predominam as variedades de carbonatoapatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_3(\text{OH}, \text{F})$ e carbonato-fluorapatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_3(\text{F}, \text{OH})$ (ZAPATA & ROY, 2004).

De acordo com Isherwood (2000), além do U, outros elementos como Cd também contidos em pequenas quantidades nos minerais fosfatados acabam presentes nos fertilizantes em virtude da ineficiência dos processos industriais em suprimi-los. Este fato ocorre em virtude da estrutura cristalina da apatita, onde o Ca^{2+} pode ser substituído parcialmente por outros elementos além do U, como os terras raras (ETR) e chumbo (Pb), além da troca do radical PO_4^{3-} por UO_4^{2-} , AsO_4^{2-} , ou SiO_4^{4-} (LOUREIRO et al., 2005).

Em comparação com o fósforo, o potássio perfaz um elemento de maior abundância na litosfera sob a forma de diversos compostos, principalmente como minerais evaporíticos do grupo dos cloretos e sulfatos, onde apenas a silvita (KCl) e a carnalita ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) são minerais de minério e, portanto, utilizados como matérias-primas para a produção de fertilizantes (NASCIMENTO et al., 2005). De modo geral, com exceção do nitrogênio, todos são tidos como minerais com graus variáveis de pureza.

Apontado como um dos países mais promissores para a manutenção da segurança alimentar global, a produção agrícola brasileira cresceu significativamente nas últimas décadas em função da ocupação dos cerrados com base na técnica insumo-intensiva (GONÇALVES et al., 2008), embora a indústria nacional de fertilizantes não tenha conseguido suprir a demanda. A saída para este caso foi a crescente importação oriunda de países como Rússia e Marrocos, haja vista que, historicamente, o Brasil nunca tenha alcançado a autossuficiência em nutrientes da formulação NPK de fertilizantes para a agroindústria (GONÇALVES et al., 2008; CELLA & ROSSI, 2010).

Caso a fertilização do solo não ocorresse, a produtividade agrícola cairia até que as reservas do solo fossem esgotadas. Desta maneira, o suprimento de alimentos para uma população mundial em franca expansão entraria em colapso, com o aumento da fome, pressão sobre ecossistemas e consequências econômicas a níveis mundiais (ISHERWOOD, 2000).

5.1.2 Fertilizantes Orgânicos

Atualmente no mercado existe uma série de produtos de natureza orgânica que podem ser empregados como fertilizantes e corretivos de solo na indústria agrícola. Muitos deles são subprodutos de outras atividades humanas, como pecuária e indústria, que necessitam ter um destino adequado para a proteção da integridade ambiental.

A vinhaça, também conhecida como restilo, vinhoto ou tiborna, é um líquido residual produto da destilação do licor de fermentação do álcool de cana-de-açúcar e utilizado amplamente como fertilizante nas lavouras de cana-de-açúcar do estado de São Paulo em virtude da necessidade de fertilização do solo e da destinação adequada do produto por parte das usinas de açúcar e álcool. Ela perfaz o resíduo com maior potencial poluidor da usina que, até meados da década de 60, era comumente lançado em corpos d'água ou áreas de sacrifício com base em regulamentos ambientais (ou na falta deles) da época (ELIA NETO & SHINTAKU, 2009). Com o avanço em estudos técnicos e científicos, a utilização da vinhaça na fertirrigação passou a ser um procedimento largamente adotado no Estado de São Paulo por conta de seus altos teores de matéria orgânica e nutrientes, além de ser uma saída para a destinação final desse resíduo. (ELIA NETO & SHINTAKU, 2009). Com o objetivo de promover a proteção ambiental, a Norma Técnica P4.231/05 da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) estabelece critérios e procedimentos para o armazenamento, transporte e aplicação da vinhaça.

5.2 Defensivos agrícolas

Comumente denominados de pesticidas ou agrotóxicos, os defensivos agrícolas são classificados segundo o tipo de praga que combatem: inseticidas (insetos), acaricidas (ácaros), fungicidas (fungos), herbicidas (plantas daninhas) e rodenticidas (roedores). Um dos primeiros compostos sintetizados do tipo foi o DDT em 1939, um inseticida organoclorado de elevada resistência à decomposição no meio ambiente. A partir daí, a humanidade vive um paradoxo entre a busca por substâncias que perdurem no ambiente, como forma prolongada de proteção às lavouras, ao mesmo tempo que sejam específicas no combate às pragas e de elevada eficácia, haja vista que várias delas são bioacumulativas, como é o caso dos compostos organoclorados.

Assim, Braga *et al.* (2005) apontam para dois problemas ambientais elementares ligados ao uso dos defensivos: a mortalidade inespecífica e a redução da natalidade e fecundidade das espécies. Em outras palavras, muitos defensivos agrícolas agem de forma relativamente ampla nos ecossistemas de forma a abranger diversas espécies além daquelas efetivamente consideradas pragas agrícolas, cuja severidade dos efeitos é dada em função da técnica e volume de aplicação (BRAGA *et al.*, 2005).

De forma complementar, é também notória a contribuição de metais pesados para o solo através do uso de insumos agrícolas, como fertilizantes e pesticidas, cujo uso prolongado e, muitas vezes inadequado, pode potencialmente contribuir para o acúmulo de elementos em

áreas agrícolas, com possível mobilização para os sistemas hídricos (DEFARGE et al., 2018). A liberação de metais pesados no meio ambiente ocorre de modo contínuo por outras fontes antrópicas e naturais, e apresentam toxicidade latente e não decaem em função do tempo, sobretudo quando são inseridos nos ciclos biológicos.

5.3 Insumos agrícolas utilizados na região de estudo

A região de estudos possui na agricultura importante fonte de riqueza dada a predominância da produção de derivados da cana-de-açúcar e cítricos. Através de dados fornecidos pela Cooperativa de Plantadores de Cana do Estado de São Paulo (COPLACANA), unidade de Rio Claro-SP situada a cerca de 15 km da área de estudo, os fertilizantes minerais mais utilizados são os do tipo minerais (NPK) de composição 04-30-10; 20-00-20; 05-25-25; e 20-05-20.

A tabela 5 apresenta as marcas dos defensivos agrícolas mais comercializados pela cooperativa que abrangem a classe dos fungicidas, acaricidas, herbicidas e inseticidas. Todavia, não foram fornecidas informações sobre o tipo de cultura correlacionada e massa/volume por área do composto empregado.

Tabela 5: Principais tipos de defensivos agrícolas e respectivas marcas comercializadas em 2020, de acordo com a Cooperativa de Plantadores de Cana do Estado de São Paulo (COPLACANA), unidade Rio Claro-SP.

Tipo	Marca	Tipo	Marca
Acaricida	Abamectin Nortox	Herbicida	Lava 800WG
Acaricida	Abamex EC	Herbicida	Lumica
Acaricida	Fujimite 50SC	Herbicida	Magnus BR 800WP
Bactericida	Kasumin	Herbicida	Mega BR 500SC
Fungicida	Authority 250SC	Herbicida	Mega BR Duo EC
Fungicida	Cerconil WP	Herbicida	Mesotriona Nortox
Fungicida	Comet	Herbicida	Metrimex 500SC
Fungicida	Daconil BR	Herbicida	Plateau 70DG
Fungicida	Elatus WG	Herbicida	Poquer 240CE
Fungicida	Nativo SC300	Herbicida	Provence 750WG
Fungicida	Priori XTRA	Herbicida	Reator 360CS
Fungicida	Fox SC325	Herbicida	Roundup Original DI
Herbicida	Aclamado BR 500 SC	Herbicida	Roundup Original DI
Herbicida	Aclamado BR 500 SC	Herbicida	Roundup Transorb

Herbicida	Advance WG	Herbicida	Stone 525SC
Herbicida	Alion 500 SC	Herbicida	Trifluralina Gold Nortox
Herbicida	Ancosar	Herbicida	Trop 480SL
Herbicida	Atrazina Nortox 500SC	Herbicida	UP Stage 500EC
Herbicida	Aurora 400EC	Herbicida	Velpar K WG
Herbicida	Boral 500SC	Herbicida	Venture EC
Herbicida	Butiron 500SC	Herbicida	Volcane
Herbicida	Cletodim Nortox	Herbicida	Zartan 600WG
Herbicida	Coact	Inseticida	Barão 800WG
Herbicida	Dinamic	Inseticida	Capture 400EC
Herbicida	Diox 500SC	Inseticida	Certero SC480
Herbicida	DMA 806BR	Inseticida	Curbix 200SC
Herbicida	Dontor	Inseticida	Decis 25CE
Herbicida	Dual Gold 960EC	Inseticida	Diamante BR 480SC
Herbicida	Finale 200SL	Inseticida	Engeo Pleno S
Herbicida	Flak 200SL	Inseticida	Engeo Pleno S
Herbicida	Flumyzin 500SC	Inseticida	Eventra 800WG
Herbicida	Front	Inseticida	Game
Herbicida	Fusilade 250EW	Inseticida	Granary 700WG
Herbicida	Galop M	Inseticida	Imidagold 700WG
Herbicida	Gamit Star	Inseticida	Intrepid 240SC
Herbicida	Glyphotal TR	Inseticida	Lannate BR 215SL
Herbicida	Gramocil	Inseticida	Marshal Star 700EC
Herbicida	Gramocil	Inseticida	Platinum NEO
Herbicida	Gramoxone	Inseticida	Pottente
Herbicida	Grande BR 500EC	Inseticida	Singular 600SC
Herbicida	Heat	Inseticida	Voraz
Herbicida	Hexazinona-D Nortox	Inseticida	Muneo Biokit (KIT)

Fonte: compilado pelo autor através de dados fornecidos pela COPLACANA

6. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização da presente pesquisa, foram necessárias compilações de dados de várias fontes, a exemplo de dados cartográficos em forma digitalizada (*rasters*) ou vetoriais em arquivos *shapefile* obtidos de plataformas online de instituições públicas como Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Serviço Geológico do Brasil (SBG-CPRM) vinculado ao Ministério de Minas e Energia, secretarias do Governo do Estado de São Paulo, como é o caso da Infraestrutura e Meio Ambiente através da Coordenadoria de Planejamento Ambiental, além de entidades internacionais que disponibilizam dados espaciais de forma gratuita a exemplo do órgão americano de levantamento geológico (*United States Geological Survey* - USGS).

A etapa de levantamento bibliográfico contou ainda com livros, artigos científicos, materiais cartográficos, trabalhos apresentados nos mais tradicionais eventos científicos nacionais e internacionais, em sua maioria disponibilizados pelo acervo da Biblioteca da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Câmpus Rio Claro. Os métodos utilizados são em sua totalidade qualificados por normas nacionais e internacionais, além de serem reproduzidos por trabalhos científicos nas mais variadas áreas do conhecimento, conforme podem ser constatados pela etapa de revisão bibliográfica e estados da arte apresentados.

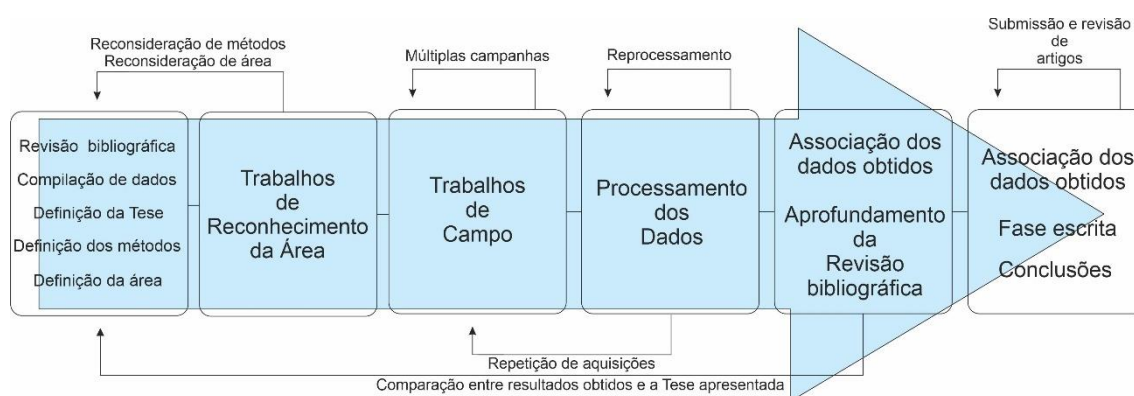
As etapas de aquisição de dados em campo, por sua vez, foram realizadas ao longo dos anos 2019, 2020, 2021 e 2022 em diferentes períodos e estações e foram precedidas por um detalhado planejamento em escritório acerca dos parâmetros de aquisição, como foi o caso da disposição das linhas geofísicas e distribuição dos pontos de amostragem de solos, condutividade hidráulica, GPS e gamaespectrometria.

Por fim, o processamento dos dados geofísicos e as análises mineralógicas foram realizados no Laboratório de Geofísica da UNESP e UNESPetro, respectivamente, ambos pertencentes ao Câmpus Rio Claro. A etapa de análises químicas, por outro lado, foi realizada no laboratório SGS Geosol Laboratórios LTDA. As etapas de redação da tese e artigos científicos foram iniciadas a partir dos primeiros resultados gerados e seguem até o final com a defesa, além da submissão de artigos científicos em revistas internacionais especializadas nas áreas de geologia ambiental, áreas úmidas, hidrogeologia, pedologia e geofísica (Figura 25).

Os resultados apresentados são agrupados em três tópicos relativos à possibilidade de integração direta e ao nível de investigação (superficial ou subsuperficial): “caracterização

hidrogeomórfica da AU” que engloba produtos gerados por VANT e GPS Diferencial; “Avaliação pedológica, geoquímica e hidrodinâmica superficial a subsuperficial rasa” que conta com dados de descrição dos perfis de solo, difratometria de raio-x, análises químicas dos horizontes de solo, gamaespectrometria e condutividade hidráulica; e “arquitetura e dinâmica hidrogeológica em profundidade” que aborda os produtos 2D gerados pelo método geofísico da Eletorresistividade, além de dados estruturais. Abaixo são apresentadas as metodologias de forma mais detalhada.

Figura 25: Fluxograma representativo das etapas dos trabalhos da presente pesquisa desde a revisão bibliográfica até a conclusão da tese.



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.1 VANT

No campo da fotogrametria, os sistemas de veículos aéreos não tripulados (VANTs), também denominados de drones, configuram um dos mais importantes e recentes avanços tecnológicos na aquisição de dados espaciais, pois possibilitam estudos em regiões de difícil acesso, com custos relativamente baixos e operação facilitada, sobretudo pelo desenvolvimento da tecnologia computacional, softwares, ciência dos materiais e de sistemas globais de navegação (JORGE & INAMASU, 2014). Em contrapartida, os VANTs fornecem uma área de cobertura relativamente pequena quando comparados a imagens de satélite e fotografias aéreas, principalmente em função das limitações de baterias e de sinal com a base.

A aplicação dos VANTs é bastante abrangente, com estudos na área de agricultura de precisão, mineração, mapeamento, monitoramento de zonas urbanas e florestas, obras e monitoramento ambiental (LI & LIU, 2018; VEROUSTRAETE, 2015; GRANDY et al., 2020; SHAHMORADI et al., 2020; FURLAN et al., 2021; GUPTA & VERMA, 2021).

Os equipamentos mais modernos e de tamanhos reduzidos são frequentemente classificados de acordo com o número de rotores em sua plataforma ou presença de asas fixas, com os mais comuns compostos por um sistema de quatro hélices/rotores (quadricópteros). Em relação ao *hardware* dos equipamentos, câmeras e sistemas GPS são elementos fundamentais, embora muitos sistemas VANTs atuais sejam capazes de levar consigo câmeras multiespectrais, magnetômetros, escaneadores a laser, sistemas de coleta de partículas do ar e muito mais (MOGILI & DEEPAK, 2018).

Em vista da rápida ascensão da tecnologia e sua ampliação de uso pelo público em geral, agências reguladoras pelo mundo inteiro iniciaram nos últimos anos uma verdadeira corrida para estabelecer parâmetros de operação que atendam a critérios de segurança mínimos. Anteriormente à legislação vigente, os proprietários de VANT's seguiam, de certa forma, as mesmas regras do aeromodelismo, até que órgãos como a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo) fossem estabelecidos como os responsáveis pela regulamentação dos equipamentos e aquisições de dados através de voos.

A ANATEL tem o papel de homologar os equipamentos comercializados para que a faixa de frequência não interfiram nos sistemas de comunicações civis e militares, enquanto a ANAC é responsabilizada pela regulamentação das aeronaves que, segundo a RBAC nº 94/2017, torna obrigatório o cadastro de equipamentos com peso superior a 250 gramas no Sistema de Aeronaves não Tripuladas (SISANT) (ANAC, 2017). De modo complementar, cabe ao DCEA o controle do espaço aéreo brasileiro através do registro do piloto VANT e do agendamento e solicitação prévia do plano de voo.

De modo complementar, foi realizada a correção planialtimétrica segundo aquisições de solo a partir um equipamento GPS Diferencial (DGPS), em acordo com a metodologia proposta por Collischonn *et al.* (2015), além de uma cobertura de pontos para a geração de MDE's e perfis topográficos auxiliares.

6.2 Amostragem e descrição do solo

A amostragem e descrição de solo desempenham um papel fundamental nas pesquisas e estudos relacionados à ciência do solo. A compreensão da composição e características do solo é essencial para uma variedade de aplicações, incluindo agricultura, engenharia civil e estudos ambientais e é um atributo qualitativo de fundamental relevância na análise hidrodinâmica de um dado local, sobretudo pelas condições físico-químicas e de mobilidade de

matéria que imprimem aos solos, o que acaba por gerar nos mesmos atributos pedológicos característicos (EVANS & FRANSMEIER, 1988).

A amostragem de solo é uma etapa crítica na caracterização e estudo dos solos. Envolve a coleta de amostras representativas de diferentes horizontes ou camadas do solo, com base em fatores como a variabilidade espacial e as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Em relação ao plano de amostragem, existem as realizadas por critério (determinista), aleatória simples e aleatória estratificada (FILIZOLA et al., 2016). A seleção adequada do método de amostragem depende dos objetivos do estudo, do tipo de solo e das condições locais. Além disso, é fundamental garantir que as amostras sejam coletadas de forma representativa, como forma de minimizar possíveis vieses e erros.

A descrição de solo é uma etapa complementar à amostragem e fornece informações detalhadas sobre as características físicas e morfológicas do solo. Envolve a análise visual e tátil das amostras coletadas, identificando atributos como cor, textura, estrutura, porosidade e presença de horizontes distintos. A descrição de solo é realizada seguindo uma terminologia padronizada, como a Classificação Brasileira de Solos, que permite a comunicação eficaz entre pesquisadores e profissionais da área.

6.3 Análise mineralógica por difratometria de raios x

No final da segunda metade do século XIX, Wilhelm Konrad Röntgen identifica pela primeira vez raios x através de experimentos envolvendo tubos de raios catódicos e, como resultado, foi publicado no mesmo ano o artigo intitulado *Über eine neue Art von Sthralen* (Sobre uma nova espécie de raio) e, seis anos mais tarde, seu autor foi agraciado com o Prêmio Nobel de Física. Atualmente, os raios x são compreendidos por uma forma de radiação eletromagnética de alta frequência (10^{16} Hz) e comprimento de ondas pequenos (10^{-10} m), logo abaixo dos raios gama que perfazem o extremo do espectro eletromagnético (ver figura 28).

Diferentemente da radiação gama que é gerada pelo núcleo atômico, os raios x têm sua origem associada às orbitais eletrônicas e são produzidos por meio de tubos especiais, compostos basicamente por um cilindro a vácuo com um sistema ânodo-cátodo de tungstênio e a adição de janelas, geralmente berílio, para a saída da radiação gerada (ZEVIN & KIMMEL, 1995). Nesse sistema, o raio x é gerado a partir da interação entre os elétrons acelerados oriundos do cátodo e os elétrons presentes nos átomos do ânodo através do fenômeno conhecido como salto quântico.

O método da difratometria é, portanto, sustentado pelo fenômeno homônimo, que consiste no espalhamento coerente formado a partir da interação entre os raios x, gerados artificialmente, com elétrons de um determinado material cristalino, sem mudanças em seu comprimento de onda, porém com alterações na sua direção de propagação.

As dispersões (reflexões) geradas após o choque são definidas por planos atômicos periódicos que compõe a estrutura de materiais cristalinos. Assim, as ondas refletidas por n planos entram em fase com interferências construtivas, o que é denominado de feixe difratado (NAPOLITANO et al., 2007).

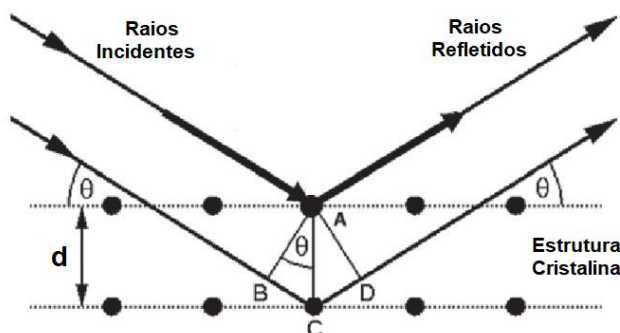
A equação 2, conhecida como Lei de Bragg, estabelece a relação entre um número inteiro (n) de comprimentos de onda (λ) e a distância interplanar (d) percorrida pelo feixe de raios x, conforme ilustrado pela figura 26.

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \quad (\text{Equação 2})$$

Uma vez que o ângulo θ pode ser medido, o número n é característico para cada plano cristalográfico e λ representa o comprimento de onda monocromático (através da aplicação de filtros) controlado, a variável d pode ser facilmente calculada, onde os valores são específicos para cada espécie mineral.

A análise mineralógica por difração de raio x permite a caracterização mineralógica de maneira rápida e eficaz de materiais de granulometria fina como solos e argilas, cujo tamanho de partícula torna difícil sua caracterização por métodos convencionais como microscopia ótica (HARRIS & WHITE, 2008; ZANARDO et al., 2016).

Figura 26: Representação esquemática da Equação de Bragg. Onde θ é o ângulo entre o feixe de raios X incidente e o plano de incidência. A condição de difração é verificada quando a diferença de caminho for um múltiplo inteiro do comprimento de onda λ .



Fonte: Napolitano *et al.* (2007).

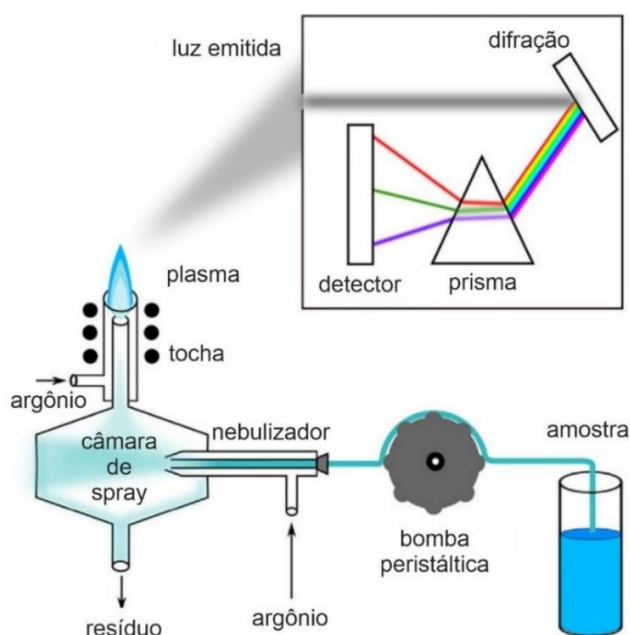
6.4 Análise química do solo por ICP-OES

A espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES, do inglês *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*) é uma metodologia de análise difundida em várias áreas das ciências, o que inclui as pesquisas de caráter ambiental (MASSADEH et al., 2016).

Ela consiste na análise elementar através da emissão de energia eletromagnética a partir da interação com uma fonte de plasma. Todo o processo envolve a coleta do analito, que passa por um sistema nebulizador com a injeção de gás argônio, onde a interface líquido-gás é quebrada e a amostra adentra a câmara de spray na forma de um aerossol. Lá apenas uma fração do aerossol flui através da chamada tocha, onde mais gás argônio é convertido em plasma ($> 6.000\text{ K}$) em função da presença de um campo eletromagnético de alta intensidade.

A amostra que atravessa esse sistema é consequentemente vaporizada, atomizada e ionizada, com a liberação de energia eletromagnética proporcional e comprimentos de onda específicos para cada uma das espécies iônicas e atômicas presentes em determinadas concentrações, ao passo que os íons e átomos retornam para um estado energético inferior. Por fim, os fótons gerados em inúmeros comprimentos de onda são finalmente separados por difração e seguem para quantificação em um detector (Figura 27) (CHEREVKO & MAYRHOFFER, 2018).

Figura 27: Esquema de análise e componentes do sistema ICP-OES



Fonte: Cherevko & Mayrhofer (2018)

6.5 Gamaespectrometria

6.5.1 Radioatividade Natural

A radioatividade pode ser definida pela desintegração espontânea dos elementos químicos, com emissão de partículas alfa (carga positiva na forma de um núcleo de He) e beta (carga negativa ou positiva, na forma de elétrons ou pósitrons, respectivamente), com a liberação eventual de energia na forma de fótons gama. No espectro eletromagnético, os raios gama detêm a maior frequência ($>10^{19}$ Hz) com o menor comprimento de onda ($< 10^{-11}$ m) (Figura 28).

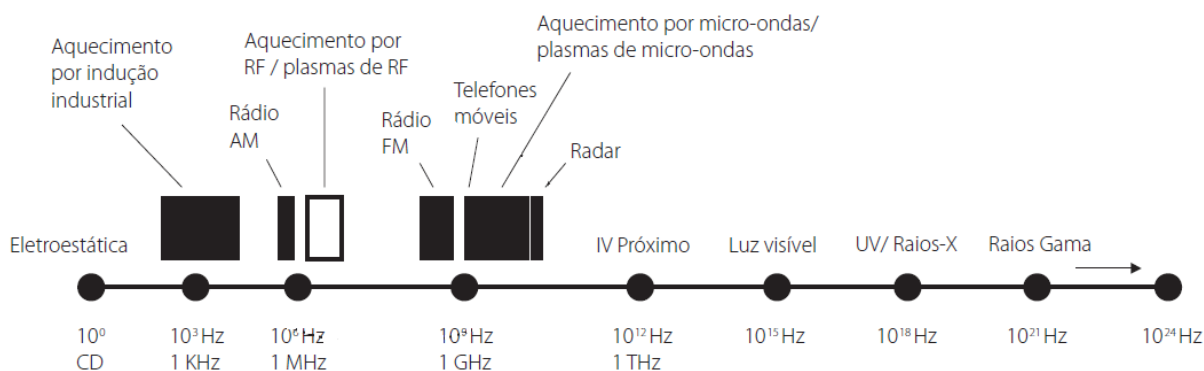
Os radionuclídeos tendem a passar por decaimento espontâneo, onde o núcleo atômico emite uma partícula radioativa ou um raio gama e acaba em um nível de energia mais baixo e, portanto, relativamente mais estável. A desintegração de um número N de núcleos de qualquer elemento radioativo em desintegração pode ser expressa pela equação geral:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde N corresponde ao número de radionuclídeos no instante t ; N_0 é o número de radionuclídeos iniciais; e λ representa a constante de desintegração do radionuclídeo.

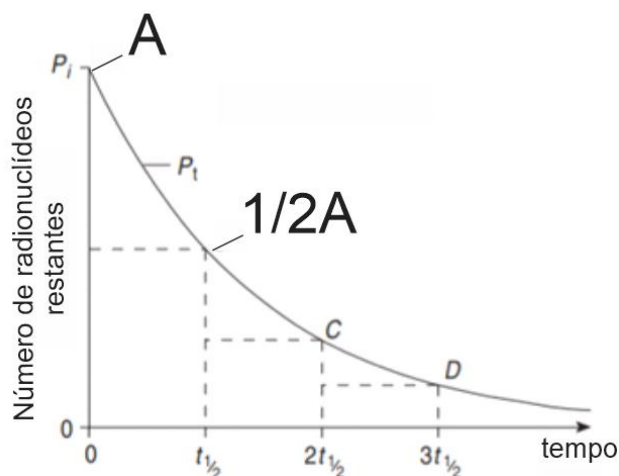
Uma quantidade determinada inicial de um elemento radioativo se reduz à metade depois de transcorrido um tempo $t = \ln 2 / \lambda = 0,693 / \lambda$, denominado meia-vida, conforme ilustra a figura 29 o comportamento do decaimento de um elemento radioativo.

Figura 28: Localização da radiação gama no espectro eletromagnético.



Fonte: Lowrie (2007)

Figura 29: Meia vida de átomos radioativos, onde A representa o número inicial de radionuclídeos.



Fonte: Musset & Khan (2000)

Os seres vivos são permanentemente expostos à diversas fontes naturais de radioatividade alfa, beta e gama, onde cerca de 340 nuclídeos são identificados na natureza, 70 deles radioativos e encontrados entre metais pesados (EISENBUD & GESELL, 1997). Embora seja comum que tais radionuclídeos ocorram como elementos traços na natureza e sem efeitos maléficos à saúde humana, em alguns casos famosas fontes de águas e ambientes anormalmente radioativos são frequentemente procuradas por milhares de pessoas na busca de tratamentos de saúde alternativos (BONOTTO, 2004).

Desta maneira, os radionuclídeos que ocorrem no ambiente natural são tanto de origem cosmogênica (^{14}C , ^{26}Al , ^{10}Be , ^3H , ^{36}Cl , etc.) quanto litosférica (^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K) (NCPR, 1987; UNSCEAR, 2008), com este último grupo o mais importante como fonte da radioatividade ambiente, exposição na superfície terrestre e de mobilização, para a hidrosfera e atmosfera, além de seus radionuclídeos associados (NCRP, 1987; EISENBUD & GESELL, 1997.; CASAGRANDE & BONOTTO, 2018). As meias-vidas destas espécies são suficientemente longas a ponto de as encontrarmos na natureza mesmo após bilhões desde sua criação (EISENBUD & GESELL, 1997).

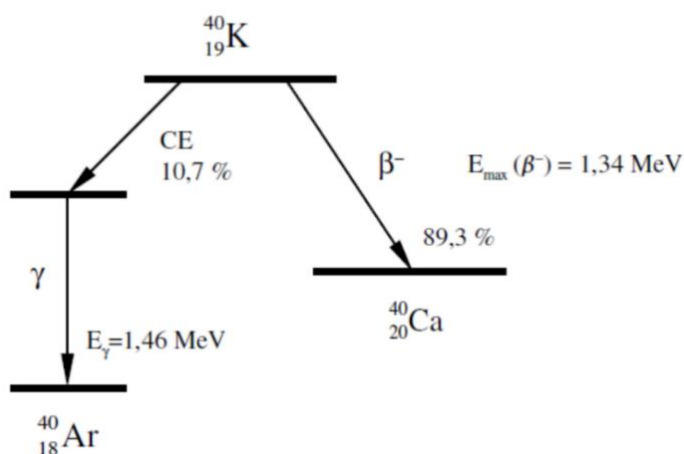
Diferentemente do ^{40}K , que decai diretamente para nuclídeos estáveis, como ^{40}Ca por emissão β^- (89,3%) e para ^{40}Ar (10,7%) através do fenômeno da captura eletrônica e emissão gama de 1,46 MeV (Figura 30), os radioisótopos ^{238}U , ^{235}U e ^{232}Th configuram nuclídeos primordiais de séries de decaimento. No caso do urânio, seu isótopo mais abundante é o ^{238}U (93,3%), cuja série de decaimento comporta 15 radioisótopos filhos de meias-vidas significativamente inferiores até seu fim no estável ^{206}Pb (CHU et al., 1999). Por outro lado, o ^{235}U , de amplo interesse na indústria nuclear para fins energéticos e bélicos, possui uma

proporção de apenas 0,7% e sua série, composta por 12 espécies radioisotópicas, conta com o ^{207}Pb como seu membro final e estável (CHU et al., 1999; UNSCEAR, 2008). Por fim, o ^{232}Th representa quase que a totalidade do tório da natureza (99,98%) e decai em série até o ^{208}Pb (CHU et al., 1999) (Figura 31).

Por conta das meias-vidas significativamente longas dos componentes principais das três séries de decaimento em comparação com seus radionuclídeos filhos e sem considerar nenhum fator de separação física ou química, o chamado *Equilíbrio Secular Radioativo* pode ser compreendido como um estado onde um determinado membro da série decai à taxas praticamente idênticas aquelas observadas para os membros primordiais da determinada série radioativa (NCRP, 1987).

O potássio é de longe o elemento mais abundante quando comparado ao urânio e tório, comumente tratados pela unidade ppm (partes por milhão). Enquanto o elemento alcalino corresponde a aproximadamente 2,3% da crosta terrestre, os dois metais possuem uma concentração de aproximadamente 2,4 ppm e 12 ppm, respectivamente (EMSLEY, 1998).

Figura 30: Esquema de decaimento do ^{40}K para ^{40}Ca por meio de emissão β^- e ^{40}Ar através de captura eletrônica (CE) com emissão gama de 1,34 MeV. A meia vida do ^{40}K é de $1,26 \times 10^9$.



Fonte: Elaborado pelo autor

Haja vista o potencial malefício à saúde humana pela exposição à radionuclídeos, diversos países da Europa e América do Norte têm adotado ações para mapeamentos radiológicos de seus territórios. Para os materiais radioativos de ocorrência natural, é amplamente utilizada a sigla em inglês – NORM (*naturally occurring radioactive materials*). (SALAZAR et al., 2021).

Figura 31: Séries de decaimento do ^{238}U , ^{232}Th e ^{235}U até seus membros estáveis. As setas verticais e diagonais representam, respectivamente, decaimentos α e β . Detalhe para os valores de meias-vidas de cada componente.

	U-238						Th-232				U-235			
U	U-238 4,49Ga		U-234 248ka								U-235 0,71Ga			
Pa	↓	Pa-234 1,18m	↓								↓	Pa-231 34,3ka		
Th	Th-234 24,1 d		Th-230 75ka				Th-232 13,9Ga		Th-228 1,90a		Th-231 25,6h	↓	Th-227 18,6d	
Ac			↓				↓	Ac-228 6,13h	↓			Ac-227 22,0a	↓	
Ra			Ra-226 1622a				Ra-228 6,7a		Ra-224 3,64d				Ra-223 11,1d	
Fr			↓						↓				↓	
Rn			Rn-222 3,83d						Rn-220 54,5s				Rn-219 3,92s	
At			↓						↓				↓	
Po			Po-218 3,05m		Po-214 0,16ms	Po-210 138d			Po-216 0,16s	Po-212 0,3 s			Po-215 1,8ms	
Bi			↓	Bi-214 19,7m	↓	Bi-210 50d			↓	Bi-212 60,5m	↓		↓	Bi-211 2,16m
Pb			Pb-214 26,8m		Pb-210 22,2a	Pb-206			Pb-212 10,6h	↓ 35%	Pb-208		Pb-211 36,1m	↓ Pb-207
Tl										Tl-208 3,1m				Tl-207 4,79m

Fonte: Ku (1976)

6.5.1.1 Potássio

O potássio é um elemento encontrado em três isótopos e presente naturalmente na maioria das rochas e em quantidades expressivas em diversos tipos de solos, cuja concentração média é de 1,5% (EISENBUD & GESELL, 1997). De maneira geral, no ambiente geológico sua concentração é bastante diversa, onde apresenta valores mínimos de 0,3, sobretudo na maioria das rochas máficas e ultramáficas, além dos calcários, e concentrações de até 4,5% nos litotipos mais enriquecidos como é o caso dos traquitos e sienitos (EISENBUD & GESELL, 1997).

Embora o radioisótopo ^{40}K tenha abundância natural de apenas aproximadamente 0.0117%, conforme mencionado, ele é responsável por cerca de 20% da energia produzida pelo decaimento radioativo no planeta Terra. É constituinte principal de vários minerais formadores de rochas como ortoclásio (KAlSi_3O_8) e seu polimorfo microclínio (KAlSi_3O_8), além da sandina ($(\text{K},\text{Na})(\text{Al},\text{Si})_4\text{O}_8$). Outros minerais não menos importantes incluem minerais evaporíticos e

do grupo dos filossilicatos: silvita (KCl), carnallita (KCl.MgCl₂.6H₂O), illita ((K,H₃O)(Al,Mg,Fe)₂(Si,Al)₄O₁₀[(OH)₂.(H₂O)]), muscovita (KAl₂[Si₃AlO₁₀](OH,F)₂), flogopita (KMg₃Si₃AlO₁₀(OH,F)₂), biotita (K(Mg,Fe²⁺)₃[AlSi₃O₁₀](OH,F)₂), lepidolita (K(Li,Al)₃(Si,Al)₄O₁₀.(F,OH)₂), apofilita (KCa₄Si₈O₂₀(F,OH).8H₂O), polialita (K₂SO₄.2MgSO₄.2CaSO₄.2H₂O), alunita (KAl₃(SO₄)₂(OH)₆), etc.

Sua mobilidade no solo é extremamente alta em ambientes de alteração hidrotermal e durante o intemperismo, em especial sob climas tropicais com elevadas taxas de precipitação (ULBRICH et al, 2009). Possui relação direta com a textura do solo, uma vez que a abundância de argilominerais (especialmente os do tipo 2:1) influi diretamente na capacidade de troca de cátions (CTC) e concentração do elemento na solução do solo. Assim, sua lixiviação consiste no movimento vertical dos íons no perfil do solo para profundidades abaixo daquelas exploradas pelas raízes, sobretudo em solos de baixa CTC e/ou localizados em áreas com alto índice de precipitações (ERNANI et al., 2007), com acúmulo final em bacias continentais e oceânicas, juntamente com o Na.

Nas águas subterrâneas, além da fertilização do solo pelas práticas agrícolas, a concentração do elemento pode ser relacionada à taxa de intemperismo dos minerais de potássio, sobretudo os feldspatos potássicos. Segundo Cocco *et al.* (1969) a concentração deste elemento também é dependente da taxa de formação de minerais estáveis de potássio (como é o caso da illita), disponibilidade de trocas em argilominerais e suprimento de soluções intersticiais. Albarède (2009) ressalta ainda que a solubilidade da silvita (KCl), um importante componente de fertilizantes minerais, tem a sua solubilidade aumentada expressivamente em função da temperatura ambiente.

6.5.1.2 Urânio

O Urânio é um elemento pertencente ao grupo III B da tabela periódica (família dos Actinídeos) com número atômico 92 e uma massa de 238,03 u, o que o torna o elemento químico natural de núcleo mais pesado e com estado de oxidação situado entre +2 a +6, com as valências +4 e +6 em maior abundância na crosta terrestre. O metal também é conhecido pela sua alta densidade de 19,05 g/cm³ (20 °C) e possui pontos de fusão e de ebulição a 1132° e 3818° C, respectivamente.

Aproximadamente 100 minerais possuem o elemento urânio como constituinte essencial, com a uraninita (UO₂) e sua variedade não cristalina (pechblenda) alguns dos principais espécimes. Dentro do universo das rochas ígneas o urânio ocorre principalmente em minerais acessórios e possui a característica de formar soluções sólidas com elementos

tetravalentes, como por exemplo, Ce, Zr e Th (BONOTTO, 2004). Ademais, o urânio tetravalente tem a capacidade de substituir Ca em fluoritas e apatitas, além do Ba na estrutura da barita, com eventuais compensações de carga, enquanto seu íon hexavalente pode se associar à estruturas dos sulfatos, fosfatos, vanadatos, silicatos complexos e outros (ULBRICH et al, 2009). Do ponto de vista litológico, a ocorrência do elemento em questão é mais acentuada em rochas ácidas como pegmatitos graníticos e rochas alcalinas, principalmente na forma de minerais acessórios.

A mobilização do U, assim como a do Th ocorre após o intemperismo dos minerais com liberação e transporte destes metais nas águas intersticiais. O estudo de Ulbrich *et al.* (2009) aponta para a existência de cinco processos que regem a dinâmica do U: cooptação por atividade microbiológica, com eventual precipitação na forma insolúvel; adsorção ou absorção em materiais orgânicos e colóides; oclusão, que é a separação do elemento no meio ambiente pela formação de carapaça externa mineral; sequestro da fase hexavalente (mais solúvel) através de formação de borda mineral de U tetravalente (insolúvel); e coprecipitação com Fe e Mn para a formação de óxidos-hidróxidos, e/ou incorporação por substituição em estruturas de silicatos e carbonatos.

A mobilidade do urânio no ambiente hidrogeológico é fortemente controlada por condições de Eh. O íon hexavalente é solúvel e pode facilmente ser transportado por fluxos de águas subterrâneas e superficiais até ser precipitado (na forma trivalente) em ambientes redutores na forma de pechblenda ou cofinita ($\text{USiO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) (ROGERS & ADAMS, 1969a; KLAUSKOPF & BIRD, 1995; EISENBUD & GESELL, 1997).

Devido ao caráter radioativo dos isótopos ^{238}U e ^{235}U , que correspondem a cerca de 99,27% e 0,72% do elemento na natureza, a preocupação com a quantificação do metal no meio ambiente, alimentos e biosfera têm sido tema de inúmeras pesquisas, haja vista os malefícios da exposição prolongada a fontes radioativas. Desta maneira no Brasil, através da resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 396 de 3 de abril de 2008, estabelece valores máximos de referência de 15 ppm, 200 ppm e 10 ppm em águas destinadas para consumo humano, dessedentação de animais e irrigação, respectivamente. De maneira adicional, a Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde de 12/12/2011 confere, com base em WHO (2011), potabilidade da água com base em valores de concentração de atividade não superiores a 0,5 Bq/L para a atividade alfa total e 1 Bq/L para beta total (DOU, 2011). De forma a quantificar as águas do ponto de vista radiométrico, algumas metodologias têm como base emissões de raios gama, a exemplo de Casagrande & Bonotto (2018).

6.5.1.3 Tório

O tório é um elemento metálico pertencente ao grupo III B da tabela periódica (família dos Actínídeos). O elemento possui um número atômico igual a 90 e massa de 232,04 u, descoberto no ano de 1828 pelo químico sueco Jöns Jacob Berzelius. Sua densidade é 11,7 g/cm³ e possui ponto de fusão a 1740 – 1760°C e de ebulição no intervalo de 4780 - 4800 °C. Sua geoquímica está intimamente associada com a do elemento urânio, embora ambos possam ser geoquimicamente separados por processos sedimentares e superficiais (ROGERS & ADAMS, 1969b).

O elemento em questão é tetravalente na natureza, existindo como traço em rochas e em solução sólida com minerais silicáticos, fosfáticos e óxidos, embora a solução sólida completa pode ser formada entre a torianita (ThO₂) e a uraninita (UO₂) (LANGMUIR & HERMAN, 1980; ROGERS & ADAMS, 1969b). O Th faz parte dos minerais resistentes ao intemperismo (resistatos), o que acarreta a baixa concentração deste elemento em meio aquoso e, portanto, considerado um elemento praticamente insolúvel e imóvel em águas naturais (DUARTE, 2002). Tório é um constituinte menor em muitos minerais uraníniferos e zirconíferos como branerita, absita, zircão, monazita e allanita (BOYLE, 1982), mas como elemento maior ocorre em apenas poucos minerais, como é o caso da torianita (ThO₂) e torita (ThSiO₄).

Embora a solubilidade de complexos de tório, como espécies aquosas, seja geralmente muito baixa, o tório pode ser mobilizado a partir de colóides argilosos e hidróxidos de ferro, de acordo com Souza e Ferreira (2005). De certa forma, os mecanismos de interação entre o elemento e a fase sólida e líquida dos solos são praticamente os mesmos descritos para o U (ULBRICH et al., 2009).

As espécies aquosas relativamente mais solúveis são dadas por influência de compostos orgânicos como os ácidos húmicos ou formadas por complexos simples (nitratos, sulfatos e cloretos) dependentes do pH do meio, com possibilidade de formação de íons mais complexos com elementos como Cl, F, além de nitrato, sulfato, carbonato, e hidróxidos complexos (ULBRICH et al., 2009). Um fator importante é que o Th adsorvido em colóides pode ser transportado conjuntamente com a movimentação dos solos (ULBRICH et al., 2009).

6.5.2 *Gamaespectrometria Terrestre*

Detectores gama são amplamente empregados no âmbito das Geociências e Geofísica, devido à alta penetratividade das emissões gama e sua relativa facilidade de detecção (em

comparação com emissões alfa e beta), além de sua atuação no estudo quantitativo e qualitativo dos elementos radioativos em amostras minerais, solos e águas.

Deste modo, a gamaespectrometria terrestre aplicada de maneira portátil é uma ferramenta utilizada na exploração de urânio, mapeamento geológico e estudos ambientais desde os anos 1960 (ERDI-KRAUSZ et al., 2003) e aperfeiçoada em termos de sensibilidade, aplicabilidade e portabilidade (FERRONSKY, 2015). De forma combinada com outros métodos e técnicas, os produtos da gamaespectrometria podem garantir informações relevantes para o entendimento de processos de formação da paisagem e distribuição de propriedades do solo, haja vista o aumento da procura por métodos eficientes de mapeamento das propriedades do solo, cujas as técnicas tradicionais já não mais satisfazem os anseios de práticas sustentáveis de manejo (REINHARDT e HERRMANN, 2019).

Esta ferramenta está inserida na geofísica como um método passivo de caráter radiométrico e não invasivo que consiste na detecção da emissão gama emitida por vários radioisótopos naturais das séries de decaimento do ^{235}U , ^{238}U e ^{232}Th , além do ^{40}K . No método da gamaespectrometria é muito comum a utilização de fotopicos gerados por radionuclídeos filhos na determinação de seus respectivos componentes iniciais da série de decaimento, onde as energias de 1461 keV (^{40}K), 1765 keV (^{214}Bi) e 2615 keV (^{208}Tl) são utilizadas para estimar as concentrações de K, U e Th, respectivamente (ERDI-KRAUSZ et al., 2003) (Figura 32). Entretanto, esta condição é, teoricamente, válida apenas com o estabelecimento do equilíbrio secular da amostra (FERRONSKY, 2015; CASAGRANDE & BONOTTO, 2018).

No contexto dos radionuclídeos artificiais, o ^{137}Cs é amplamente utilizado na determinação de erosão do solo, perda de carbono orgânico, calibração de equipamentos e como indicador ambiental nas proximidades de instalações nucleares por conta de sua distribuição global graças à detonação de diversas ogivas nucleares durante a segunda metade do século XX (ERDI-KRAUSZ et al., 2003; REINHARDT e HERRMANN, 2018)

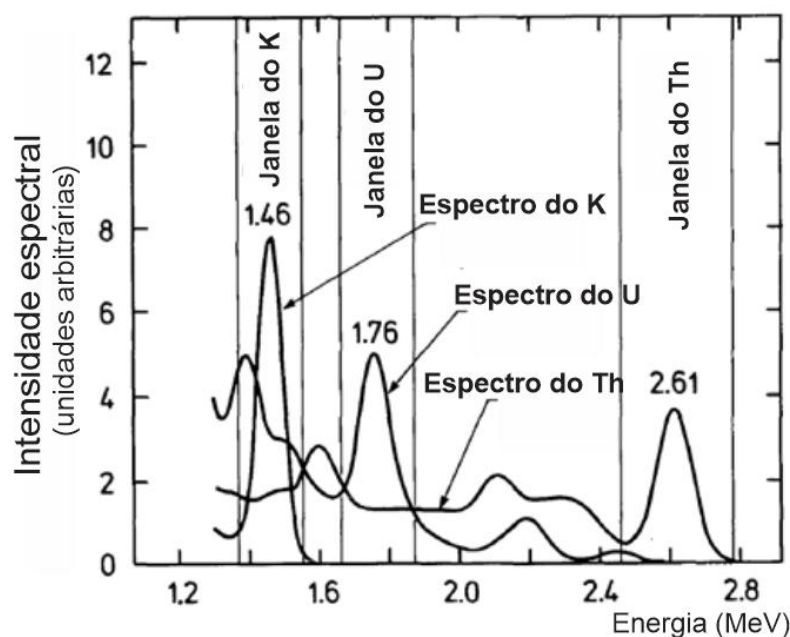
Este método pode ser empregado através de sistemas de detecção portáteis e não portáteis, além de sondas em trabalhos de perfilagens (TELFORD, 1990; FERRONSKY, 2015). O primeiro caso engloba a chamada gamaespectrometria terrestre (técnica empregada neste estudo) e a aerogamaespectrometria, cujos produtos são diferenciados, sobretudo, pela resolução, escala e tempo dos levantamentos (RIBEIRO et al., 2014). De acordo com Taylor *et al.* (2002) em uma análise comparativa entre as duas técnicas, a gamaespectrometria terrestre foi capaz de registrar maiores concentrações de K, U e Th em um terreno também examinado por via aérea. Os sistemas não-portáteis, por sua vez, constituem detectores utilizados em laboratórios com sistemas de blindagens refrigeradores, o que possibilita análises com maior

tempo de leitura para amostras pouco radioativas, como solos e águas (CASAGRANDE & BONOTTO, 2018).

Com base nas mais recentes publicações da área, os resultados são geralmente expressos em contagens por segundo (cps) ou Becquerel (Bq), sendo que $1\text{cps} = 1\text{Bq}$. Uma suposição básica do método é que a taxa de contagem obtida é proporcional à concentração do radionuclídeo na amostra (LØVBORG & MOSE, 1987). Assim, em equipamentos mais modernos, a transformação automática em unidades de concentração também pode ser obtida, com eU e eTh em partes por milhão (ppm) e K em porcentagem (%) ou, em termos de volume, é usual a utilização da chamada atividade específica (Bq/kg) (IAEA, 1976).

De forma mais detalhada, a gamaespectrometria realizada *in situ* é uma ferramenta eficaz empregada na área de geociências, sobretudo na caracterização de intrusões indiferenciadas e crateras de impacto, prospecção mineral, exploração petrolífera, auxílio na determinação de limites geológicos e de grandes estruturas (HOFF et al., 2004; VASCONCELOS et al., 2012; FIANCO et al., 2014; FERRONSKY, 2015), além de, mais recentemente, na área ambiental, com aplicação no controle em áreas impactadas por vazamento radioativo, estudos da influência de compostos fertilizantes em sistemas hídricos, solos e geologia médica (UMISEDIO, 2007; SCHULER et al., 2011; CARDOSO, 2012). Haja vista o potencial malefício à saúde humana pela exposição à radionuclídeos, diversos países da têm adotado ações para o mapeamento radiológico de seus territórios (CINELLI et al., 2019).

Figura 32: Espectros gama com a indicação das janelas de leitura do ^{40}K , ^{238}U e ^{232}Th .



Fonte: Løvborg & Mose (1987)

De forma antagônica às várias possibilidades de aplicação, a gamaespectrometria terrestre possui certas limitações ligadas tanto ao equipamento quanto às condições ambientais: resolução espectral do cristal detector (cintilômetros), irregularidades topográficas, água/umidade do solo e densidade do meio, (MUSSET & KHAN, 2000; MILSON, 2003; BEAMISH, 2015).

Embora apresente alta penetratividade, as emissões gama são facilmente atenuadas pela própria matéria que compõe o meio. De acordo com Taylor *et al.* (2002), cerca de 90% dos raios gama observados na superfície são gerados apenas nos primeiros 30 cm de profundidade em um solo relativamente seco de densidade 1,6 g/cm³ em função da Equação 4, onde Y é a porcentagem do sinal gama em função da profundidade T (cm) e p_e a densidade da amostra de solo em g/cm³.

$$Y_{(T)} = [1 - \exp(-0.046p_e T)] \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

Em condições ideais de baixa atenuação natural, como é o caso de substratos turfosos de alta porosidade e baixa densidade, profundidades superiores a um metro podem ser obtidas, mesmo através de levantamentos aéreos (BEAMISH, 2015). Do mesmo modo, um aumento em 1% do conteúdo volumétrico de água do solo é traduzido em um incremento de 1% da atenuação do sinal gama (COOK *et al.*, 1996). Entretanto, a delimitação exata das profundidades de aquisição ainda é uma questão em aberto (REINHARDT e HERRMANN, 2018).

No emprego da gamaespectrometria terrestre, além da constância das condições de umidade do substrato, é fundamental que o equipamento faça contato com a superfície a ser estudada ou mantenha uma distância mínima da fonte, sempre com a padronização da aquisição quando o intuito do estudo é a análise de múltiplos pontos num sistema de varredura.

Outro fator de grande importância é o estabelecimento do tempo de aquisição, que frequentemente varia de 1 a 10 minutos em aquisições terrestres (LØVBORG & MOSE, 1987), uma vez que é inversamente proporcional ao erro de leitura associado (HENDRIKS *et al.*, 2001). Deste modo, Erdi-Krausz *et al.* (2003) aconselha uma duração de aproximadamente 300 s em seu guia para mapeamento gama terrestre, embora leve em consideração um detector do tipo NaI(Tl) de 0,35 l, cujo composto é tido como inferior ao BGO em termos de probabilidade de interação entre emissão gama-cristal. Em exemplos práticos, Santos *et al.* (2008) e Silva *et al.* (2010), ao utilizarem um detector NaI em mapeamento geológico e pedológico, respectivamente, definiram um tempo de aquisição de 3 min (180 s). Com um tempo ainda mais

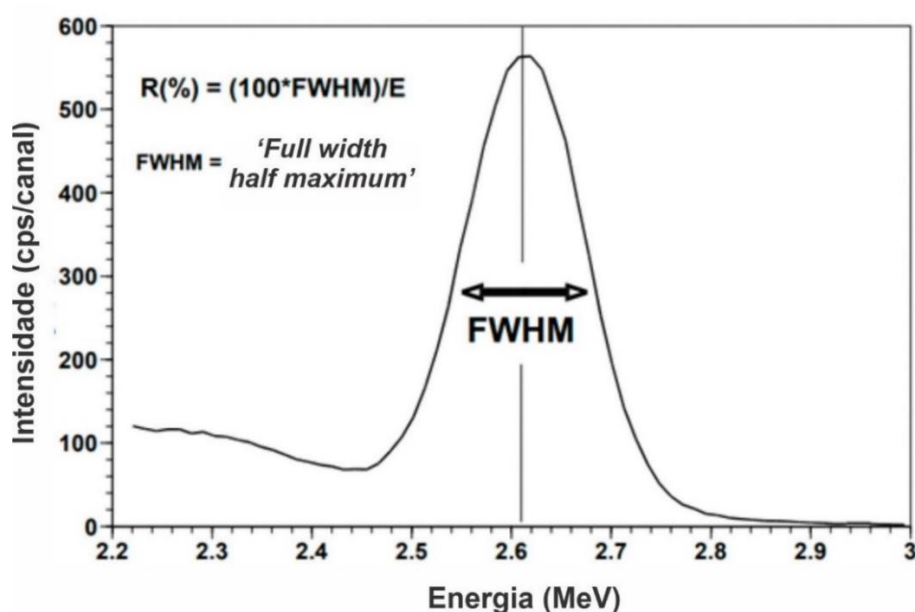
reduzido, Nardy *et al.* (2014) definiram apenas 1 min para aquisição através de um detector BGO para análise de assinatura gama em rochas vulcânicas da Bacia do Paraná com resultados satisfatórios.

Os diferentes tipos de detectores, aliados às técnicas de aquisição mencionadas, podem ser adequados conforme a necessidade de cada estudo, sobretudo em questões referentes à resolução e escalas de aquisição.

6.5.3 Resolução

A resolução em energia de um detector é a medida de sua habilidade de distinção entre dois raios gama de energias muito próximas. Do ponto de vista visual, a resolução pode ser mensurada a partir da largura do fotopico em relação à metade de sua amplitude máxima (FWHM) e dividido por sua energia (ERDI-KRAUSZ *et al.*, 2003) (Figura 33). Em gamaespectrômetros portáteis é comum que a resolução seja definida pelo fotopico de energia 662 keV do ^{137}Cs .

Figura 33: Gráfico da resolução de um sistema gamaespectrométrico, cuja definição é dada pela largura total do fotopico pela metade da amplitude máxima (FWHM), expressa em porcentagem.



Fonte: Erdi-Krausz *et al.* (2003).

6.5.4 Tempo morto

O tempo morto de um sistema espectrométrico é definido pelo tempo requerido por um detector para o processamento de uma partícula de radiação em sua forma individual, haja vista

a desconsideração de quaisquer pulsos durante esse período. Desta maneira, o tempo morto deve ser o menor possível (ERDI-KRAUSZ et al., 2003).

6.6 Condutividade Hidráulica

O ensaio é amplamente utilizado em solos e sedimentos para a determinação da condutividade hidráulica (k), sobretudo da zona vadosa do solo e sedimentos, haja vista sua importância para investigações hidrogeológicas e geotécnicas (MACDONALD et al., 2012; LANOIX et al., 2020).

O fenômeno é compreendido pela Lei de Darcy, onde a condutividade hidráulica é tida como um coeficiente de proporcionalidade que, na prática, é influenciada por alguns fatores físicos do meio, como a porosidade local e distribuição, tamanho, arranjo e forma das partículas, além da natureza do próprio fluido considerado (Equação 5).

$$Q = K \cdot A \cdot \left(\frac{\Delta h}{L} \right) \quad (\text{Equação 5})$$

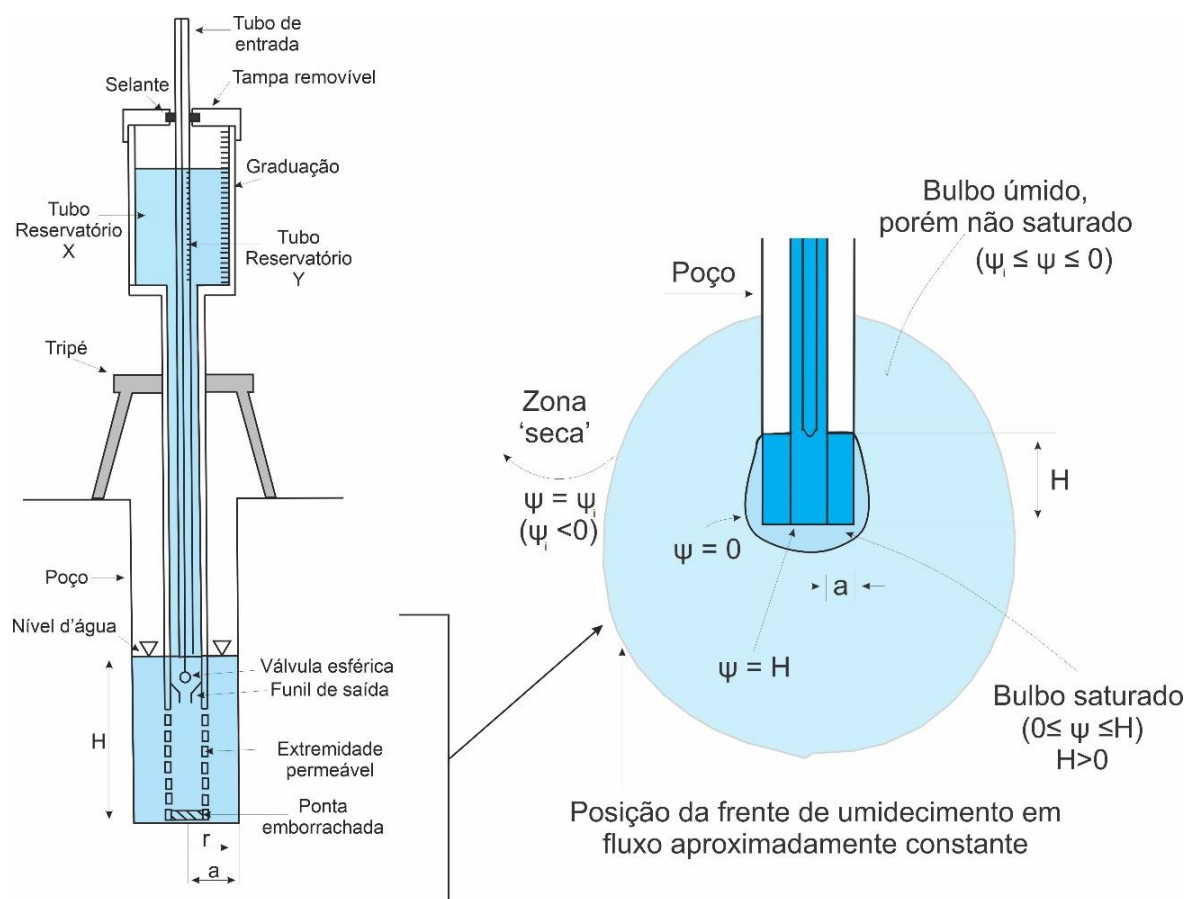
Embora existam experimentos laboratoriais de relativa rapidez e precisão na determinação das propriedades hidráulicas do solo, os métodos *in situ* oferecem a possibilidade de obtenção de resultados fidedignos em virtude das condições naturais do meio e maior abrangência volumétrica, um contraponto ao amolgamento e dificuldade de representatividade na coleta de amostras de solo para análises em laboratório (ANDERSON, 2005; STERRETT, 2007). Desta maneira, para uma ampla percepção da dinâmica hídrica e do comportamento de certos contaminantes e solutos em áreas relativamente extensas, vários ensaios de permeabilidade, que são caracterizados por sua natureza pontual, são necessários. O trabalho de Pinheiro *et al.* (2017) ressalta ainda que a interpretação de tais dados é essencialmente baseada em modelos empíricos ou semi-empíricos em virtude das condições de contorno do processo de infiltração da água no meio em estudo.

Os permeâmetros modernos são baseados na funcionalidade dos componentes do experimento de Darcy realizado ainda no século XIX. Dentre os métodos de campo mais comuns está o Permeâmetro Guelph, desenvolvido por Reynolds e Elrick na Universidade canadense homônima, cujos ensaios de carga constante são frequentemente realizados através de furos de sondagem e com a vantagem do baixo consumo de água, facilidade e praticidade de operação e a dispensa de análises laboratoriais. Além da condutividade hidráulica saturada, o

equipamento possibilita a medição do potencial de fluxo matricial do substrato em análise (REYNOLDS & ELRICK, 1986; 1989).

Inicialmente, o permeâmetro é inserido no interior de um furo cilíndrico, de raio a , construído no solo através de um trado. O sistema envolve o princípio do Sifão de Mariotte de onde, através de um conjunto de dois tubos transparentes e graduados, é possível acompanhar a variação do nível d'água, em função de sua infiltração através da zona insaturada do solo, criando um bulbo de saturação, cuja forma é dependente da natureza do substrato e do valor de a , além de um bulbo úmido de fluxo não saturado ao seu redor (REYNOLDS & ELRICK, 1985) (Figura 34).

Figura 34: Componentes (fora de escala) de um permeâmetro Gelfh e o bulbo de saturação gerado, onde H = coluna d'água; a = raio do poço/furo; ψ = gradiente de pressão.



Fonte: adaptado de Reynolds & Elrick (1983) e Elrick *et al.* (1989).

Ambos os tubos perfazem diferentes reservatórios que podem ser utilizados de maneira independente pelo operador em função das características físicas do meio: solos mais compactos e argilosos geralmente requerem o uso do reservatório interno (Y), haja vista sua baixa taxa de infiltração. De forma antagônica, substratos mais arenosos e permeáveis

possibilitam a utilização do reservatório externo (X), que na realidade abrange os dois tubos em um único conjunto.

O modelo matemático que descreve a vazão de água à carga hidráulica constante Q a partir de um componente cilíndrico instalado subsuperficialmente no solo é dada pela análise de Richards, que leva em consideração o efeito da capilaridade da água (REYNOLDS & ELRICK, 1985):

$$QC = 2\pi H^2 K_{fs} + C\pi a^2 K_{fs} + 2\pi H \phi_m \quad (\text{Equação 6})$$

Onde $Q [L^3T^{-1}]$ é a vazão de água a carga hidráulica constante; $C [-]$ parâmetro adimensional denominado “fator de forma” (*shape fator*), dependente da razão H/a ; $H [L]$ é a altura da coluna de água no furo do poço; $K_{fs} [LT^{-1}]$ é a condutividade hidráulica; e $\phi_m [L^2T^{-1}]$ é o potencial matricial.

O primeiro termo da equação 6 representa a “força hidráulica” da água no solo em razão da pressão hidrostática da água no poço, enquanto o segundo termo corresponde a “força gravitacional” da água através da extremidade inferior do furo, ambos os casos relacionados ao bulbo de fluxo saturado. O terceiro membro, por sua vez, representa o componente de fluxo insaturado (bulbo “úmido”) que é dado pelas forças de capilaridade do solo.

O potencial matricial de fluxo, por sua vez, pode ser definido pela equação 7 (GARDNER, 1958), onde os limites da integração ($\psi=0$) e ($\psi=\psi_i$) são relacionados à delimitação dos bulbos saturado e insaturado, respectivamente:

$$\phi_m = \int_{\psi_i}^0 K(\psi) d\psi \quad (\text{Equação 7})$$

Onde $\psi [L]$ corresponde ao gradiente de pressão e $K(\psi)[LT^{-1}]$ é a condutividade hidráulica em função do gradiente de pressão.

A análise de Richards resolve a equação em K_{fs} e ϕ_m utilizando duas equações simultâneas em função de duas colunas d’água distintas (H_1 e H_2), de acordo com o método de carga dupla (*double head method*) que é aconselhado para aplicações científicas em função de sua elevada precisão quando comparado ao método de carga única (*one head method*) (SOIL MOISTURE CORP. 2012).

Reynolds & Elrick (1986) apontam ainda para uma limitação do método quando resultados irrealistas são obtidos, sobretudo por K_{fs} negativos que ocorrem quando heterogeneidades como macroporos ou limites de camadas são interceptadas pelo bulbo de saturação durante aquisições de dados através de tal procedimento. Desta maneira, Reynolds et al. (1985) sugerem o descarte de tais dados.

Após um período de 20 a 30 minutos para a formação dos bulbos e estabilização para cada uma das etapas do método de carga dupla, as taxas de infiltração em intervalos de tempo regulares são acompanhadas até que sejam estabelecidos valores constantes de vazões Q (cm.s⁻¹) para uma determinada coluna d'água (H_1 ou H_2). O cálculo da condutividade hidráulica *in situ* (K_{fs}) pode ser feito a partir da equação 8:

$$K_{fs} = G_2 Q_2 - G_1 Q_1 \quad (\text{Equação 8})$$

Onde G_1 e G_2 são variáveis expressas pela relação entre a coluna d'água, raio do poço e o fator forma, segundo as equações:

$$G_1 = \frac{H_2 C_1}{\pi(2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1))} \quad (\text{Equação 9})$$

$$G_2 = \frac{H_1 C_2}{\pi(2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1))} \quad (\text{Equação 10})$$

O fator de forma C , por sua vez, é expresso pelas equações da tabela 6 (SOIL MOISTURE CORP. 2012), conforme o fator de capilaridade microscópica α^* (cm⁻¹) para cada categoria de solo em função de sua textura e estrutura (ZHANG et al., 1998).

Um método de cálculo frequente é a adoção do parâmetro α^* fixo em 0,12 para H_1 e H_2 de 5 e 10 cm, respectivamente, com os valores de G_1 e G_2 expressos por 0,0054 e 0,0041, respectivamente. Assim, a obtenção de K_{fs} é dada através das seguintes equações:

$$K_{fs} = [(0,0041)(X)(R_2) - (0,0054)(X)(R_1)] \quad (\text{Equação 11})$$

$$K_{fs} = [(0,0041)(Y)(R_2) - (0,0054)(Y)(R_1)] \quad (\text{Equação 12})$$

Onde X e Y correspondem à área da seção do tubo reservatório utilizado (35,22 cm² ou 2,16 cm², respectivamente) e $(X).(R_n)$ ou $(Y).(R_n) = Q_1$ ou Q_2 (cm³-1).

Na zona vadosa, o fluxo da água subterrânea é regido por basicamente dois fatores: forças dirigentes e propriedades do meio físico (NIMMO, 2009). O primeiro fator está relacionado pela influência das forças gravitacional e de pressão matricial do solo, com esta última geralmente superior à primeira (NIMMO, 2009).

Fluxos preferenciais podem fazer a ligação entre a superfície e a zona saturada por intermédio de fluxos de macroporos, fluxos afunilados ou fluxos instáveis (NIMMO, 2009). O primeiro modelo é relacionado com a existência de bioturbações e atividades biológicas no solo, como túneis de anelídeos e a existência de agregados. O fluxo afunilado, por sua vez, é criado pela presença de heterogeneidades que desviam o fluxo para um único ponto de maior condutividade hidráulica. Finalmente, os fluxos instáveis são aqueles gerados em contatos entre duas camadas distintas, como é o caso das lentes de arenitos que convergem em sua base zonas de alta umidade separada por porções de solo seco.

Tabela 6: Cálculo do fator forma C em função das categorias de solo, onde α^* é o fator de capilaridade microscópica (cm-1); a é o raio do poço/furo; e H_1 e H_2 as alturas das colunas d'água segundo o método de carga dupla.

Categoria de textura-estrutura do solo	α^* (cm-1)	Fator de Forma
Material compacto, sem estrutura, argiloso ou siltoso (capeamentos de aterros, sedimentos lacustrinos ou marinhos etc.)	0,01	$c_1 = \left(\frac{\frac{H_2}{a}}{2,081 + 0,121(\frac{H_2}{a})} \right)^{0,672}$
Solos de textura fina (argiloso ou siltoso) e sem estruturas; inclui ainda algumas areias finas	0,04	$c_1 = \left(\frac{\frac{H_1}{a}}{1,992 + 0,091(\frac{H_1}{a})} \right)^{0,683}$ $c_2 = \left(\frac{\frac{H_2}{a}}{1,992 + 0,091(\frac{H_2}{a})} \right)^{0,683}$
Maioria dos solos estruturados (argila a areia média). Categoria aplicável para a maioria dos solos agrícolas.	0,12	$c_1 = \left(\frac{\frac{H_1}{a}}{2,074 + 0,093(\frac{H_1}{a})} \right)^{0,754}$ $c_2 = \left(\frac{\frac{H_2}{a}}{2,074 + 0,093(\frac{H_2}{a})} \right)^{0,754}$

Solos de textura grossa altamente estruturados com grandes ou numerosas fendas, macroporos etc.	0,36	$c_1 = \left(\frac{\frac{H_1}{a}}{2,074 + 0,093\left(\frac{H_1}{a}\right)} \right)^{0,754}$ $c_2 = \left(\frac{\frac{H_2}{a}}{2,074 + 0,093\left(\frac{H_2}{a}\right)} \right)^{0,754}$
---	------	---

Fonte: Soil Moisture Corp. (2012).

A capacidade de infiltração, assim como a condutividade hidráulica, varia conforme a umidade do solo e outros fatores (NIMMO, 2009). Em ambientes onde o nível freático é relativamente raso na presença de vegetação abundante, como nas AUs, a evapotranspiração é um fator muito importante para a saída de água do ambiente subsuperficial raso.

6.7 Eletrorresistividade

Dentre os diferentes métodos geofísicos, a Eletrorresistividade é uma das ferramentas mais versáteis para aquisições rasas, cujo pilar é o parâmetro físico da resistividade elétrica que, por sua vez, é relacionada aos campos elétricos potenciais gerados pela passagem de uma corrente elétrica artificialmente induzida através do solo (KEAREY et al., 2002; MILSON, 2003). Este método quantifica a dificuldade ou não da propagação de uma corrente elétrica pelos materiais geológicos, cujas propriedades físicas, químicas e grau umidade desempenham um papel fundamental na variabilidade da resistividade elétrica no ambiente subsuperficial.

Devido à sua alta versatilidade, o método é comumente empregado em associação à métodos de investigação direta em estudos de diversas áreas como caracterização e monitoramento de plumas de contaminação, prospecção mineral, hidrogeologia, arqueologia, geotecnia e geologia do petróleo (BATAYNEH, 2006; ISRAIL et al., 2006; MOREIRA et al., 2016; MOREIRA et al., 2020; XIA et al., 2021; PAPADOPOULOS et al., 2021) através de diversas técnicas, como tomografia elétrica (ou imageamento elétrico), sondagem elétrica vertical (SEV) e perfilagem de poços. Os produtos gerados, sejam 2D ou pseudo-3D, possibilitam a identificação e delimitação de zonas anômalas em subsuperfície, sejam elas de baixa resistividade elétrica, como determinadas plumas de contaminação e zonas saturadas, ou de alta resistividade, como intrusões ígneas, embasamento rochoso e cavidades.

Abaixo são tratados os aspectos teóricos da propagação da corrente elétrica no meio geológico e a quantificação da diferença de potencial gerada em superfície.

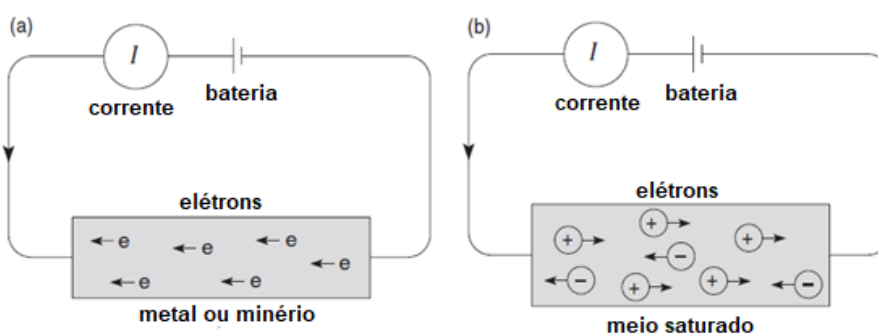
6.7.1 Mecanismos de propagação da corrente elétrica

Conforme já exposto, as diferentes substâncias e materiais naturais e artificiais possuem variáveis resistividades elétricas quando submetidos à passagem de uma corrente elétrica através de seu interior. De modo inverso, seria o mesmo que mensurar a facilidade com que um fluxo de elétrons se propaga de uma extremidade a outra, cuja magnitude leva em consideração estruturas, grau de pureza e tipos de ligação atômica (HALLIDAY *et al.*, 2009; LOWRIE 2007). Dito isso, a condutividade elétrica, nesse caso, pode ser classificada de dois modos distintos segundo as peculiaridades do meio em questão: *eletrônica* e *eletrolítica* (Figura 35).

A condutividade eletrônica, no ambiente geológico, acontece de forma mais intensa em regiões de acúmulo de espécies minerais cujos elétrons se encontram dispersos de forma livre na estrutura cristalina, como é o caso dos minerais metálicos. Após a introdução de uma diferença de potencial, os elétrons passam a se movimentar de forma combinada segundo a direção do campo elétrico e a dificuldade de propagação será mais ou menos dificultada pelas chances de interações entre os elétrons em movimento e o arranjo atômico do mineral (LOWRIE 2007).

Assim, nos minerais metálicos a condutividade é geralmente muito boa e, portanto, a resistividade elétrica é bastante baixa, diferentemente de minerais isolantes não metálicos como quartzo, micas e olivinas.

Figura 35: Condutividade Metálica (a) e Condutividade Eletrolítica (b).



Fonte: Musset & Khan (2000)

A condutividade eletrolítica, por outro lado, ocorre graças à água contida nos poros e fraturas das rochas e sedimentos. Neste ambiente a água detém uma certa carga de partículas carregadas eletricamente (ou eletrólitos) na forma de cátions e ânions, que fecha o circuito após a aplicação de uma diferença de potencial (MUSSET & KHAN, 2000). Esse tipo de condutividade possibilita que muitos minerais e rochas isolantes elétricos propaguem corrente elétrica, desde que possuam um certo grau de umidade em seus poros.

6.7.2 Princípios teóricos

A resistividade elétrica (ρ) é tratada pela física como a dificuldade oferecida pelas partículas constituintes do meio à passagem de corrente elétrica através dos diferentes materiais e substâncias da natureza. No método da Eletroresistividade (em inglês denominada de *DC Resistivity*) a determinação de ρ é dada pela quantificação da diferença de potencial (ddp) que é gerada, na superfície do terreno, pela passagem de uma corrente elétrica artificial no meio geológico (KEAREY, 2002; REYNOLDS, 2011), esta última realizada por aterramento galvânico.

Base dos métodos geoeletricos, a corrente elétrica (i) caracteriza um fluxo ordenado de elétrons em determinado meio e pode ser definida pela equação 13, que relaciona um número de cargas específico que atravessa o meio por unidade de tempo (C/s). A unidade de corrente, no SI, é dada por ampere (ou ampère) (A).

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (\text{Equação 13})$$

Neste caso, é possível estabelecer uma relação de proporcionalidade entre a corrente gerada e a diferença de potencial, ou voltagem (V) aplicada no sistema. Assim, o termo Ψ define uma constante de proporcionalidade que pode ser compreendida pela condutância elétrica do material em questão (Equação 14), cuja unidade antagônica é a *resistência elétrica* (ohm, Ω).

$$i \propto V, \text{ então } i = \Psi V \quad (\text{Equação 14})$$

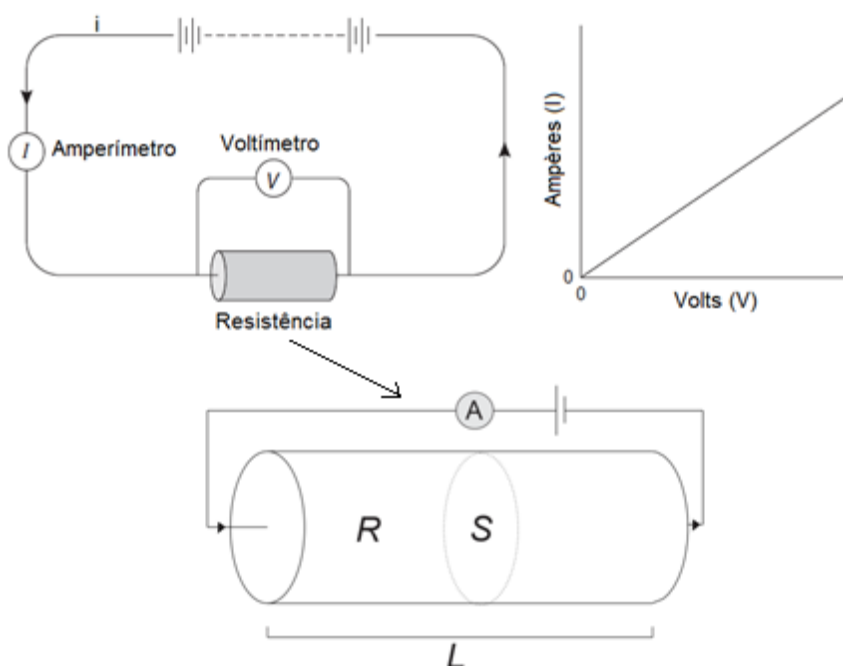
Para um determinado condutor, que é mantido à temperatura constante, a resistência elétrica (Ω) estabelecida pode ser descrita pela razão entre a tensão elétrica (V) entre dois pontos e a corrente elétrica (A) que atravessa o material (Equação 15). Essa é a denominada Primeira Lei de Ohm, ou simplesmente Lei de Ohm, em homenagem ao físico alemão Georg Simon Ohm (1789-1854).

$$R = \frac{V}{i} \quad (\Omega) \quad (\text{Equação 15})$$

Com base em um circuito elétrico simples, um amperímetro e um volímetro quantificam a corrente elétrica e a voltagem em um resistor ôhmico (caracterizado pela relação linear entre corrente e voltagem, segundo o gráfico da Figura 36) de comprimento L , seção transversal S e resistência R . A resistividade elétrica (ρ), enfim, é descrita pela Segunda Lei de Ohm, onde ρ é inversamente e diretamente proporcional a S e L , respectivamente (Equação 16)

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de ρ será dada por $\Omega.m$ e sua propriedade física inversa, a *condutividade*, será expressa em $S.m$ esta última de grande importância em outros métodos geofísicos, como eletromagnético indutivo. Vale ressaltar que ρ dependerá da natureza e temperatura do material submetido à passagem da corrente elétrica (MUSSET & KHAN, 2000).

Figura 36: Esquema de um circuito elétrico simples associado a um resistor ôhmico de resistência R , comprimento L e seção transversal S .



Fonte: Elaborado pelo autor.

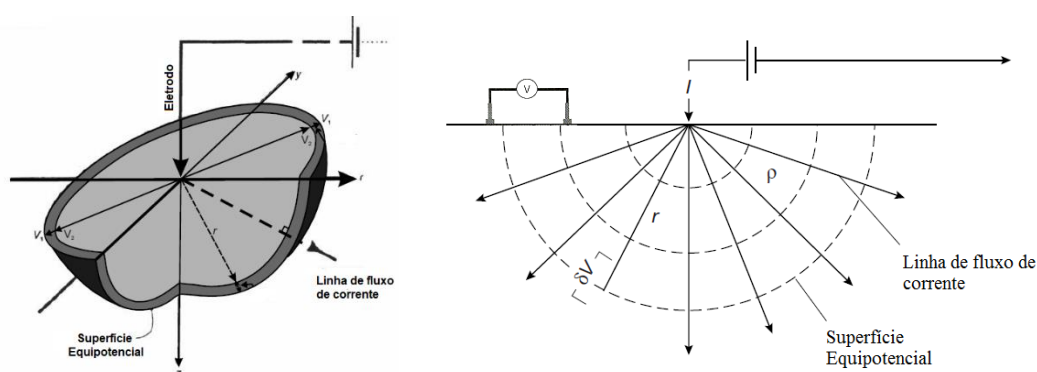
$$R = \rho \frac{L}{S} \ (\Omega) \text{ ou } \rho = R \frac{S}{L} \ (\Omega m) \quad (\text{Equação 16})$$

A aplicação das leis de Ohm no ambiente geológico configura a base do método da Eletrorresistividade, porém, do ponto de vista prático, dependerá de algumas adequações quanto ao comportamento e geometria de propagação da corrente elétrica no ambiente

geológico. Assim, com o aterramento galvânico na superfície do solo, ela é propagada em todas as direções e cria infinitas superfícies equipotenciais concêntricas e tridimensionais na forma de meias esferas com área de $2\pi r^2$ (Figura 37).

Em vista lateral, é possível notar que a instalação dos dois terminais de um voltímetro em pontos distintos a partir da origem (i.e., da posição do eletrodo) irá interceptar duas superfícies potenciais diferentes e, portanto, resultar em uma leitura de diferença de potencial intrínseca ao material do solo.

Figura 37: Propagação da corrente elétrica em subsuperfície, cuja superfície equipotencial descreve uma meia esfera. À direita, detalhe lateral da propagação com medição da ddp em superfície.



Fonte: Reynolds (2011)

De acordo com a Segunda Lei de Ohm aplicada no semi-espaco e relacionada à equação 4, fica:

$$R = \frac{\rho r}{2\pi r^2} = \frac{\rho}{2\pi r} \quad (\text{Equação 17})$$

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} \rightarrow \rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (\text{Equação 18})$$

Assim, r corresponde à distância entre o aterramento galvânico e o ponto no qual o potencial (V) é medido. Entretanto, no método da Eletroresistividade, um par de eletrodos são usados para a injeção de corrente (eletrodos de corrente, AB) enquanto outros dois são utilizados para o cálculo da diferença de potencial (eletrodos de potencial, MN). A figura 38 ilustra o conjunto, com a corrente partindo do ponto A em direção à B com propagação parabólica em subsuperfície onde intercepta duas camadas de ρ distintas (ρ_1 e ρ_2). A voltagem em superfície é medida pelos eletrodos MN dispostos de maneira colinear em relação à abertura

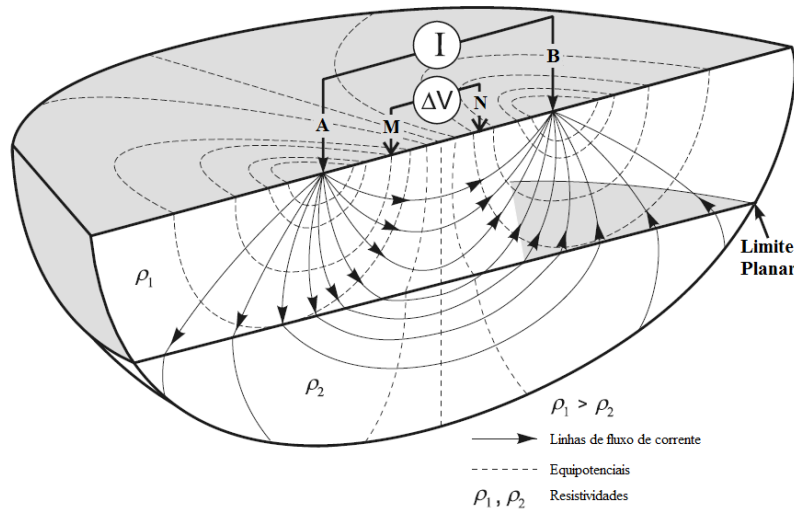
AB onde, por sua vez, interceptam diferentes superfícies equipotenciais e ortogonais às linhas de fluxo. Vale ressaltar que a geometria das linhas de corrente e, conseqüentemente das superfícies equipotenciais geradas, são influenciadas pela resistividade elétrica do meio.

Em um meio geológico ideal, i.e., homogêneo e isotrópico, o potencial elétrico para cada um dos eletrodos de aquisição é dado pelas equações abaixo:

$$V_M = \frac{\rho i}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) \quad (\text{Equação 19})$$

$$V_N = \frac{\rho i}{2\pi} \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \quad (\text{Equação 20})$$

Figura 38: Configuração tetraédrica de eletrodos (AMNB) com detalhe para as linhas de fluxo de corrente e equipotenciais associadas em um meio com camadas de resistividades distintas.



Fonte: Knödel *et al* (2007)

Uma vez que a diferença de potencial é calculada pela subtração das leituras individuais de cada um dos eletrodos M e N, temos:

$$\Delta V_{MN} = \frac{\rho i}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad (\text{Equação 21})$$

Onde o termo K, denominado coeficiente geométrico e dado em função da disposição relativa dos eletrodos segundo o arranjo praticado, pode ser desmembrado da seguinte forma:

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad (\text{Equação 22})$$

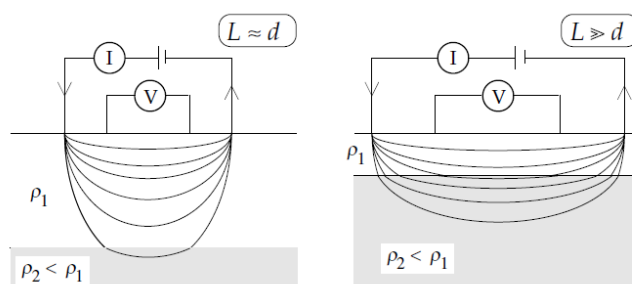
O que resulta na forma simplificada da equação para o cálculo da resistividade elétrica no meio geológico (Equação 23). Entretanto, conforme exposto na figura 38, a corrente elétrica atravessa n camadas de diferentes valores de ρ , o que torna as superfícies equipotenciais influenciadas por um meio heterogêneo composto por vários litotipos, estruturas e graus de saturação. Assim, para valores medidos em campo, a resistividade elétrica é dita aparente (ρ_a , também em $\Omega.m$) e não expressa, a priori, os valores reais do meio, porém médias ponderadas (TELFORD, 1990; LOWRIE 2007).

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{i} \quad (\text{Equação 23})$$

Como exemplo dessa interferência entre diferentes estratos, a figura 39 mostra duas situações de aquisição, onde a relação entre a distância AB (L) e a espessura da camada de resistividade ρ_1 (d) geram resultados de ρ_a distintos. No primeiro a relação entre L e d é próxima de 1, então as correntes fluirão preferencialmente pela camada sobreposta, que tornaria o valor de ρ_a muito próximo de ρ_1 . Por outro lado, na segunda aquisição o valor de ρ_a seria muito influenciado pela camada sotoposta de resistividade elétrica ρ_2 em virtude do maior espaçamento entre A e B com fluxo de corrente em maiores profundidades.

Desta maneira, é necessária a inversão dos dados de ρ_a , denominado de inversão, para que os valores possam ser expressos em resistividade elétrica (ρ) condizentes com a realidade do meio geológico (CHULÈS & DELFINER, 2012).

Figura 39: Linhas de fluxo de corrente elétrica em função do espaçamento dos eletrodos em contexto de duas camadas horizontais de resistividades elétricas ρ_1 e ρ_2 .

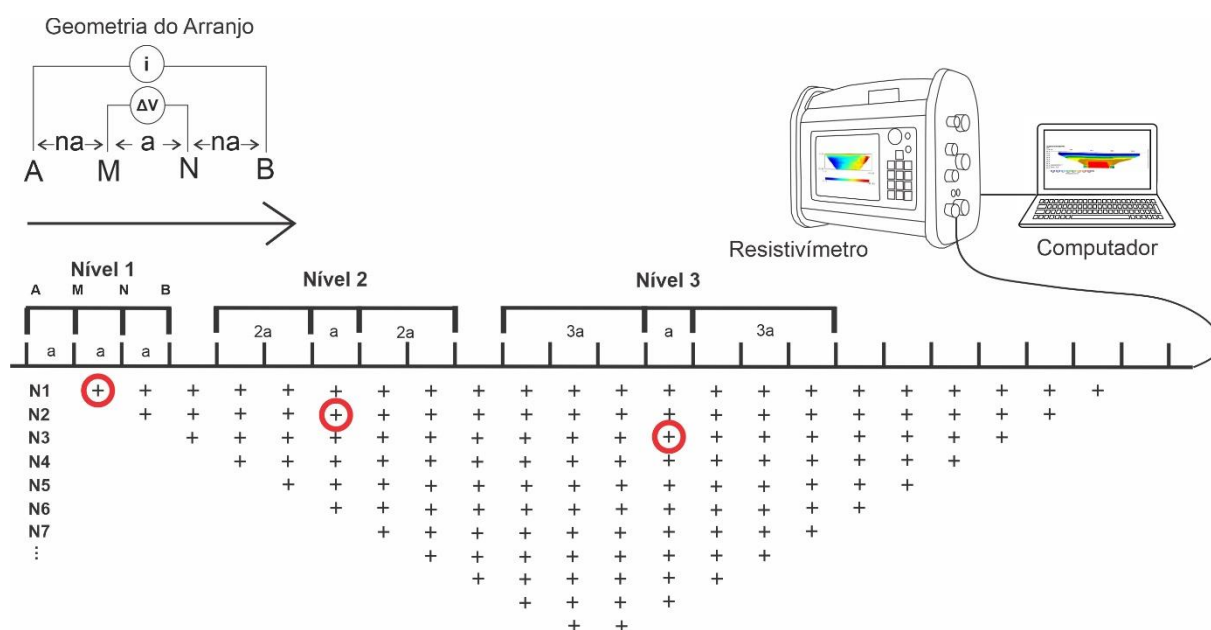


Fonte: Lowrie (2007)

6.7.2.1 Técnica e arranjo

A técnica da tomografia elétrica (ERT), também denominada de imageamento elétrico, amplamente utilizada em estudos hidrogeológicos, ambientais, geotécnicos e de prospecção mineral (AYOLABI et al., 2013; DELGADO-RODRÍGUEZ et al., 2014; VIEIRA et al., 2016; ATTWA & ALI, 2018), é caracterizada por uma qualidade importante ao produto gerado: a lateralidade dos dados de resistividade elétrica em subsuperfície, onde os dados espaciais, de natureza discreta, são interpolados na geração de um item bidimensional (seção), cuja pertinência é elementar em investigações hidrogeológicas no contexto de sistemas aquíferos fraturados (Figura 40).

Figura 40: Disposição e desenvolvimento dos eletrodos aplicados na técnica de tomografia elétrica, com detalhe para leituras em diferentes níveis de profundidade.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O arranjo da aquisição, por sua vez, define a disposição e evolução geométrica dos pares de eletrodos ao longo do eixo de aquisição. É uma etapa crítica em estudos geofísicos em virtude das características intrínsecas à cada arranjo, sobretudo por suas resoluções verticais e laterais (reconhecimento de estruturas), alcance em profundidade, resolução e qualidade dos resultados. O arranjo Schlumberger, aplicado neste estudo, é reconhecido por sua boa resolução, principalmente na delineação de estruturas horizontais, e elevada razão sinal-ruído, além de

produzir resultados bastante satisfatórios em estudos ambientais e hidrogeológicos (MOREIRA et al., 2016; ROBINSON et al., 2016).

No arranjo Schlumberger a distância a entre o par MN é constante e a abertura AB é desenvolvida através de múltiplos de a , o que garante a possibilidade de leituras em diferentes níveis de profundidade, conforme demonstra a figura 40, através da técnica do imageamento elétrico.

6.8 Geologia estrutural

No geral, a locação de poços tubulares para a exploração da água subterrânea requer estudos aprofundados de geologia estrutural da unidade na tentativa de interceptar o maior número de famílias de fraturas que apresentem percolação de água. Desta maneira, estudo para locação de poços em terrenos cristalinos levam em consideração, além da aquisição de medidas estruturais em campo, a correlação dos dados estruturais com a geomorfologia, produtos de sensoriamento remoto (mapas de lineamentos) e pesquisas sobre poços cadastrados na região (REGINATO & STRIEDER, 2007).

A análise estrutural visou caracterizar o principal condicionante dos aquíferos fraturados que são as estruturas tectônicas. Estes sistemas são, do ponto de vista hidrogeológico, mais anisotrópicos e menos previsíveis que aquíferos granulares, uma vez que a água é contida em descontinuidades da rocha, como falhas e juntas (fraturas) (FEITOSA et al., 2008).

Como forma de agrupar os conjuntos de descontinuidades em famílias, caracterizadas por uma orientação espacial em comum, é recorrente o uso de projeções estereográficas que possibilitam a representação de estruturas planares e lineares em um diagrama bidimensional (estereograma).

6.9 Aquisição e processamento de dados

O levantamento fotogramétrico foi realizado em fevereiro de 2020 (estação úmida) e o equipamento utilizado foi o VANT Phantom 4 Pro DJI (dji.com) com o objetivo de delimitação precisa da área úmida e sua zona de alagamento, uso da terra e conversão do uso do solo em seu entorno. O VANT possui receptor duplo GPS/GLONASS e sensor RGB DJI 1'' CMOS Effective, com 20 megapixels. O GPS embarcado é sincronizado com a câmera e permite que os voos ocorram de forma autônoma, de acordo com plano de voo elaborado.

O plano de voo foi criado na interface Pix4Dmapper (pix4d.com) de forma a abranger toda a área úmida e suas vertentes (ver polígono na figura 49). O processo de configuração do plano de voo ocorre de forma semi-automática e permite a determinação de diferentes parâmetros (Tabela 7). A sobreposição lateral e longitudinal das imagens foi estipulada em 80% - essa configuração é diretamente relacionada com eficiência do método fotogramétrico e sempre devem ser mantidas taxas sobreposição de imagens maiores que 60% (Dandois et al, 2015). A partir disso, os voos ocorrem no modo *auto piloto* e podem ser monitorados por uma estação em solo (*Ground Control Station*), composta pelo controle remoto com transmissão à rádio conectado a uma plataforma operacional.

O método fotogramétrico *Structure from Motion-Multi View Stereo* (SfM-MVS), utilizado neste trabalho, consiste na reconstrução de uma área a partir da geração de uma nuvem de pontos 3D sem escala e referência, com base em uma série de imagens 2D sobrepostas obtidas pelo VANT (SfM) e a criação de uma malha 3D a partir de vértices e polígonos (MVS) (GOMEZ et al., 2015). Na etapa de SfM, pontos em comum entre diferentes imagens são extraídos para que uma nuvem de pontos em 3D seja reconstruída. Na etapa seguinte, MVS, ocorre a construção de uma malha 3D de vértices e polígonos, baseada na nuvem de pontos construída na etapa anterior, de forma que uma maior quantidade de pontos da área é calculada (Gomez, 2015).

Todo o processamento e aquisição de dados foi realizado pelo *software* Agisoft Metashape (agisoft.com). As etapas básicas de processamento são as seguintes: (i) calibração automática e alinhamento de fotos; (ii) criação de uma nuvem de pontos densa; (iii) criação de uma malha de vértices e polígonos e do modelo 3D texturizado e (iv) geração do ortomosaico e do modelo digital de elevação (MDE). A etapa (v) consiste na delimitação visual dos polígonos referentes à área úmida e a área de alagamento, para o cálculo fotogramétrico. As etapas (i) e (ii) referem-se a processo de SfM, a etapa (iii) ao MVS e as etapas (iv) e (v) aos produtos que podem ser gerados e extraídos dos processamentos. Os principais parâmetros definidos e obtidos pelos processamentos estão na tabela 7.

De modo adicional, foram realizadas medições topográficas em solo com o auxílio de um GPS Diferencial, uma vez que os MDE gerados a partir de VANTs apresentam acurácia variável de acordo com o tipo de sensor de captura de imagens, altitude de voo e taxa de sobreposição de faixas de voo (FURLAN et al., 2023). Ademais, a presença de vegetação na área a ser mapeada é um fator limitante na geração do modelo em virtude das interferências geradas, uma vez que o sistema tem dificuldade em separar a vegetação da superfície do solo.

O equipamento GPS Diferencial utilizado para a correção altimétrica dos produtos gerados por VANT e aquisição da malha de pontos foi o DGPS Trimble GeoXT, obtido junto ao Laboratório de Estudos de Bacias (LEBAC), UNESP Câmpus Rio Claro. Em um estudo comparativo da precisão de diversos sistemas GPS, Serr *et al.* (2006) determinaram a superioridade do modelo Trimble ProXT, embora o Trimble GeoXT também ofereça ótima precisão em tempo real (<1,0 m) através de correções diferenciais (TRIMBLE, 2005) com a vantagem de ser um sistema com interface mais amigável e compatível com os softwares mais comuns, o que o torna o sistema com um dos melhores custo-benefício (Figura 41).

Tabela 7: Parâmetros principais de aquisição e processamento de dados por VANT.

Aquisição		
Número de Imagens	143	
Altitude de Voo	100 m	
Área de Abrangência	0,19 km²	
Sistema de Coordenadas	WGS 84 (EPSG:4326)	
Média de sobreposição de imagens	9	
Porcentagem de Sobreposição (Lateral e Longitudinal)	80%	
Processamento		
Parâmetros Gerais	Software	Agisoft Metashape
	Resolução em solo	2 cm/pixel
Parâmetros de Alinhamento	Precisão	Alta
	Pontos Amarração	124.227
Densidade de Nuvem de Pontos	Pontos	45.716.792
Modelo Digital de Elevação	Resolução	7.16 cm/pixel

Fonte: Elaborado pelo autor.

Através de *softwares* como GPS Pathfinder Office é possível ainda a adoção de uma etapa de pós-processamento dos dados, com precisão centimétrica. Ademais, é evidente que a

precisão e o custo dos aparelhos são duas variáveis diretamente proporcionais (SERR et al., 2006). O mapa de pontos coletados pode ser visualizado na figura 42.

Figura 41: Aquisição de dados de altimetria por GPS de precisão, com detalhe para a antena receptora.



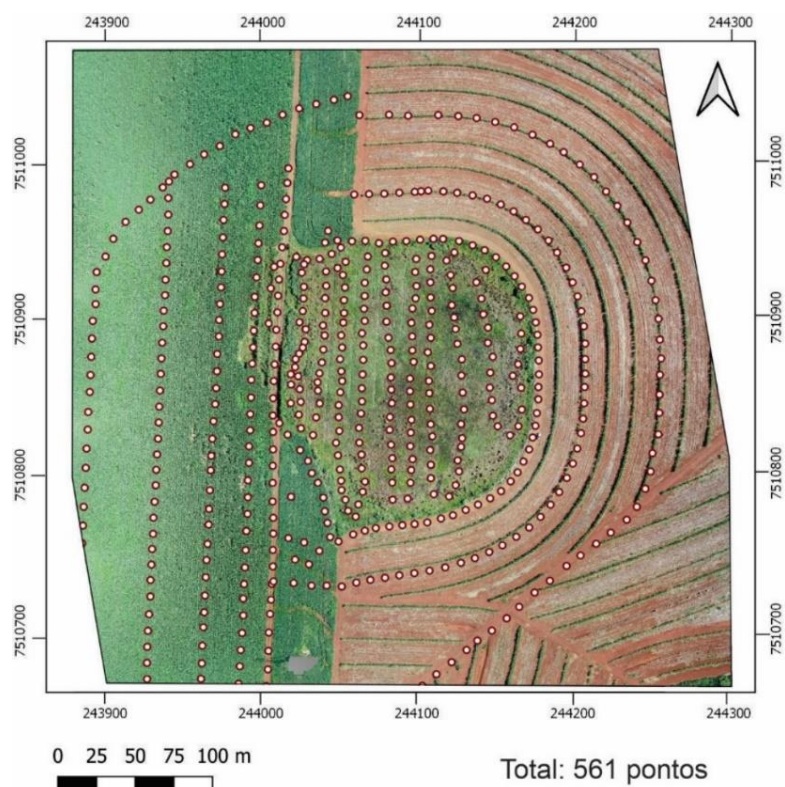
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na etapa de amostragem de solos para a descrição pedológica dos horizontes e análises mineralógicas e químicas, com o objetivo de descrever os perfis de solo e sua relação com o transporte/fixação de metais, foram realizadas cinco tradagens de solo na área de estudo: quatro delas no interior da AU (P01, P02, P03 e P04) e uma na meia vertente, em meio a plantação de cana-de-açúcar (P05) (Tabela 8 e Figura 43).

A tradagem foi realizada com um trado tipo holandês (ou de rosca) de haste expansível de modo a abranger, em profundidade, todos os horizontes de solo até o nível saprolítico e de rocha não alterada, de acordo com os procedimentos de amostragem por tradagens sucessivas descritos por FILIZOLA *et al.* (2006). Durante a etapa de planejamento, optou-se por um foco maior no interior da AU, além da locação de um ponto na vertente para a representação do solo circunvizinho, de forma que pelo menos os pontos P01, P02 e P05 ficassem aproximadamente alinhados com a maior linha de aquisição pelo método geofísico da Eletrorresistividade (Linha 17).

O local de trabalho foi limpo com uma enxada e todos os detritos e vegetais superficiais retirados de um raio de cerca de 1 m do local do furo. A primeira coleta foi efetuada com pá, seguida pela inserção do trado no local da amostragem e a continuidade do processo. A perfuração seguiu etapas sucessivas de 20 cm, com o descarte da porção superior retida no trado holandês, bem como de suas laterais.

Figura 42: Mapa de pontos de aquisição GPS.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 8: Coordenadas dos pontos de tradagem, cota e profundidades máximas alcançadas.

Ponto de Tradagem	X (m)	Y (m)	Z (m)	Prof. Máx (m)
P01	244.059	7.510.942	711,4	2,6
P02	244.048	7.510.799	709,9	3,4
P03	244.168	7.510.903	709,9	2,4
P04	244.146	7.510.801	711,5	3,8
P05	244,072	7.510.966	713,3	1,0

Fonte: Elaborado pelo autor.

O acondicionamento das amostras foi feito em sacos plásticos, limpos e devidamente etiquetados com a data, número da tradagem e nível de coleta. Antes da continuação do

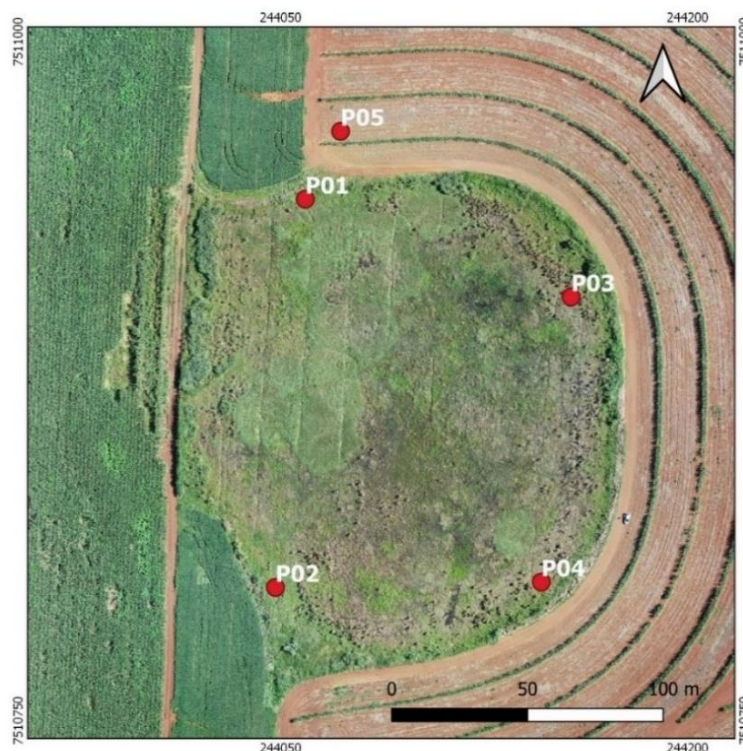
processo, o trado foi devidamente limpo para evitar a contaminação cruzada e mistura de solos de diferentes horizontes. O trabalho seguiu até atingir o nível de rocha não alterada (diabásio), o que impediu a continuação da perfuração por tradagem e, conseqüentemente, definiu a base do perfil. Desta maneira, a descrição morfológica dos horizontes dos perfis de solo foi feita de acordo com a IUSS (2015) e cor com o Código Munsell (MUNSELL, 2000).

As amostras de horizontes de solo representativos foram selecionadas para análise por difratometria de raios X das frações totais, cuja preparação envolveu a secagem e posterior fragmentação através do uso de almofariz e pistilo até que a granulometria do material não fosse mais retida em peneira de 200 mesh ($> 0,074$ mm).

Uma alíquota de cada intervalo representativo dos solos foi, por fim, colocada em lâmina de vidro após secagem, onde seguiram para análise com o uso do difratômetro de raios x D2 PHASER - BRUKER, com medidas realizadas através de tubo de cobre.

O ângulo 2θ de início foi de 4° e de término foi de 90° , com passo de 4.260 em um segundo (i.e., 4.260 passos/s), além de uma corrente empregada da ordem de 10mA a uma voltagem de 30kV.

Figura 43: Localização dos cinco pontos de tradagem do solo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O laboratório utilizado para a execução das análises pertence à UNESPetro da UNESP – Campus de Rio Claro. Os difratogramas gerados foram interpretados através do software DFRAC.EVA.4.2 e se encontram listados no Anexo III.

As duplicatas de amostras de solo coletadas foram enviadas em sacos plásticos devidamente etiquetados e identificados para a análise no laboratório SGS Geosol Laboratórios LTDA para análise por ICP-OES.

O método de abertura das amostras foi o denominado “pseudo-total” (preservação de minerais primários) e realizado em água régia ($3\text{HCl}:\text{HNO}_3$) para a quantificação dos seguintes elementos: Ag, Al, Ba, Be, Ca, Ce, Cr, Cs, Fe, Ga, K, La, Mg, Mn, Na, Nb, P, S, Sb, Sc, Sn, Sr, Ta, Th, Ti, U, V, W, Y e Zr.

A abertura pseudo-total torna possível a análise tanto dos metais mais lábeis quanto os de menor mobilidade associados a óxidos de Fe e Mg, MO, sulfetos e alguns silicatos alterados, embora não seja uma metodologia adequada para a quantificação de elementos associados à rede cristalina de silicatos, uma vez que são mais resistentes ao ataque por água régia (RYAN et al., 2002). Dessa maneira, a abertura das amostras por água régia pode não promover a abertura total da amostra se, eventualmente, metais de interesse como Ca, K e Mg estiverem associados a rede silicatada.

O método é amplamente empregado na área ambiental na análise qualitativa e quantitativa de metais e metaloides em solos e sedimentos (RAURET et al., 2001; SANCHES-FILHO et al., 2015; FERREIRA DA COSTA & LEÃO, 2021).

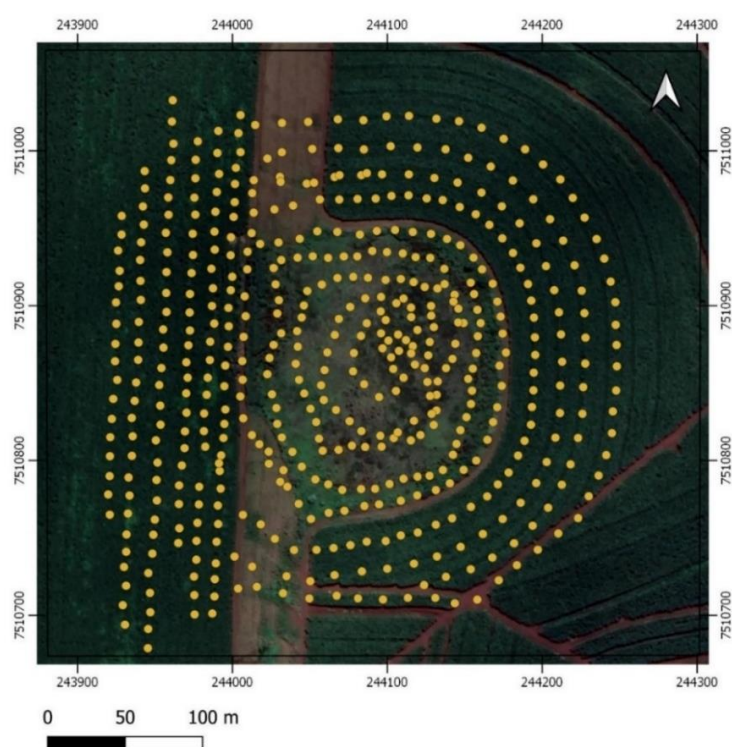
Em relação ao método geofísico da gamaespectrometria, foram obtidas 507 leituras superficiais com abrangência em todos os segmentos da AU, o que inclui seu centro e vertentes (Figuras 44 e 45). A análise teve como foco os elementos K, Th e U, cujos valores de concentração foram expressos em porcentagem (%) para o K e em partes por milhão (ppm) para Th e U, com um tempo de aquisição predefinido em 180 segundos (ŠIMÍČEK et al., 2012; NARDY et al., 2014). A conversão de contagens por segundo, nas janelas de energia definidas para o ^{40}K , ^{214}Bi e ^{208}Tl , para unidades de concentração foi automaticamente realizada pelo gamaespectrômetro modelo RS-332 da canadense Radiation Solutions, associado a um cristal cintilômetro do tipo BGO de 104 cm^3 e resolução FWHM inferior a 11,5%. Comparativamente, o cristal utilizado é capaz de atingir 80% da sensibilidade observada para um cristal NaI (Tl) de 350 cm^3 em virtude de sua alta densidade, com a vantagem de possuir melhores propriedades mecânicas e de resistência à umidade (ŠIMÍČEK et al., 2012).

O período de análise foi concentrado na estação seca, mais precisamente em duas campanhas de campo no mês de agosto de 2020, com o intuito de minimizar o efeito da

atenuação do sinal gama em condições de solo excessivamente úmidos, como seria de se esperar para a zona central da AU.

De modo complementar, foram realizadas 8 aquisições gama em um afloramento de diabásio da Formação Serra Geral localizado no km 01 da Rodovia dos Bandeirantes, distante cerca de 6 km da AU de estudo (ver figura 1). Tais medidas possuem a finalidade de estabelecer relações entre os radionuclídeos com posterior comparação aos dados obtidos no solo de alteração do diabásio do local de estudo. Independentemente do substrato analisado, o espectrômetro portátil foi posicionado de forma perpendicular à superfície do solo/rocha a fim de maximizar o contato e, conseqüentemente, as chances de interação entre as emissões gama com o cristal BGO.

Figura 44: Mapa de distribuição dos pontos de aquisição do método gamaespectrométrico terrestre. Número total de pontos: 507.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a análise da qualidade dos dados foi calculado o coeficiente de variação (CV) dos valores obtidos (BECEGATO et al., 2008; MIKAMI et al., 2015), em %, segundo a equação 24:

$$CV = \frac{\sigma \cdot 100\%}{Me} \quad (\text{Equação 24})$$

Onde Me representa a média aritmética dos valores obtidos em cada um dos pontos de análise e σ o desvio padrão associado.

Figura 45: Aquisição gamaespectrométrica nas vertentes da AU de estudo, em local de plantio de cana-de-açúcar (a) e soja (b), além de leituras em afloramento de diabásio inalterado da Fm. Serra Geral (c e d), localizado no km 01 da Rodovia dos Bandeirantes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A geração dos mapas de distribuição de eU , eTh , Ke e eU/eTh seguiu o mesmo processo de interpolação utilizado para os dados de Eletrorresistividade com a utilização da plataforma Oasis Montaj (Geosoft), pela qual os dados foram interpolados através do método da krigagem, seguido pela mínima curvatura para que fosse possível a suavização dos valores centrais em detrimento das extremidades.

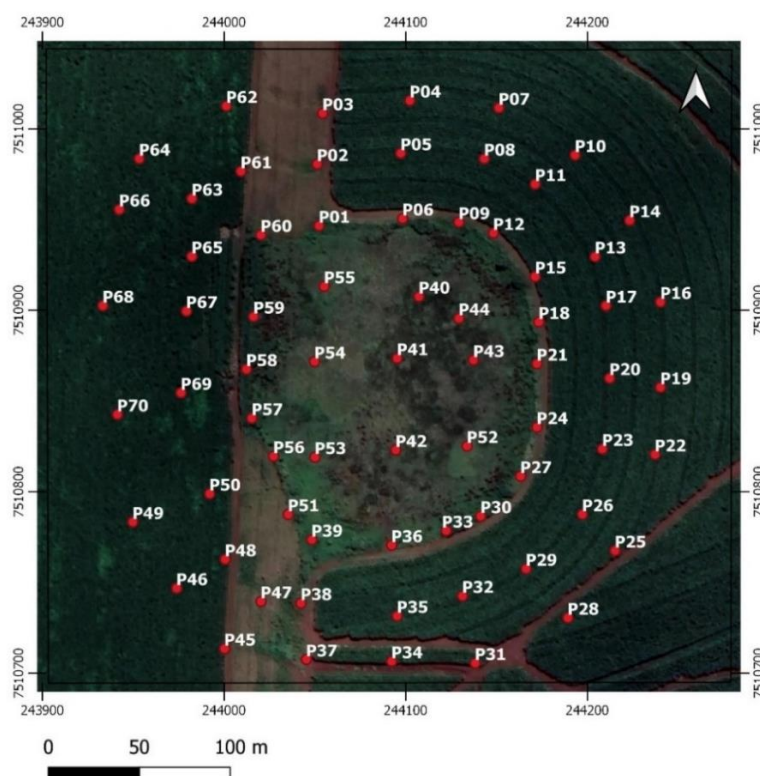
Os ensaios de condutividade hidráulica, por sua vez, foram realizados por meio do permeâmetro Guelph e compreenderam 70 pontos distribuídos uniformemente pela área de estudos, tanto no interior quanto nas vertentes da AU (Figura 46). A aquisição dos dados foi possível durante um período de 2 anos (2020-2021) e efetuada apenas durante a estação seca em virtude da impossibilidade de ensaios de condutividade hidráulica em solos saturados, como ocorre anualmente na AU de estudo ao longo da estação chuvosa. Posteriormente, os dados espaciais foram interpolados para geração de um mapa de condutividade hidráulica da área, onde o *software* utilizado foi o Oasis Montaj da Geosoft através do método da krigagem.

Como procedimento inicial e fundamental, a tradagem para a construção do furo padrão de 60 mm ($\sim 2,4''$) foi estabelecida em 50 cm de profundidade, com a utilização de um trado do tipo caneco para a retirada do solo, seguida pela utilização de um trado regulador com a função de adequação das dimensões do furo e, por fim, uma escova de aço para a descompactação das paredes do poço e a reabertura dos poros do solo (Figuras 47 e 48).

O método de carga dupla (*double head*) foi utilizado com base em valores de H1 e H2 de 5 e 10 cm, respectivamente. Um tempo de aproximadamente 20 minutos foi definido para a estabilização do sistema (regime permanente) antes do início da aquisição, cuja finalização foi dada pela obtenção de ao menos três repetições sequenciais da taxa de infiltração.

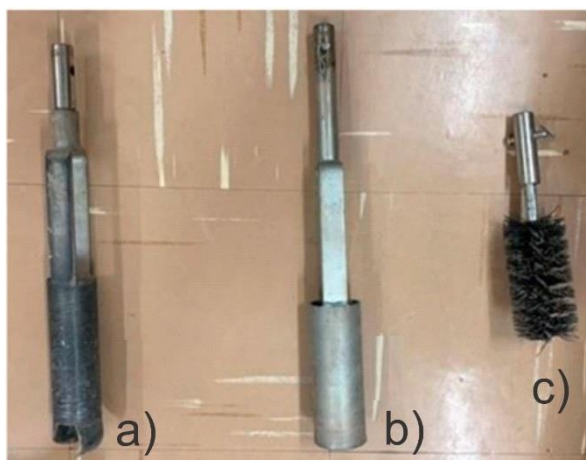
Leituras em solos altamente heterogêneos podem gerar valores de K_s fisicamente irreais ($K_s < 0$), o que contrariaria a fundamentação teórica do ensaio, uma vez que esta assume propriedades homogêneas do solo na base da instalação do permeâmetro. Embora alguns autores sugiram a adoção do método “*single head*” e o descarte dos dados negativos originados em campo pelo método de carga dupla (REYNOLDS et al., 1985; SOIL MOISTURE CORP., 2012), foi optado pela simples repetição do ensaio a poucos metros de distância do ponto anômalo, com a utilização de um novo furo.

Figura 46: Distribuição dos pontos de ensaio de condutividade hidráulica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 47: Trado tipo caneco (a); trado regulador da base do furo (b); e escova de aço (c).



Fonte: Pereira (2020)

Figura 48: Tradagem do furo de instalação do equipamento e o Permeômetro Guelph em operação no interior da AU.



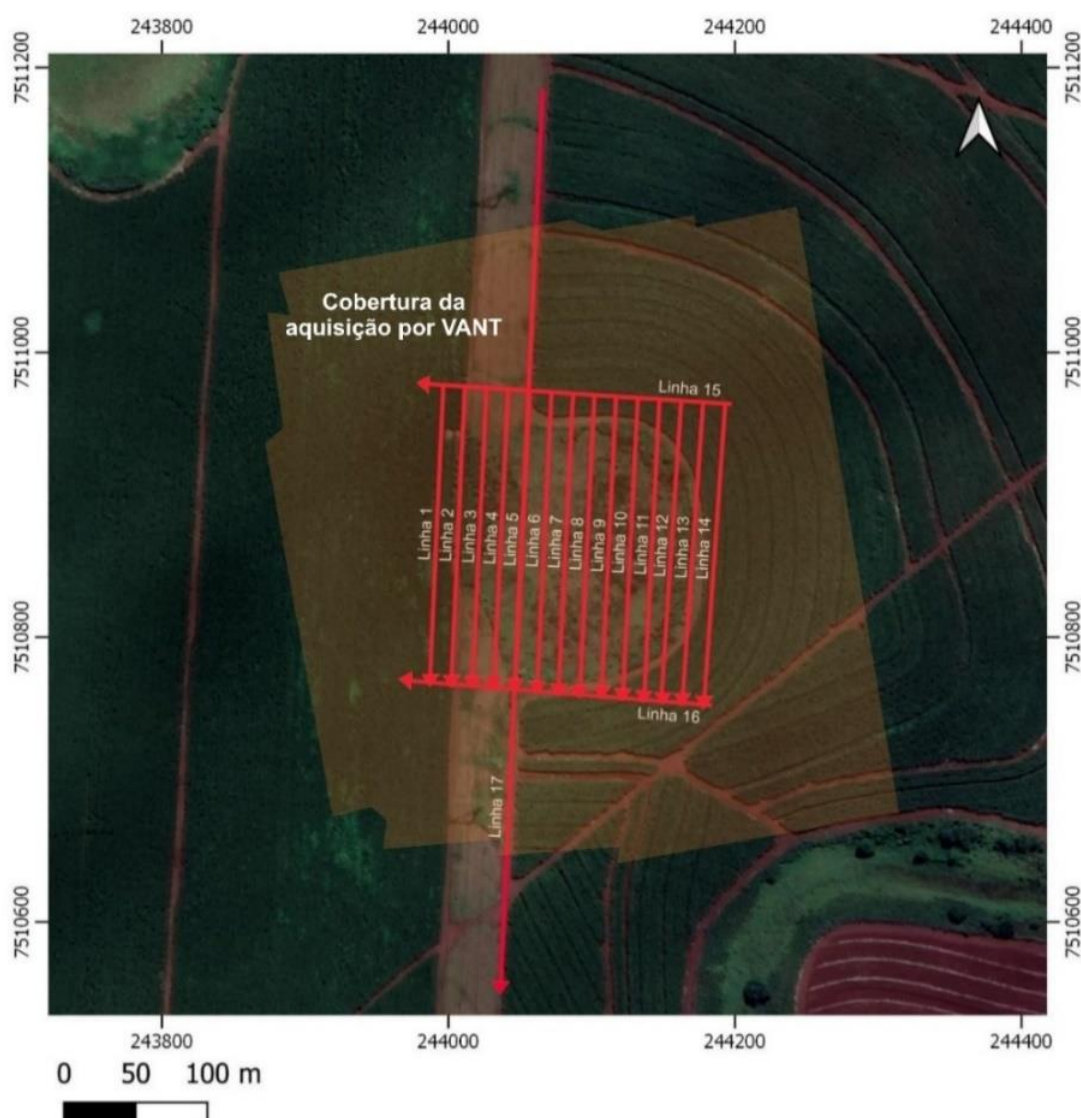
Fonte: Elaborado pelo autor.

No âmbito das aquisições geoeletricas, o método da Eletroresistividade foi aplicado na área através de 17 linhas de aquisição, de modo a cobrir a totalidade da porção central da AU com 16 linhas de 200 m cada, além de uma aquisição de 600 m, denominada linha 17, de orientação próxima N-S, com campanhas de campo realizadas em janeiro de 2020 (estação úmida) (Figuras 49 e 50). De modo complementar, o espaçamento entre eletrodos foi de 10 m e o equipamento utilizado foi o resistivímetro sueco Terrameter LS de fabricação da ABEM, com possibilidade de aquisições automáticas baseadas em configurações prévias (ABEM, 2012). Suas especificações são as seguintes: 84 canais, potência de 250 W, corrente máxima de

2,5 A e 1 mV de resolução (ABEM, 2012). Para a presente pesquisa, foi definida uma corrente de 1 A.

A etapa de inversão dos dados foi realizada pelo software Res2Dinv (Geotomo Software) com a geração de modelos de inversão, que são expressos em seções com base em suas variáveis distância e profundidade, além de apresentar seus valores convertidos em escala gráfica em razão logarítmica. Antes mesmo da inversão, foi necessária uma etapa de processamento que englobou a identificação de eventuais valores negativos de resistividade e a substituição destes pela média aritmética dos valores positivos vizinhos. O fator “topografia” também foi inserido ao modelo para que não houvesse distorções da seção gerada.

Figura 49: Localização das 17 linhas de aquisições de Eletrorresistividade realizadas na área de estudo, além da sobreposição do polígono de abrangência VANT. As setas das linhas indicam o sentido da origem da aquisição.

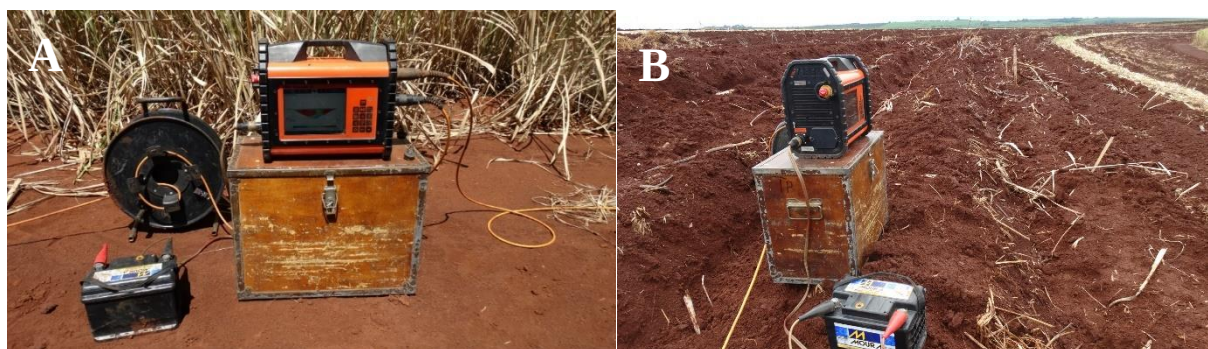


Fonte: Elaborado pelo autor.

A inversão dos dados foi baseada no ajuste matemático dos mínimos quadrados (*ordinary least squares* ou simplesmente OLS), responsável pela suavização de valores extremos e redução da discrepância entre os valores de resistividade elétrica medidos e modelados. De modo a avaliar a qualidade do modelo final, o parâmetro raiz média quadrática, ou RMS (do inglês, *root mean square*) quantifica a correspondência entre dados calculados, além da presença de valores extremos (GEOTOMO, 2003; CHULÈS & DELFINER, 2012).

As etapas para a obtenção dos *slices* em subsuperfície seguiram os mesmos princípios utilizados na área da prospecção mineral, com a utilização da plataforma Oasis Montaj (Geosoft), na qual os arquivos de planilhas foram carregados e os dados referentes às seções foram interpolados com base no já citado método da krigagem, seguido pela mínima curvatura para que fosse possível a suavização dos valores centrais em detrimento às extremidades. Através disso, a malha amostral utilizada, juntamente com critérios estatísticos, estabelece diferentes blocos para cada ponto do modelo 3D final, possibilitando a geração de mapas de profundidade a partir da seção do modelo em diferentes níveis.

Figura 50: Campanha de aquisição de dados de Eletorresistividade, com detalhe para o resistímetro (A) acoplado à linha de leitura.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados estruturais foram coletados no afloramento da Formação Serra Geral presente em corte de estrada na Rodovia dos Bandeirantes, o mesmo descrito na aquisição gama e localizado próximo à AU de estudo (Figura 51). Características pertinentes da rocha foram observadas e anotadas, como aquelas contidas em sistemas de avaliação da qualidade de maciços rochosos, a exemplo de Bieniawski (1979), haja vista que são informações também pertinentes ao estudo de fluxo de água em meio fraturado. Assim, os parâmetros levados em consideração foram: presença de preenchimento mineral das fraturas, grau de intemperismo da

rocha, presença de fluxo de água, espaçamento das descontinuidades, abertura, rugosidade das fraturas e persistência, além da orientação dos planos de descontinuidade da rocha.

Figura 51: Aspecto geral do afloramento de diabásio em corte de estrada e detalhes para as medidas estruturais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi utilizada uma bússola do tipo Brunton, com declinação de 20° para a região, na aquisição de 135 medidas estruturais. Os polos dos planos foram projetados em hemisfério inferior de estereograma gerado através do *software* OpenStereo 0.1.2 devel.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Caracterização hidrogeomórfica da AU

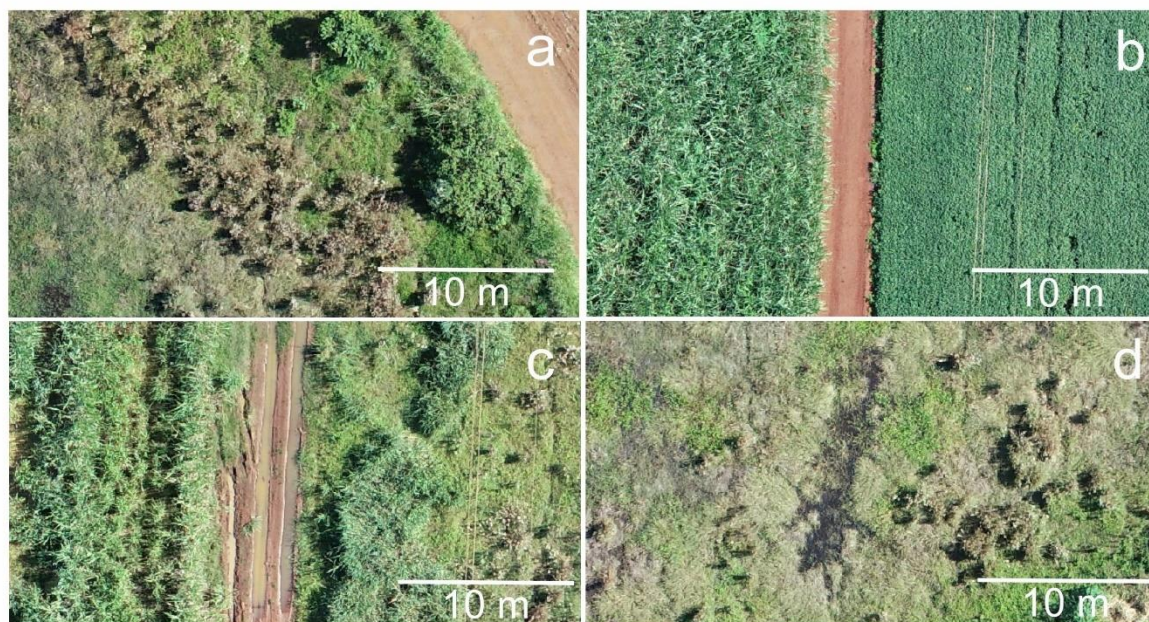
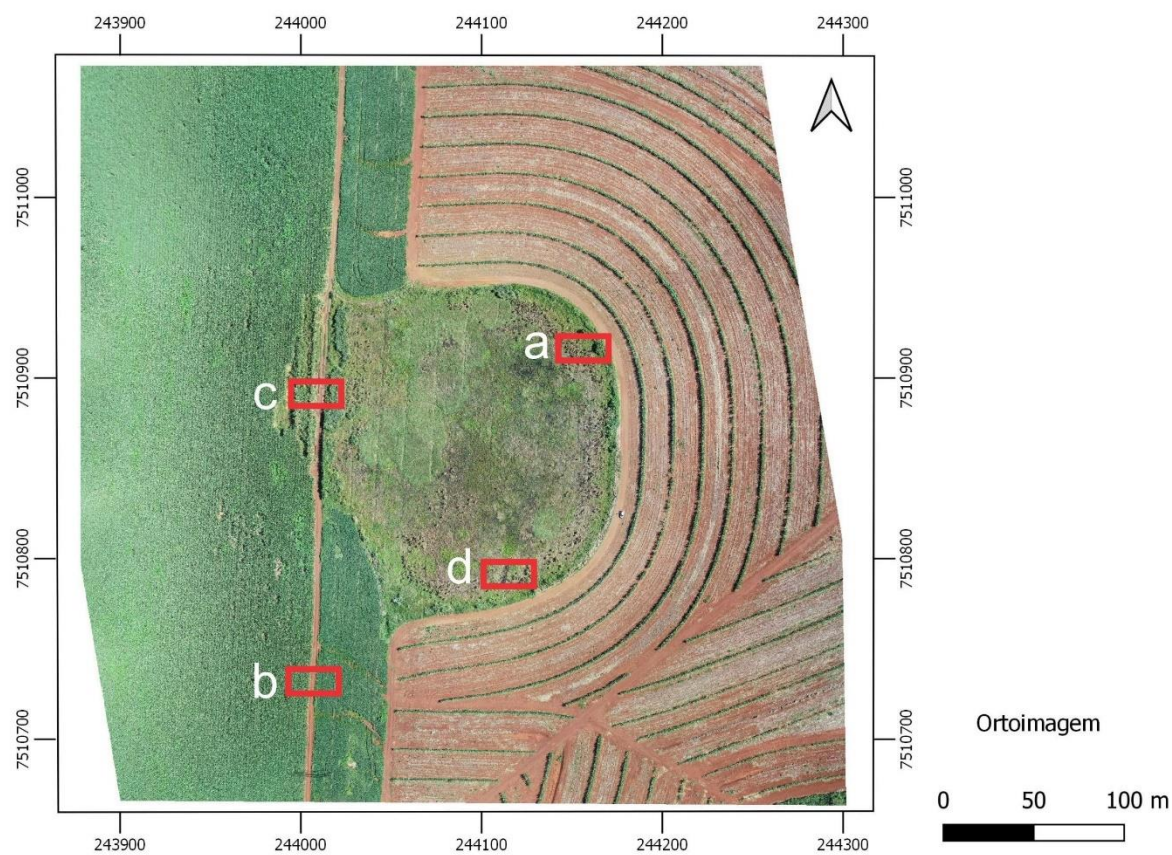
Após a etapa de processamento dos dados obtidos por VANT, um ortomosaico de alta resolução (2cm/pixel) foi gerado (Figura 52), criado a partir da combinação de três bandas (vermelha-verde-azul) com um tamanho de 13,142 x 13,568, o que representa uma área de 0,19 km². A imagem retrata, em alta definição, toda a área central da AU e entorno ocupado pela agricultura. De modo adicional, foi possível identificar a variabilidade da vegetação local, com as duas faixas verde a oeste ocupadas por lavouras de cana-de-açúcar e soja.

O modelo digital de elevação de alta resolução, por sua vez, foi gerado para auxiliar na compartimentação hidrogeomorfológica local, especialmente em termos de dinâmica hídrica superficial (FURLAN et al., 2021) (Figura 53). Assim, o estudo das AUGIs pode ser beneficiado com dados espaciais de alta resolução, sobretudo na análise de incertezas acerca da conectividade entre o sistema hidrogeológico e seu entorno. Uma vez que as funções hidrológicas em escala regional são relativamente bem documentadas em AU's não isoladas, as conectividades envolvendo sistemas de AUGI não são tão óbvias e demandam estudos complementares (TINER, 2003; MCLAUGHLIN et al. 2014), a exemplo da aquisição VANT.

Baseado na análise conjunta da ortoimagem e MDE gerados, três compartimentos superficiais foram estabelecidos e delimitados: i) AU atual, na qual a zona de alagamento sazonal é contida, ii) potencial área de domínio de alagamento e iii) vertentes (Figura 54). O termo “atual” foi inserido em razão da possível variação temporal das margens da AU em função de conversão do solo e/ou influência de mudanças climáticas, conforme será discutido neste trabalho.

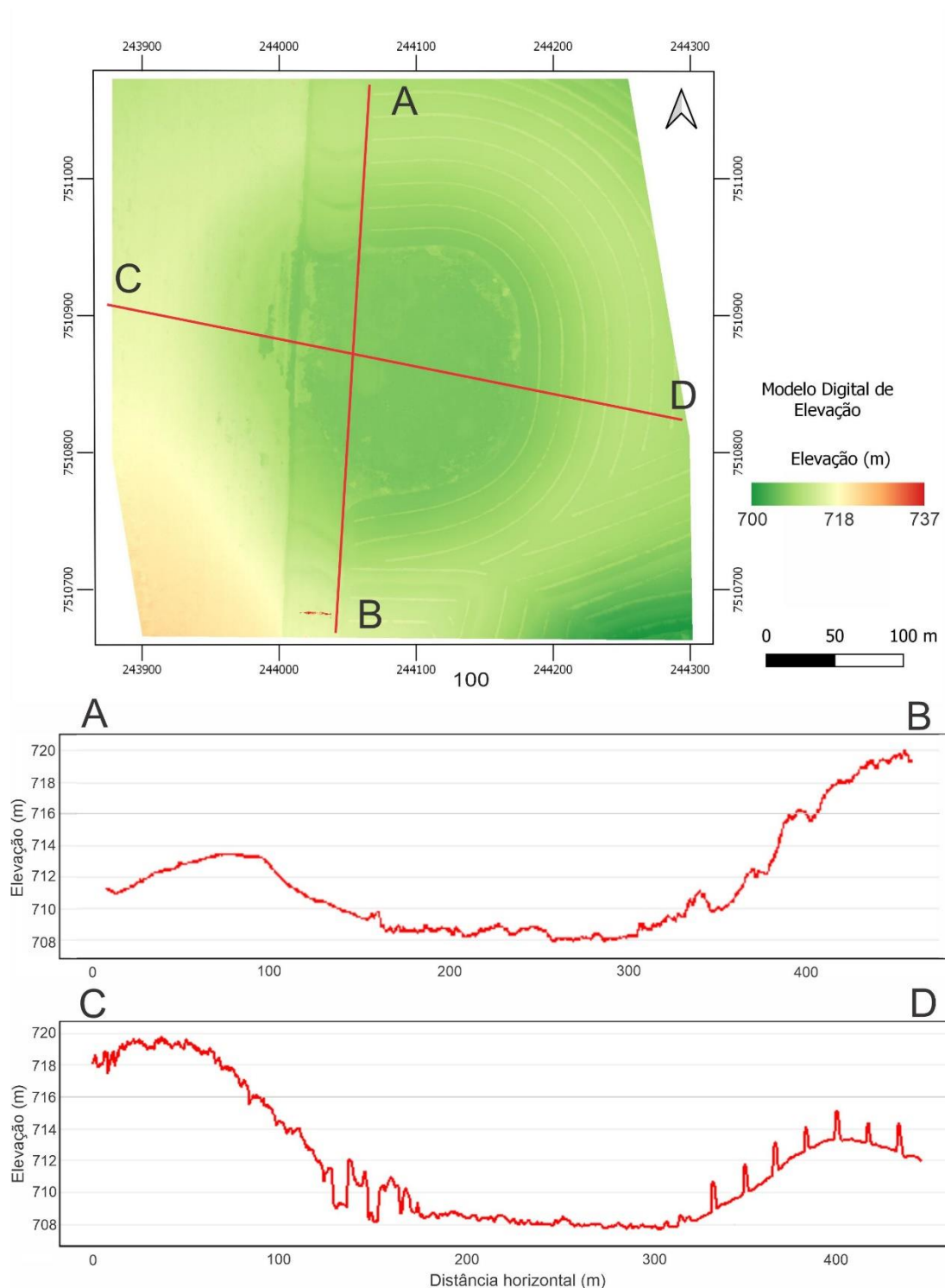
O compartimento da AU atual coincide com a depressão topográfica circular, caracterizada por uma área de 27.793,8 m², onde solos hidromórficos dominam pela influência direta da água pluvial e baixa profundidade do nível freático, o que torna os solos saturados por parte considerável do ano. Esta zona é reconhecida por vegetação de baixo porte a rasteira, com hidromorfia ativa caracterizada pela presença de horizontes superficiais de solo com alta concentração de matéria orgânica. Um sub-compartimento mais central onde foi observada a presença de água superficial por pelo menos seis meses ao longo do ano, foi definido como “zona de alagamento” e possui área total de 19.839,6 m² (Tabela 9). A faixa situada entre os limites da atual AU e sua área alagada será tratada aqui como “margem úmida”, cuja área, de 7.954,2 m² é a diferença entre os dois compartimentos supracitados.

Figura 52: Ortoimagem gerada pelo processamento de dados obtidos por VANT. No detalhe a variação da vegetação em função da variação da umidade do solo (a); cultivo de cana-de-açúcar (esquerda) e soja (faixa N-S central) (b); trecho de estrada alagado (c); e presença de água



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 53: Modelo Digital de Elevação gerado pelo processamento de dados obtidos por VANT e perfis topográficos associados. Perfis com sobrelevação de 10x.



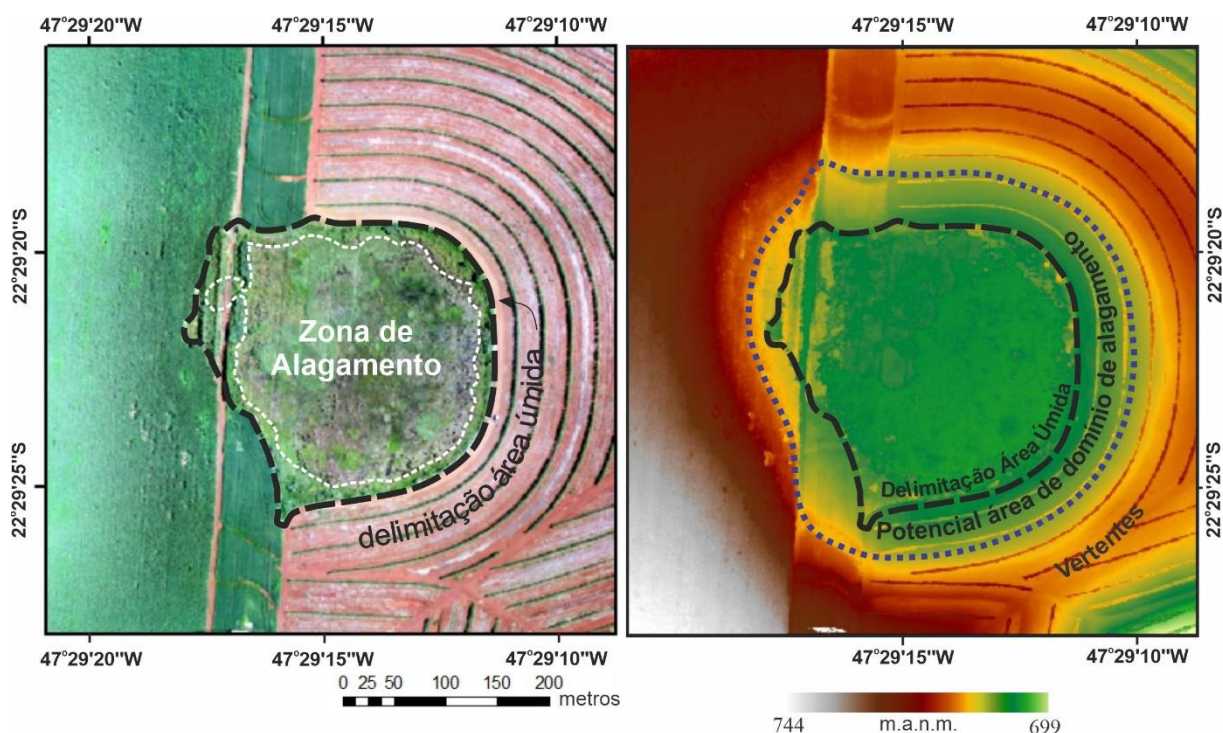
Fonte: Elaborado pelo autor.

A área de potencial de expansão da área alagada, por sua vez, abrange toda a região circunvizinha ao compartimento anterior e que também é caracterizada pela suavidade da

declividade e, de certa forma, denota uma continuidade da depressão topográfica (aproximadamente 713 m de altitude) para além dos limites da estrada, onde o escoamento superficial poderia ser concentrado em eventos pluviométricos anormais. Este compartimento, juntamente com as margens úmidas, é o mais crítico em termos de impactos ambientais, pois pode ser interpretado como uma faixa de amortecimento de alta vulnerabilidade em termos de conversão do uso do solo e de variações climáticas (retração ou expansão).

Por fim, as vertentes são as regiões circundam a AU na forma de um anfiteatro romano, onde nenhuma conectividade hídrica superficial pôde ser detectada, pelo menos nos padrões históricos locais de pluviosidade. Entretanto, é possível que a AU em questão evolua em termos morfológicos e de conectividade hídrica superficial à sudeste, em direção à sua drenagem mais proximal, haja vista o menor gradiente de elevação neste local (Figura 54).

Figura 54: Esquerda: delimitação da área de inundação e perímetro da AU. Os detalhes mostram detalhes da vegetação típica (majoritariamente *Brachiaria*) (1) presença de solos hidromórficos saturados (região em cinza escuro) (2). Direita: modelo digital de elevação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os impactos esperados e/ou observados para o ecossistema puderam ser definidos através desta compartimentação hidrogeomórfica associada aos produtos gerados pela aquisição VANT, em especial ao modelo tridimensional de terreno obtido pela sobreposição da ortoimagem aos dados de elevação (modelo TIN) (Figura 55). Nele foi possível delimitar áreas

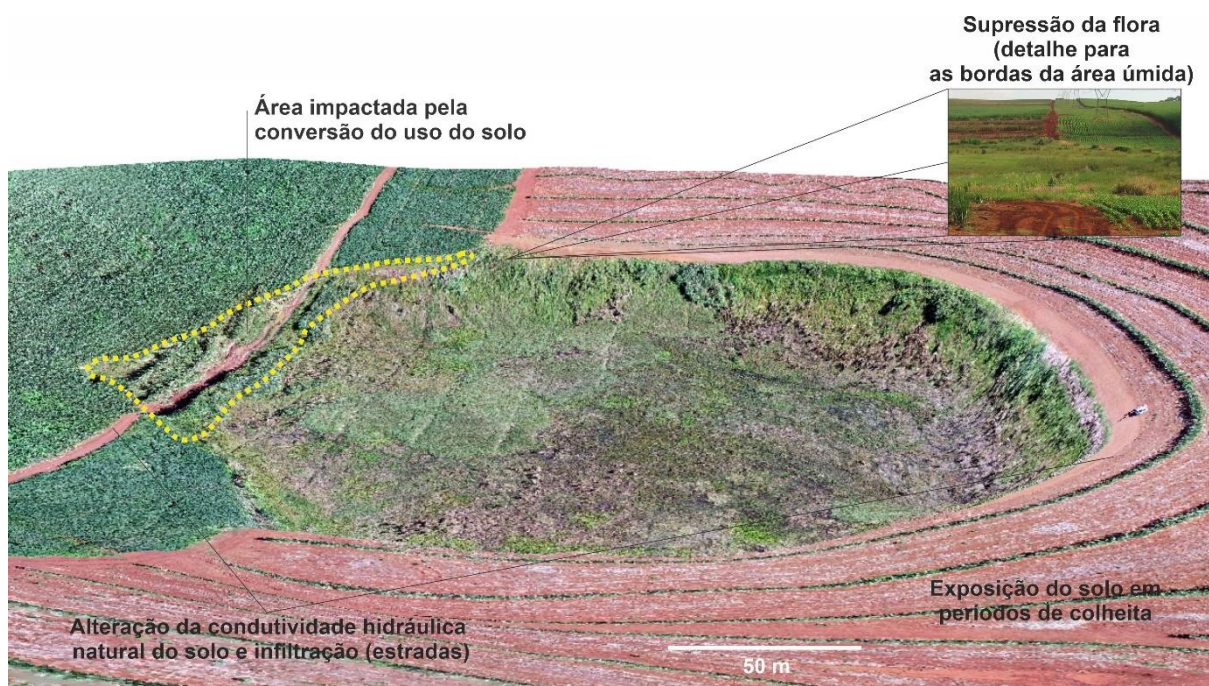
de impacto ambiental relacionadas à conversão do uso do solo em função do avanço do plantio de cana de açúcar e soja sobre as margens úmidas, com supressão da fauna e flora locais. Além da perda desta barreira vital para o aporte de sedimentação oriunda das vertentes (BALLUT-DAJUD et al., 2022), a construção de estradas altera de forma significativa as condições naturais de infiltração do escoamento superficial (que será tratado mais detalhadamente na forma de condutividade hidráulica), o que seria ainda mais um agravante ao processo de transporte de massa e agroquímicos para o interior da AU.

Tabela 9: Área e perímetro de cada componente hidrogeomórfico da AU de estudo.

	Atual Área Úmida	Zona de alagamento	Potencial área de domínio de alagamento
Área (m ²)	27.793,8	19.839,6	51.359,6
Área (km ²)	0,0277938	0,0198396	0,0513596
Área (ha)	2,77938	1,98396	5,13596
Perímetro (m)	676,495	597,177	828,755

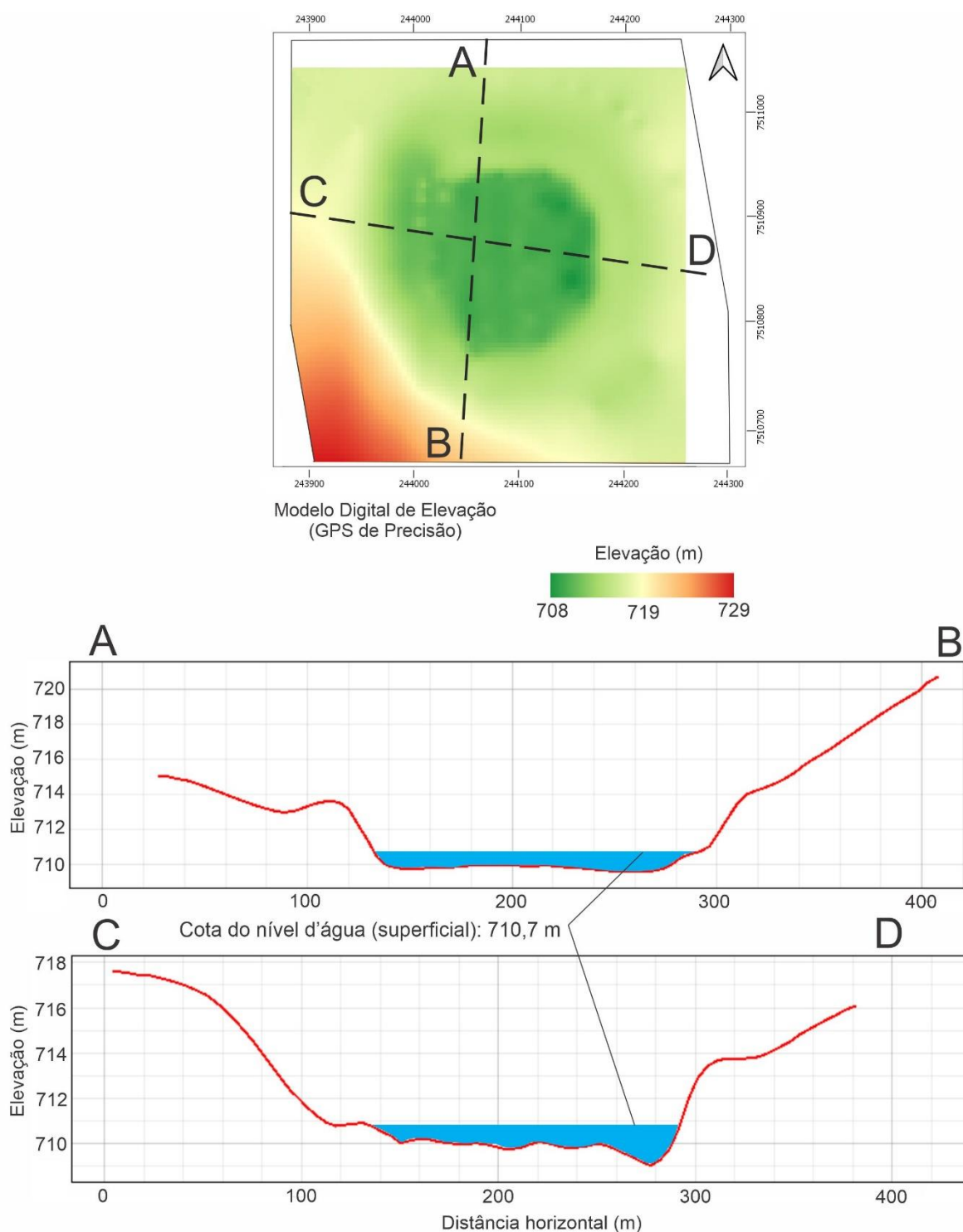
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 55: Modelo de Terreno 3D gerado pelo MDE (método TIN) com a ortoimagem VANT sobreposta. São indicadas na imagem áreas impactadas pela conversão do uso do solo (tracejado amarelo) em área agrícola e estradas, o que em tese confere em um desequilíbrio das condições naturais de infiltração e aporte de sedimentos. Modelo com sobrelevação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 56: Modelo Digital de Elevação gerado pelo processamento de dados obtidos pelo GPS de precisão e perfis topográficos associados. Perfis com sobrelevação de 10x.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Vale ressaltar ainda a natureza sazonal dos possíveis impactos mencionados, uma vez que tais processos tendem a se intensificar nos períodos após as colheitas, quando o solo agrícola permanece exposto e mais suscetível à erosão.

De modo complementar, o cálculo do volume armazenado pela AU durante o período úmido não foi possível através dos produtos VANT em virtude da interferência da vegetação no MDE (Figura 53). Desta maneira, um segundo MDE foi confeccionado com base nos dados de GPS (erro < 10 cm) (Figura 56), onde um volume total de 14.972,81 m³ de água foi obtido a partir da cota de 710,7 m no perímetro do sub-compartimento hidrogeomorfológico “zona de alagamento”, o que configura uma importante função ecossistêmica em termos de armazenamento de água doce e sua utilização pelo ecossistema local ao longo dos períodos de estiagem. Este valor foi calculado através da ferramenta “*Surface Volume*” da plataforma ArcMap/ArcScene.

7.2 Avaliação pedológica, geoquímica e hidrodinâmica superficial a subsuperficial rasa

As tradagens realizadas englobaram os pontos P01, P02, P03 e P04 no contexto das margens interiores da AU, além de um único ponto (P05) na região de vertente, em local de plantio de cana de açúcar. Este método de investigação direta teve como objetivo a descrição dos horizontes do solo e análises de cunho mineralógico (difratometria de raios-x) e químico (ICP-OES através do método de abertura pseudo-total).

De maneira geral, foram descritos perfis que variaram de 1 a 3,4 m de profundidade até a rocha inalterada, com horizontes predominantemente argilosos a silto-argilosos, o que seria de esperar para solos derivados de rochas básicas, como o diabásio da Formação Serra Geral. Foram descritos horizontes plínticos caracterizados pela presença de concreções de óxidos de Fe, o que denota variação sazonal do nível freático (umectação e dessecação) em termos de mudanças nas condições oxidantes e redutoras do meio (EMBRAPA, 2006), sobretudo nos pontos P01, P02, P03 e P04. Tais alternâncias estão diretamente relacionadas ao clima da região, que conta com verões úmidos (setembro a abril) e invernos secos (maio a agosto), o que reflete diretamente na oscilação da água subterrânea local e, conseqüentemente, no armazenamento hídrico nos domínios da AU. Ademais, a diminuição brusca da precipitação durante os meses de outono e inverno fazem com que as águas superficiais e subsuperficiais rasas armazenadas deixem o ambiente por evaporação direta e/ou evapotranspiração (HAYASHI et al., 2016).

Vale ressaltar que no perfil P05 os nódulos ferruginosos também estão presentes no nível saprolítico na forma de plintita, fato que evidencia a umectação/dessecação do solo sazonalmente provocada nas regiões além dos limites da atual AU, ao menos em nível

subsuperficial raso (0,6 m), e condizente com o compartimento hidrogeomórfico da “potencial área de domínio de alagamento”. No caso da dinâmica hídrica mais profunda, será discutido mais adiante sobre a ocorrência de fluxos em meio fraturado evidenciados pelo método geofísico da Eletrorresistividade.

Por fim, os horizontes saprolíticos apresentaram espessuras variáveis, que Chaplot *et al.* (2004) atribuem à influência direta das condições topográficas, hidrodinâmicas e geoquímicas do meio. Assim, todas as tradagens pararam ao alcançar o topo rochoso inalterado. Abaixo são descritos os cinco perfis de forma mais detalhada.

O perfil P01 apresentou quatro conjuntos de horizontes: (1) horizonte superficial argiloso de cor escura (2) horizonte bruno acinzentado com concreções ferruginosas (3) horizonte cinza com concreções ferruginosas e (4) horizonte saprolítico (Tabela 10).

Tabela 10: Descrição dos horizontes de solo do ponto de tradagem P01.

Intervalo de Profundidade	Descrição dos Horizontes P01
0-60 cm	Bruno muito escuro (7,5YR 2/5) a bruno acinzentado muito escuro (2,5Y 3/2) com manchas e poucas concreções ferruginosas (mm) vermelhas (2,5YR 4/8), argiloso a silto-argiloso, presença de muscovita (raras e < 0,5 mm), solto, grumoso, não plástico.
60-110 cm	Bruno acinzentado muito escuro (2,5Y 3/2) a bruno acinzentado (2,5Y 5/2) com concreções ferruginosas (20%) vermelhas escuras (10R 3/6) argilo-siltoso a silto-argiloso, maciço, compacto, não plástico.
110- 180 cm	Cinza (2,5Y 5/1), raras concreções ferruginosas vermelhas e ocre, argilo-siltoso a silto-argiloso, maciço, compacto, não plástico.
180- 220 cm	Saprolito bruno amarelado escuro (10YR 3/6), argilo-areno-siltoso com pequenos fragmentos de diabásio muito alterado, pegajoso, maciço, compacto.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Perfil P02 exibiu quatro conjuntos de horizontes: (1) horizonte superficial argiloso de cor escura (2) horizonte de coloração bruno oliva granular (3) horizonte bruno acinzentado com concreções ferruginosas e (4) horizonte cinza escuro (2,5Y 4/1) a bruno oliva escuro saprolítico (Tabela 11).

Tabela 11: Descrição dos horizontes de solo do ponto de tradagem P02

Intervalo de Profundidade	Descrição dos Horizontes P02
0-40 cm	Bruno avermelhado escuro (2,5YR 2,5/5), argiloso, solto, granular, não plástico.
40-50 cm	Bruno oliva (2,5Y 4/4), argilo-siltoso, solto, granular, não plástico.
50-140 cm	Bruno acinzentado (2,5Y 5/2) com concreções ferruginosas (30%) vermelhas escuras (10R 3/6), argilo siltoso, maciço com subestrutura granular, não plástico. A proporção de concreções ferruginosas diminui a partir de 100 cm e elas tornam-se mais friáveis e de coloração vermelho pálido (10R 6/4).
140-180 cm	Bruno oliva (2,5Y 4/3), argilo-siltoso, maciço, ligeiramente plástico.
180-280 cm	Cinza escuro (2,5Y 4/1) a bruno oliva escuro (2,5Y 3/3), silto-argiloso, concreções ferruginosas vermelhas (5%), maciço com estrutura saprolítica muito alterada, não plástico.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Perfil P03, por sua vez, foi descrito como três conjuntos de horizontes: (1) horizonte superficial argiloso de cor escura com pequenas concreções ferruginosas (2) horizonte cinza com concreções ferruginosas (3) horizonte marrom acinzentados escuro a cinza com estrutura saprolítica muito alterada (Tabela 12).

Tabela 12: Descrição dos horizontes de solo do ponto de tradagem P03.

Intervalo de Profundidade	Descrição dos Horizontes P03
0-20 cm	Bruno escuro (10YR 3/3), argiloso, granular, concreções ferruginosas (20%) vermelhas escuras (10R 3/6), não plástico.
30-140 cm	Cinza (2,5Y 5/1), argilo-siltoso, maciço com subestrutura granular, concreções ferruginosas (20 - 30%) vermelhas escuras (10R 3/6). A partir de 110 cm, o vermelho das concreções é mais pálido (10R 6/4).
140-280 cm	Marrom acinzentado escuro (2,5Y 4/2) a 7 cinza escuro (5Y 4/1), poucas concreções ferruginosas (< 5%), silto-argiloso, maciço com subestrutura granular e estrutura saprolítica muito alterada com raros fragmentos de rocha (< 1 cm) friável.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Perfil P04 apresentou quatro conjuntos de horizontes: (1) horizonte superficial argiloso de cor escura (2) horizonte bruno oliva com concreções ferruginosas (3) horizonte bruno acinzentado, argilo-siltoso, maciço com subestrutura granular e poucas concreções

ferruginosas (4) horizontes saprolítico bruno oliva claro (2,5Y 5/4) a bruno amarelado escuro com presença de matriz cinza esverdeada muito escura de caráter silto-argilo-arenoso (Tabela 13).

Tabela 13: Descrição dos horizontes de solo do ponto de tradagem P04.

Intervalo de Profundidade	Descrição dos Horizontes P04
0-40 cm	Bruno escuro (2,5YR 3/3), argiloso, granular, concreções ferruginosas (< 5%) vermelhas (2,5YR 4/6) friáveis, não plástico.
40-80 cm	Bruno oliva (2,5Y 4/3), argilo-siltoso, maciço com subestrutura granular, concreções ferruginosas (~10 %) vermelhas (2,5YR 4/6), pouco plástico.
80- 160 cm	Bruno acinzentado (2,5Y 5/2), argilo-siltoso, maciço com subestrutura granular, concreções ferruginosas (~ 5 %) vermelhas (2,5YR 4/6), pouco plástico.
160-200 cm	Cinza escuro (2,5Y 4/1), argilo-siltoso a silto-argiloso, maciço com subestrutura granular, pouco plástico.
200-340 cm	Bruno oliva claro (2,5Y 5/4) a bruno amarelado escuro (10YR 4/6) argilo-siltoso a silto-argiloso, maciço com estrutura saprolítica muito alterada no topo e relativamente mais preservada na base. A partir de 280 cm de profundidade, camadas de argila cinza esverdeada muito escura (GLEY 5G 3/3,1) com volumes muito duros (mm). Esta matriz torna-se predominante entre 320-340cm de profundidade. Silto-argilo-arenoso, estrutura saprolítica com pequenos fragmentos de rocha alterada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Perfil P05, por fim, exibiu apenas três conjuntos de horizontes: (1) horizonte superficial argiloso, agrícola (2) horizonte vermelho com volumes ocre e vermelho mais vivo (3) horizonte saprolítico muito alterado comportando volumes vermelho, amarelo e cinza oliva, argilo-siltoso (Tabela 14).

Tabela 14: Descrição dos horizontes de solo do ponto de tradagem P05.

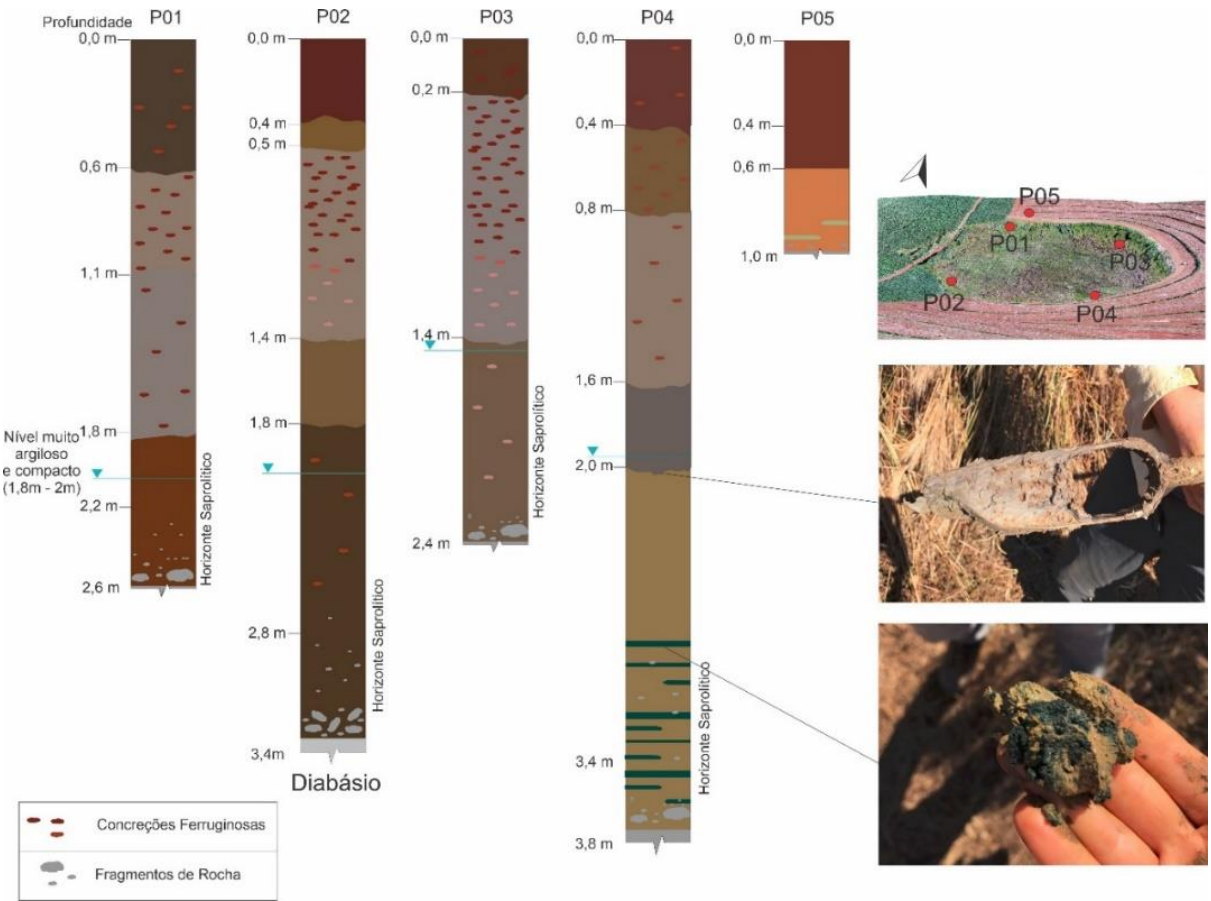
Intervalo de Profundidade	Descrição dos Horizontes P05
0-40 cm	Horizonte agrícola, homogêneo, bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/4), argiloso, granular, muito coeso.
40-60 cm	Horizonte bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/4) associado com volumes vermelho claro (2,5 YR 6/8) e amarelo-avermelhado (5YR 6/8), argiloso a argilo-siltoso, pegajoso, cerosidade, muito coeso quando seco.

60-100 cm	Horizonte saprolítico muito alterado composto por volumes vermelhos claro (2,5 YR 6/8), vermelho-amarelado (5YR 5/8), amarelo avermelhado (7,5YR 6/8) e lentes cinza esverdeado (5Y 5/2), argilo-siltoso, friável, pouca mica, pequenos volumes de feldspato alterado branco, e raros nódulos ferruginosos arredondados (< 1 mm) muito duros.
-----------	---

Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 57 resume as informações apresentadas na forma de perfis esquemáticos de solo da área. Em profundidades próximas a 1,8 a 2,0 m foi constatada a presença de níveis argilosos bastante compactos que, de certa forma, criam zonas saturadas acima do nível freático local.

Figura 57: Perfil esquemático dos cinco perfis de solo analisados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A seleção das amostras para os difratogramas (Tabela 15) tiveram como referência horizontes similares. Assim, o P03 não foi contemplado na análise em virtude de seus horizontes já serem representados por amostras de outros pontos de coleta. Os dados

mineralógicos são qualitativos, porém seguem a ordem de contagem (intensidade) dos picos dos difratogramas que, por sua vez, são apresentados no Apêndice III.

No perfil P01, o mineral predominante é o quartzo (SiO_2), com os plagioclásios albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) e andesina ($(\text{Ca},\text{Na})(\text{Al},\text{Si})_4\text{O}_8$) representados por picos pouco intensos e apenas nos horizontes saprolíticos, onde também foram detectados os únicos sinais referentes à calcita (CaCO_3) e calcopirita (CuFeS_2). A primeira geralmente se forma como precipitação nas fraturas do diabásio da Formação Serra Geral, em como preenchimento de vesículas (MACHADO et al., 2005) ou em locais onde ocorre a dissolução do piroxênio, enquanto a calcopirita tem a sua formação relacionada às condições redutoras do ambiente, que favorecem a liberação de enxofre (CERVI et al., 2021).

Tabela 15: Composição mineralógica obtida por difratometria de raios X para os horizontes representativos. A ordem de espécies minerais apresentada reflete a contagem do(s) respectivo(s) pico(s) no difratograma gerado (ver apêndice III).

Perfil/Profundidade	Composição Mineralógica
P01	
0-60 cm	Quartzo, caulinita/haloisita, gibbsita, goethita, hematita, cristobalita, anatásio, clorita, ilmenita, montmorilonita-clorita, nontronita,
60-100 cm	Quartzo, caulinita/haloisita, gibbsita, goethita, hematita, cristobalita, anatásio, clorita, ilmenita, montmorilonita-clorita, nontronita,
100-180 cm	Quartzo, caulinita/haloisita, gibbsita, goethita, hematita, cristobalita, anatásio, clorita, illita, ilmenita, montmorilonita-clorita, nontronita, lepdocrocita, albita, andesina
180-220 cm	Quartzo, caulinita/haloisita, goethita, hematita, cristobalita, anatásio, clorita, lepdocrocita, albita, calcita, calcopirita
P02	
0-40 cm	Quartzo, caulinita/haloisita, goethita, hematita, cristobalita, anatásio, clorita, ilmenita
50-140 cm	Quartzo, caulinita/haloisita, goethita, hematita, cristobalita, anatásio, clorita, ilmenita.
180-280 cm	Quartzo, caulinita/haloisita, goethita, hematita, cristobalita, anatásio, clorita, muscovita, rutilo, ilmenita, montmorilonita-clorita, lepidocrocita, andesina
P04	
0-40 cm	Quartzo, caulinita/haloisita, goethita, hematita, cristobalita, anatásio, clorita, rutilo, ilmenita
200-340 cm	Quartzo, caulinita/haloisita, goethita, hematita, cristobalita, anatásio, illita, clorita, muscovita, rutilo, ilmenita, montmorilonita-clorita, lepidocrocita, nontronita, albita, andesina
P05	
0-20 cm	Quartzo, caulinita/haloisita, gibbsita, goethita, anatásio, illita, clorita, celadonita, rutilo, ilmenita, montmorilonita-clorita
60-80 cm	Quartzo, caulinita/haloisita, goethita, gibbsita, anatásio, illita, clorita, celadonita, rutilo, ilmenita, montmorilonita-clorita

Fonte: Elaborado pelo autor.

Rochas básicas, como o diabásio, são altamente suscetíveis à degradação em condições de superfície em virtude da abundância de minerais como piroxênios, anfibólios, olivinas e plagioclásios, o que resulta em um intemperismo relativamente rápido (GUIMARÃES et al., 2021) e formação de perfis espessos compostos por camadas de saprólito e solos ricos em argila e óxidos, conforme puderam ser observados nos perfis descritos.

A clorita (grupo de filossilicatos de fórmula geral $(\text{Mg,Fe})_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot (\text{Mg,Fe})_3(\text{OH})_6$), como argilomineral secundário, está presente em todos os perfis e é resultado da alteração de silicatos magnesianos, como olivinas, piroxênios e plagioclásios, que são os minerais mais abundantes e facilmente alteráveis no diabásio. A olivina é o mineral que sofre alteração inicial na fase de intemperismo, seguida pelos plagioclásios e piroxênios. A clorita apresenta características distintas, como a substituição iônica entre íons de ferro (Fe^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), enquanto a quantidade de íons de alumínio (Al^{3+}) nos sítios octaédricos varia de 10% a aproximadamente 33%, e a substituição nos sítios tetraédricos varia de 0% a 50% (VELDE, 1995).

O Fe tende a formar óxidos e óxidos hidratados, a exemplo da goethita (α FeOOH) e lepidocrocita (γ FeOOH) presentes em praticamente em todos os perfis de solos amostrados, em virtude do meio óxido-redutor com acúmulo de água em solos ainda jovens (CURI & FRANZMEIER, 1984). A Hematita (Fe_2O_3), por sua vez, também é encontrada na maioria das amostras, porém a pouca intensidade de seus picos nos difratogramas denota baixas concentrações do mineral em razão da deficiência de drenagem do solo. Todavia, as análises por difratometria nos horizontes do perfil P05, situado na região de vertente, não apontaram para a presença de hematita.

Os argilominerais do grupo das esmectitas podem ser formados por transformação através da dissolução da clorita, que está presente nos perfis, ou serem gerados através de soluções ricas em Si, Mg e Fe em solos provenientes de rochas básicas com moderada dessilicificação e pouca lixiviação (VELDE & MEUNIER, 2008). A ocorrência generalizada de montmorilonita ($((\text{Na,Ca})_{0,3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O})$), um argilomineral 2:1 expansível do grupo das esmectitas dioctaédrais e caracterizada pela substituição do Al^{3+} pelo Mg^{2+} nos sítios octaédricos, é condizente com solos de drenagem deficiente (VELDE, 1995), principalmente como ocorre no interior do perímetro da atual AU.

Um aspecto interessante é a presença deste argilomineral ao longo de todo o perfil P05, fato este que contribui ainda mais para a hipótese de encolhimento da AU por conversão do uso do solo pela agricultura, haja vista que a montmorilonita neste caso seria um mineral reliquiar indicativo de condições pretéritas de drenagem limitada. Este fato torna a hipótese da influência

de mudanças climáticas menos plausíveis na redução do perímetro das margens úmidas ao longo do tempo.

Por outro lado, apesar do alagamento periódico do solo, a intensidade da alteração em razão do clima quente e esvaziamento da área úmida nos períodos secos certamente contribuem significativamente para a intensificação do intemperismo e pedogênese. Um exemplo deste processo é a presença de gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$) que não está presente apenas no nível saprolítico mais profundo, principalmente no P01 e P02, e os argilominerais cauliníticos, representados pela associação caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) e/ou haloisita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), também presentes em todos os horizontes. Por outro lado, é possível que uma fração da gibbsita e caulinita encontradas nos horizontes mais superficiais das amostragens nas bordas interiores da AU (P01, P02, P03 e P04) sejam provenientes das regiões de vertentes através de transporte coluvionar, haja vista o pico mais intenso da gibbsita no P05 onde condições um pouco melhores de drenagem do solo, em tese, acarretariam em reações de hidrólise mais eficientes (VELDE & MEUNIER, 2008). Assim, a composição mineralógica no P05 reflete grau incompleto de alteração e pedogênese, onde a associação entre minerais primários e argilominerais secundários 2:1 e 1:1 é dominante com destaque para a presença da gibbsita no horizonte superior do perfil e indicativo de maior grau de lixiviação (diminuição da relação Si/Al) na superfície do solo.

Nos perfis P02 e P04 a composição mineralógica é similar exceto pela ausência da gibbsita, indicativo de alteração menos intensa. Merece destaque a presença de nontronita ($((\text{CaO}_{0.5}, \text{Na})_{0.3}\text{Fe}^{3+}_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O})$) argilomineral 2:1 expansível do grupo das esmectitas dioctaedrais, especialmente na profundidade de 200 a 340 cm do perfil P04. São argilas que apresentam os sítios octaedrais ocupados pelo Fe^{3+} e substituição do Si por Al nos sítios tetraédricos (AZEVEDO & VITAL-TORRADO, 2009), possuem coloração verde e são comuns em solos derivados de basalto e diabásio. A illita, por sua vez, é proveniente da lixiviação do K^+ resultante da dissolução da muscovita ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$) e encontrada em vários horizontes dos perfis analisados.

A ilmenita (FeTiO_3), por fim, é um óxido primário que geralmente compõe a fração areia do solo e é encontrada no perfil, exceto no horizonte mais profundo, onde também foi observada a presença de anatásio (TiO_2), um mineral secundário de titânio.

Do ponto de vista químico, as análises químicas pseudo-totais apontaram para valores abaixo do limite de quantificação para os seguintes elementos em todas as amostras de solo analisadas: Ag (< 1ppm), As (< 5 ppm), B (< 10 ppm), Be (< 1 ppm), Bi (< 10 ppm), Cd (< 1 ppm), Na (< 0,01%), Sb (< 5 ppm), Se (< 10 ppm), Sn (< 10 ppm), Tl (< 10 ppm), U (< 10

ppm), e W (< 10 ppm). As figuras 58 e 59 mostram os gráficos de concentração segundo os diferentes horizontes analisados nos pontos de trading P01, P02, P04 e P05.

De acordo com os valores orientadores para solo e água subterrânea no estado de São Paulo (CETESB, 2021), dos elementos potencialmente tóxicos que apresentaram valores acima do limite de quantificação, Pb, Cr, Mo e Ni exibiram concentrações abaixo do valor de referência de qualidade (VRQ) em todos os horizontes analisados, enquanto apenas uma amostra do horizonte saprolítico do P02 resultou em valor superior ao VRQ para Ba, porém abaixo do valor de prevenção (VP). Em contrapartida, para o Co foi observada uma amostra acima do valor de intervenção (VI) para solos agrícolas (nível saprolítico do P04), enquanto o Cu apresentou a maioria de seus valores, tanto em horizontes superficiais quanto no saprolito, na faixa entre o VP e VI para solos agrícolas. De maneira geral, com base nos dados orientadores de CETESB (2021) e resultados químicos obtidos, é possível dizer que os horizontes superficiais dos solos da área de estudos não são considerados contaminados para fins agrícolas, residenciais ou industriais, para nenhum dos metais quantificados.

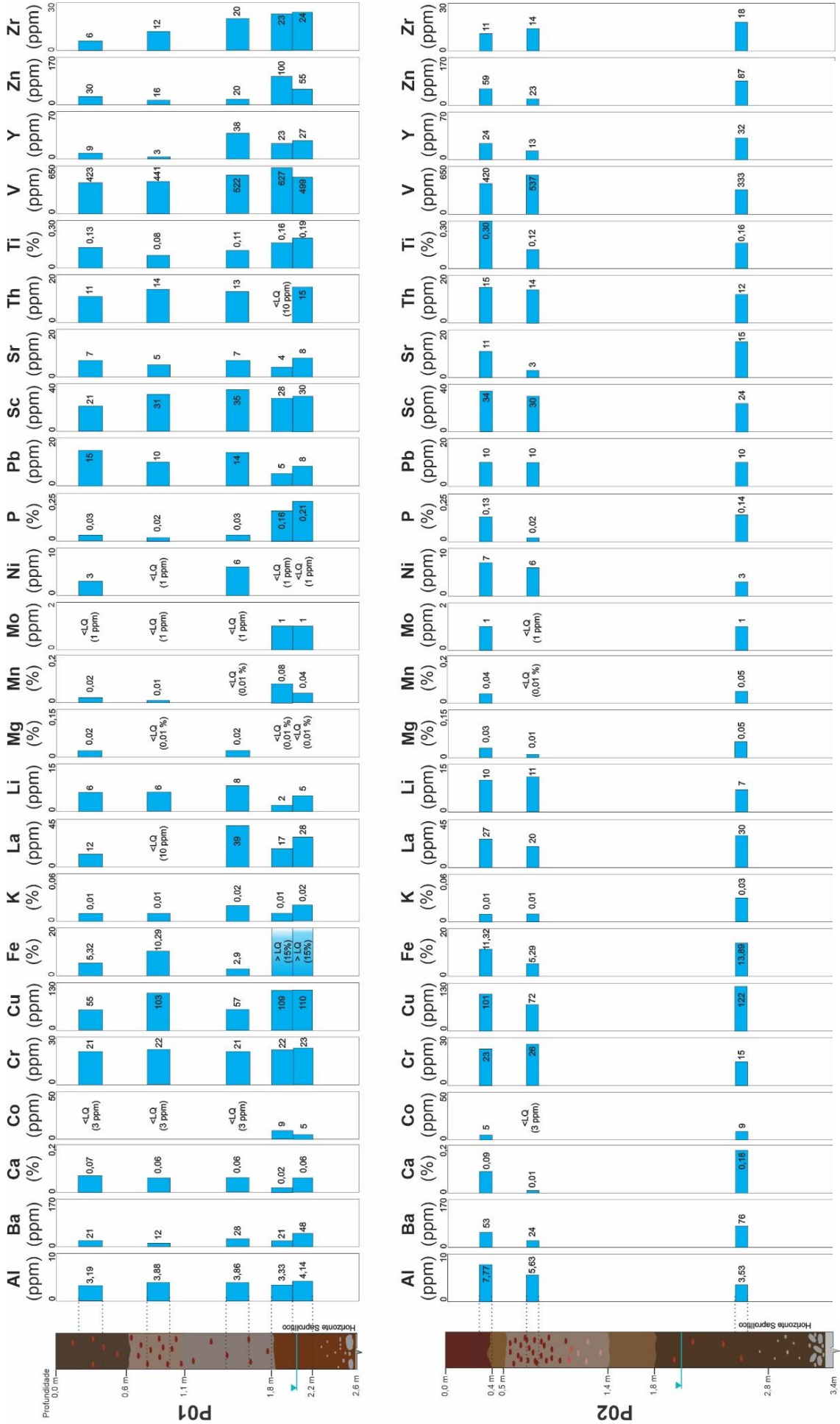
No perfil P01, foi observada uma certa tendência de aumento de concentração nos horizontes mais profundos (saprolito) para os metais Ba, Cu, Fe, La, Mn, Mo, P, V, Y, Zn e Zr, enquanto no P02 a mesma predisposição seguiu para o Ba, Ca, Co, Cu, K, Y, Zn, Zr. O perfil P04, por sua vez, apresentou o nível saprolítico relativamente mais enriquecido em Ba, Ca, Co, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, P, Sc, Sr, Ti, V, Y, Zn e Zr e o P05 nos metais Cu, V, Zr.

O inverso foi observado para o Pb no P01, que apresentou concentrações mais elevadas do metal nos horizontes mais superficiais. O mesmo ocorreu para o Al, Cr, Li, Ni, Sc, Th, Ti e V no P02, para o Cr e Pb no P04 e para o Ca, Co, Mg, Mn, Ni, P e Sr no P05.

No perfil P01 as concentrações dos metais analisados ficaram relativamente constantes em todos os horizontes para o Al, Ca, Cr, K, Sc, Sr, Th e Ti, para o Fe, La, Mg, Mn, Mo, P, Pb e Th no P02, para o Al e Li no P04 e, finalmente, para o Al, Cr, Fe, La, Li, Mo, Pb, Sc, Th e Y no perfil P05.

A retenção de cátions metálicos pelo solo ocorre por meio de vários processos físico-químicos já mencionados, em especial a adsorção através de coloides, como argilas, óxidos de ferro e matéria orgânica (complexação com ácidos húmicos e fúlvicos). Esses coloides possuem cargas negativas, chamadas cargas superficiais, que atraem e retêm os cátions metálicos (VELDE & MEUNIER, 2008). Dentre as espécies minerais descritas com essa propriedade, os óxidos/hidróxidos como hematita, goethita e gibbsita se destacam, enquanto nos argilominerais a montmorillonita é a espécie com maior capacidade de troca catiônica, seguida da illita e caulinita.

Figura 58: Análises químicas dos perfis de solo P01 e P02 em função dos horizontes amostrados.



Elaborado pelo autor

Figura 59: Análises químicas dos perfis de solo P04 e P05 em função dos horizontes amostrados.



Elaborado pelo autor

Assim, é provável que a concentração destes minerais e da matéria orgânica no solo desempenhe um papel fundamental na retenção dessas espécies metálicas e consequentemente de sua variabilidade no ambiente pedológico. Outro ponto de interesse reside no fato de que elevadas concentrações de determinados metais podem estar associadas aos horizontes de neoformação mineral, como ocorre no horizonte saprolítico do P01 enriquecido em Fe e Cu, exatamente onde foram detectados os picos referentes à presença de calcopirita em ambiente redutor. Outro exemplo reside nos perfis P02 e P04 e a relação positiva entre Mg e Fe e a presença de montmorilonita no horizonte saprolítico.

No perfil P05 que compreende um solo agrícola relativamente raso, a distribuição das concentrações da maioria dos metais é relativamente homogênea nos dois horizontes descritos, embora alguns macronutrientes como Ca, K, Mg e P apresentem concentrações maiores nos níveis mais superficiais possivelmente pela influência da fertilização. Em relação aos metais pesados, é possível que exista uma relação positiva entre os horizontes mais argilosos e as concentrações relativamente maiores do Pb em superfície, porém o mesmo não foi observado nos demais pontos.

Os resultados obtidos pelo método gamaespectrométrico apontaram para concentrações de K que variaram de 0,03 a 0,2%, com média de 0,082% e mediana de 0,078% (Tabela 16), embora cerca de 8% dos pontos de análise resultaram em valores abaixo do limite de detecção do aparelho. Em contrapartida, eU e eTh não apresentaram valores abaixo do limite de detecção, com abrangência de 1,28 pmm a 2,83 ppm e 6,94 ppm a 11,43 ppm, respectivamente. Neste caso, o eU resultou em um valor médio de 2,02 ppm e mediana de 2,01 ppm, enquanto o eTh indicou média e mediana de 9,55 ppm e 9,57 ppm, respectivamente.

Tabela 16: Valores máximos, mínimos, média e mediana obtidos para K (desconsiderando os dados abaixo do limite de detecção), eU e eTh na AU de estudo.

	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média	Mediana
K (%)	0,03	0,19	0,08	0,08
U (ppm)	1,28	2,83	2,02	2,01
Th (ppm)	6,94	11,43	9,55	9,57

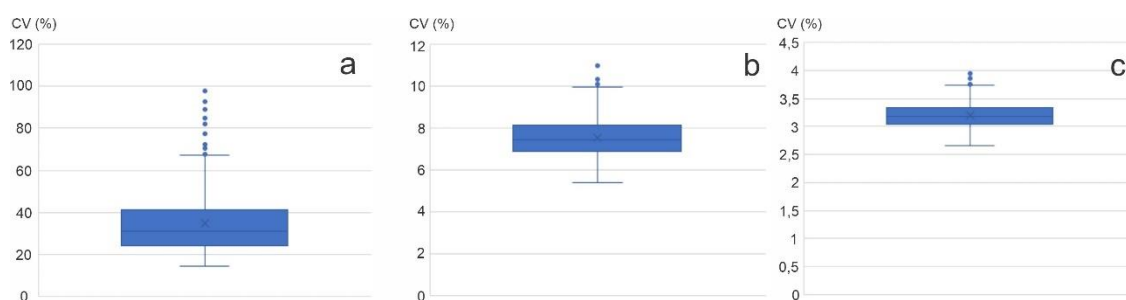
Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 60 representa os diagramas *boxplot* com base em valores de CV para K, eU e eTh, onde é possível notar o K como o elemento detentor da maior dispersão de valores, enquanto o tório mostrou a menor, com CV máximo inferior a 4%.

Embora a utilização do CV como forma de avaliação da qualidade dos dados seja muito relativa, foi estabelecido um valor máximo de 10% tanto para o eU quanto para o eTh na etapa de interpolação da variável concentração, dos quais apenas cinco pontos de análise (descartados) superaram esse limite para o eU. Todavia, o diagrama *a* da figura 60 indicou valores extremamente elevados de CV gerados para o K, com valores mínimo e máximo de 14% e 100%.

Para nortear a qualidade dos dados de K, uma solução adotada foi a interpolação dos valores de CV referentes ao elemento, com a geração de um mapa do coeficiente. Conforme mencionado, a etapa de interpolação dos dados foi realizada com o auxílio do *software* Oasis Montaj da Geosoft através do método da krigagem (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

Figura 60: Diagramas boxplot para os coeficientes de variação referentes às leituras gama para K (a), U (b) e Th (c).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como meio de avaliação adicional do tempo de aquisição adotado, foi realizado um teste no solo do interior da AU com base em leituras de 120, 180, 300, 600 e 900 segundos (Figura 61), onde os tempos superiores a 180 segundos não foram associados a CV's significativamente menores. Assim, o tempo de aquisição de 180 segundos foi confirmado como a melhor relação custo-benefício.

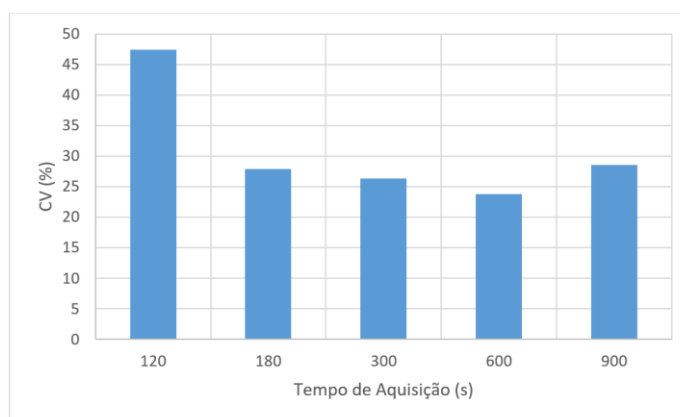
A distribuição espacial do elemento K se mostrou fortemente heterogênea na área de estudo, como pode ser observado pelo mapa da figura 62, onde as cores mais quentes remetem à valores mais altos de concentração (%) e as cores mais frias indicam regiões relativamente empobrecidas no elemento em questão. Através do mapa foi possível identificar zonas de concentrações expressivas caracterizadas por valores próximos de 0,19 % no exterior da AU, sobretudo nas porções noroeste e sudoeste do mapa, correlatas a áreas da vertente destinadas ao cultivo de cana-de-açúcar. Vale ressaltar a associação entre a orientação SW-NE da anomalia localizada na região sudoeste do mapa com as estradas e a faixa de servidão, com visível

propagação para o interior da AU. De maneira geral, os dados químicos apontaram para valores de K mais baixos nos horizontes superficiais do que aqueles obtidos pelo método radiométrico, em especial nos locais de tradagem dos pontos P01, P02 e P04.

Do mesmo modo, uma anomalia de relativa alta concentração foi identificada em regiões das margens norte e nordeste da AU, que também aparenta seguir a mesma orientação da estrada rural de acesso que bordeja o centro da área. Nesse caso é igualmente notável a tendência de continuidade da anomalia para o interior da região central da AU. Ao comparar o mapa da figura 62 com a distribuição dos valores de CV referentes aos dados de K (Figura 63), foi possível verificar ainda a clara correlação entre as anomalias de baixo K com as regiões caracterizadas por valores mais elevados do CV, haja vista que valores mais altos do coeficiente indicariam, em tese, dados de baixa confiabilidade. No contexto metodológico, essa relação apontaria para uma concentração muito baixa de ^{40}K no local, aliada ao “curto” tempo de aquisição que geralmente é adotado em aquisições gamaespectrométricas terrestres. Entretanto, em termos qualitativos, tais áreas não foram desprezadas em virtude da possível indicação de zonas mais empobrecidas no elemento de interesse. Assim, é possível indicar a presença de ao menos quatro anomalias de baixo K na figura 62, sobretudo em porções expressivas das vertentes.

Essa variabilidade pode estar associada à distribuição de argilominerais, conforme apontado para a relação entre os cátions metálicos analisados e o conteúdo mineralógico do solo, absorção pelas plantas e/ou aplicação errática de fertilizantes minerais ou vinhaça, um subproduto derivado da destilação de cana-de-açúcar para a produção de álcool e açúcar (FUESS et al, 2017).

Figura 61: Avaliação do tempo de aquisição em função do coeficiente de variação (CV) referente à leitura de K.

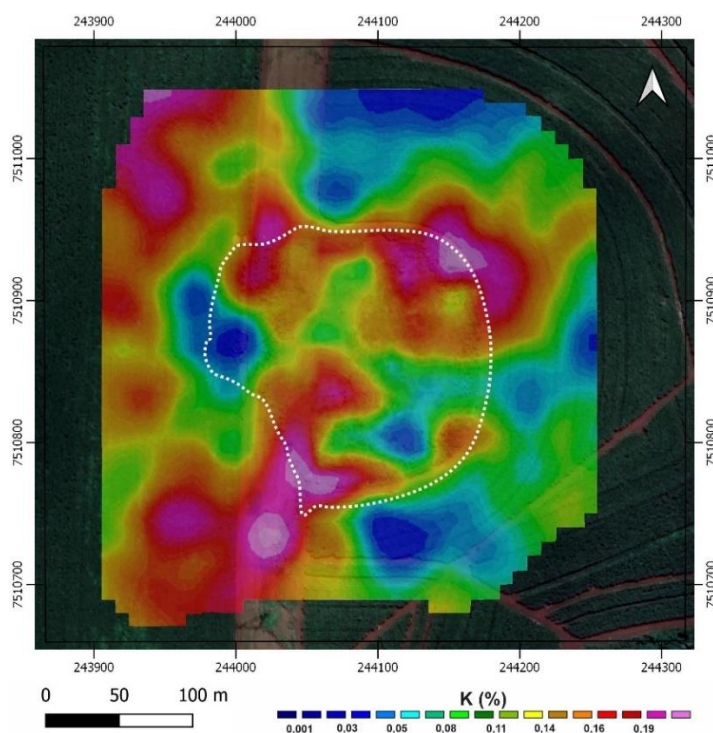


Fonte: Elaborado pelo autor.

O mapa de distribuição de eU, por outro lado, indicou um alto contraste de concentração do elemento entre o interior da AU e suas vertentes (Figura 64), com seu centro anormalmente empobrecido em U ($\sim 1,5$ ppm) e suas bordas exteriores enriquecidas no metal ($\sim 2,8$ ppm). Do ponto de vista das vertentes, a porção norte é caracterizada por valores moderados de eU (~ 2 ppm), enquanto que mais a sul existem zonas de maior concentração do elemento e correlacionáveis à ocupação do solo pela agricultura ($\sim 2,8$ ppm). Neste caso, a comparação dos sinais gama com os dados químicos do solo fica impossibilitada pelo alto limite de quantificação (10 ppm) dos mesmos para o U.

De forma menos definida, a variação da concentração de eTh ao longo da área de estudo seguiu, de certa forma, o mesmo comportamento observado para o eU, porém com um centro não totalmente empobrecido no elemento em questão (Figura 65). Nele as concentrações de eTh variaram de 6,95 ppm a valores superiores a 11,40 ppm, principalmente nas extremidades nordeste e sudeste da área central. Novamente, a correlação entre os dados gama e aqueles obtidos através de análises não foi possível, sobretudo pelo baixo número de amostras de solo e/ou pela variação dos metais nos horizontes superficiais do solo ao longo do tempo.

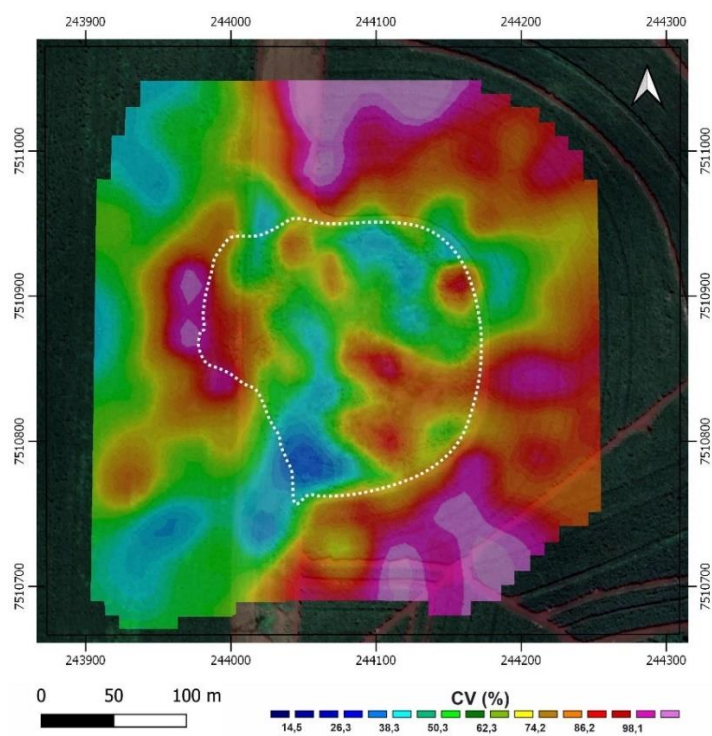
Figura 62: Mapa de distribuição espacial das concentrações de K. A linha pontilhada delimita o compartimento hidromorfológico da área úmida atual.



Fonte: Elaborado pelo autor.

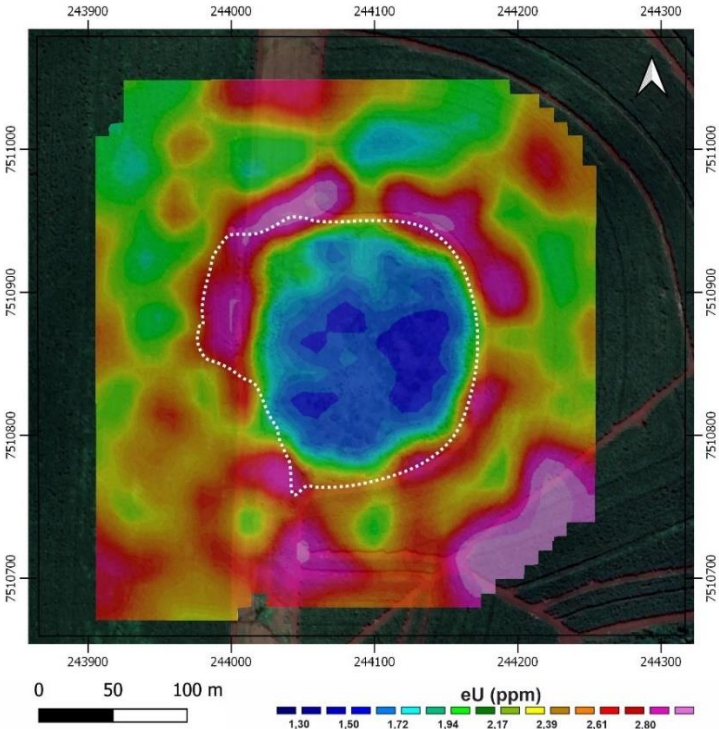
Vale ressaltar ainda a presença de uma zona de alto eTh ($>11,4$ ppm) correlacionável ao ponto de alagamento da estrada rural orientada segundo N-S, onde também são observados elevados valores de eU ($>2,8$ ppm) (ver Figuras 52c e 55). Dentre as vantagens da aplicação da gamaespectrometria terrestre está a obtenção de informações a respeito da intensidade de eventos hidrotermais (Fator F, para pesquisas de prospecção mineral, o que não é o caso do presente estudo), erosivos e de arraste geoquímico com base na mobilidade relativa entre os diferentes radionuclídeos analisados (HOFF et al., 2004; SOUZA & FERREIRA, 2005; FIANCO et al., 2014). Neste caso, foi utilizada a relação eU/eTh para a plotagem em mapa e a verificação dos padrões de mobilidade do urânio em relação ao tório, devido a relação média de 0,25 entre os dois metais na crosta terrestre e o caráter relativamente imóvel do Th em relação ao U em processos pedogenéticos (BOYLE, 1982).

Figura 63: Mapa de distribuição espacial do coeficiente de variação dos dados referentes ao K. A linha pontilhada delimita o compartimento hidromorfológico da área úmida atual.



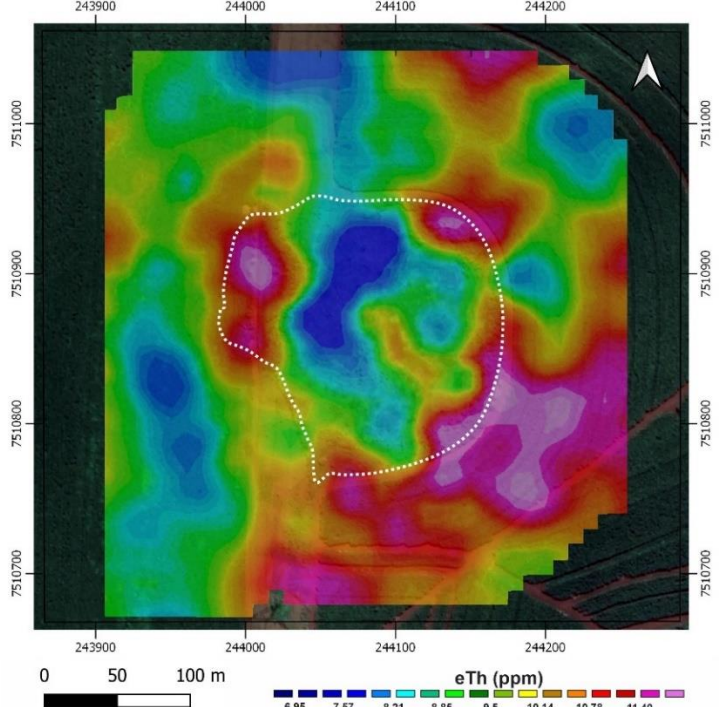
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 64: Mapa de distribuição espacial das concentrações de eU. A linha pontilhada delimita o compartimento hidromorfológico da área úmida atual.



Fonte: Elaborado pelo autor.

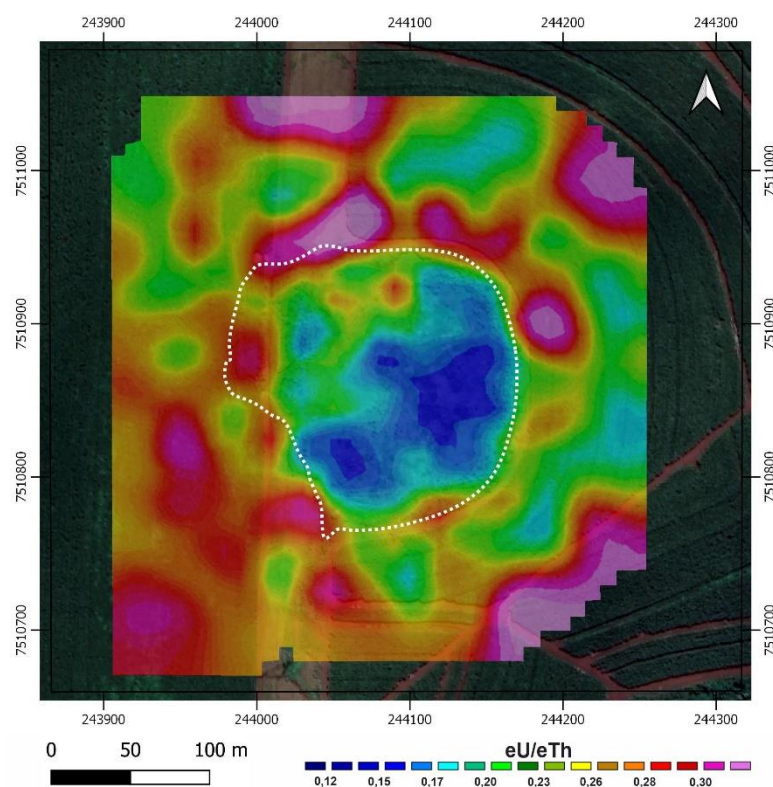
Figura 65: Mapa de distribuição espacial das concentrações de eTh. A linha pontilhada delimita o compartimento hidromorfológico da área úmida atual.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, na figura 66 os valores mais baixos obtidos indicariam uma depleção de eU em função do eTh (que em tese seria considerado imóvel) e valores mais elevados, o oposto. O mapa designa porções representadas por cores mais quentes concentradas ao longo das extremidades da área central da AU, o que confirmaria um enriquecimento relativo deste metal em tais zonas. Em contrapartida, as tonalidades verdes e amarelas, distribuídas ao longo das vertentes e porções noroeste do centro da AU, se aproximam do valor médio de 0,25 descrito na literatura, porém são contrastadas com diversas zonas de elevada relação eU/eTh.

Figura 66: Mapa de distribuição espacial da relação eU/eTh. A linha pontilhada delimita o compartimento hidromorfológico da área úmida.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Essa variabilidade da relação eU/eTh pode não estar relacionada apenas à mobilidade do U, mas também do Th e de seus radionuclídeos filhos através de transporte coluvial (PICKUP & MARKS, 2000; ULBRICH et al., 2009). Uma vez que o Th seja adsorvido pelas frações sólidas do solo (argilominerais e oxi-hidróxidos, conforme observados pela difratometria de raios-x, além de compostos orgânicos), o elemento pode atuar como um indicador de processos de erosão e sedimentação, que são de grande interesse na gestão dos solos e recursos hídricos. Assim, a variabilidade espacial do Th sobre a área de estudo segue

quase o mesmo padrão observado para o U, exceto pela presença de um segmento estreito e alongado de alto Th das margens úmidas até o centro da zona úmida de orientação NW-SE, onde nenhum fertilizante é diretamente aplicado, o que indicaria aporte de sedimentos oriundos das vertentes. Portanto, a relação entre U e Th pode ser uma influência complexa de ambos os processos: a lixiviação geoquímica do U em relação ao Th e a mobilidade do Th adsorvido por partículas finas do solo. A questão do aporte de sedimentos para o interior da AU corrobora a questão da presença de gibbsita em certos locais do interior da AU apontada pela difratometria de raios-x.

A existência deste processo é também confirmada pela maior continuidade da anomalia circular de alto eTh para o interior da AU em comparação com o observado para o eU, que forma um anel mais definido e com borda interna abrupta na passagem para baixos valores. Outras evidências incluem ainda as porções de alto eTh e eU ao longo da estrada N-S e em sua porção alagada, dadas em função da entrada de sedimentos de níveis mais altos para a zona mais rebaixadas, especialmente quando a vegetação natural da borda úmida é suprimida, conforme observado pelos dados VANT.

Do ponto de vista geoquímico, os estados de oxidação mais comuns para o U na natureza são +4 e +6, com o primeiro (U(IV)) menos solúvel e de formação de compostos mais estáveis em comparação com o U(VI), sua forma mais móvel na forma íon uranil (UO_2^{2+}), onde a mudança no estado de oxidação de U(VI) para U(IV) geralmente ocorre na natureza em condições de oxidação na interface geosfera/atmosfera ou dentro da litosfera devido ao contato com águas subterrâneas oxigenadas (CUMBERLAND et al., 2016). De modo geral, a especiação química do U é relativamente complexa e dada em função das condições químicas da fase aquosa, além do pH, Eh, atividade microbológica e presença de ânions complexos como SiO_4^{4-} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} e matéria orgânica dissolvida.

O tório frequentemente apresenta um estado de oxidação +4 (Th(IV)) na natureza com comportamento oposto ao do U(VI) em condições ambientais semelhantes, ou seja, de caráter mais imóvel (ULBRICH et al., 2009). A solubilidade diferencial do urânio em relação ao tório pode influenciar sua mobilidade em ambientes naturais, uma vez que o U(VI) apresenta maior mobilidade através da fase líquida do solo em meios oxidantes (BOYLE, 1982). Caso seja liberado, o tório pode ser imobilizado junto com substâncias secundárias nas quais está retido. Essas diferenças nas propriedades químicas dos elementos podem explicar a existência da auréola bem definida de alto eU, onde o ambiente oxidante das vertentes promovem a mobilização do U(VI) em direção ao centro da AU, porém o elemento acaba concentrado na

forma de compostos de U(IV) nas margens em razão da presença de uma frente redutora em períodos mais úmidos, além da questão da adsorção catiônica.

Durante a estação seca, é provável que ocorra uma alternância para condições óxicas devido à diminuição do nível do lençol freático e à entrada ocasional de águas ricas em oxigênio na presença de receptores de elétrons (Mn^{4+} , Fe^{3+} e NO_3^-), o que pode levar à mobilização de certos metais, como o urânio na forma U(VI) e novamente a sua imobilização na forma U(IV) em níveis mais profundos do solo em nova frente redutora, embora todas as amostras de solo tenham apresentado concentrações do metal abaixo do limite de quantificação (< 10 ppm). É provável que estas condições também acarretem em uma decomposição mais eficiente da matéria orgânica (especialmente com temperaturas médias a altas mesmo durante o inverno), resultando em uma maior concentração de DOC na água (STRAWN et al., 2020; OLIVIE LAUQUET et al., 2001). Assim, certos componentes da AU poderiam alternar entre fontes e reservatórios de certas espécies químicas ao longo do ano (Figura 67), embora um modelo mais preciso da dinâmica catiônica não seja possível em virtude da falta de dados hidrogequímicos mais aprofundados.

De modo geral, a utilização de dados gama para K, eU e eTh pode ser compreendida como um método inicial de caracterização química e de tendências em níveis rasos do solo, haja vista que neste caso a mobilidade dos metais é dada principalmente por escoamento superficial e fluxos internos que transportam (ou não) os metais com base em seus comportamentos específicos segundo parâmetros químicos e ambientais (STRAWN et al., 2020). O K, neste caso, pode ser considerado o elemento mais lábil, se comparado ao U e Th, e que provavelmente é lixiviado do sistema com mais intensidade nos períodos de maior umidade, embora uma considerável parcela seja retida na fração sólida do solo. Assim, outros metais com comportamentos similares ao K, U ou Th tendem a seguir as mesmas dinâmicas de mobilização e/ou concentração nos diferentes compartimentos hidromórficos da AU.

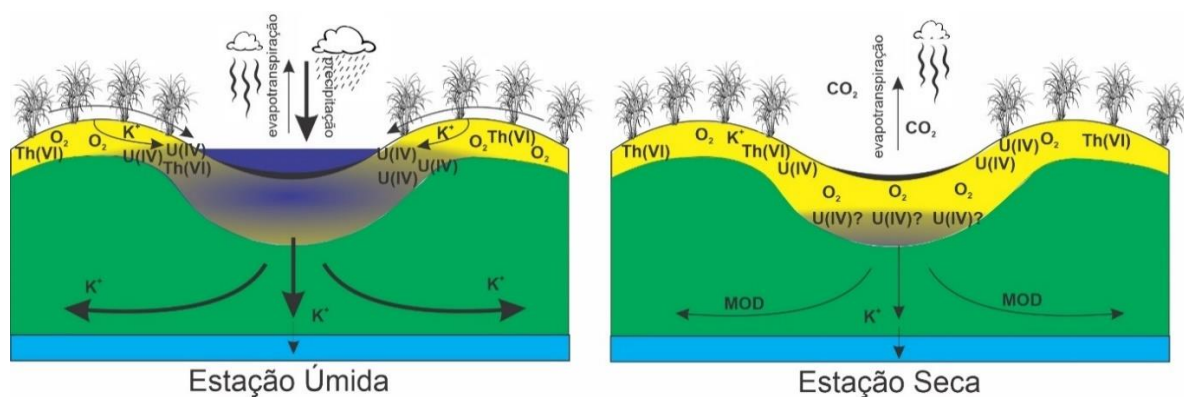
Do ponto de vista ecológico, os fluxos entre as fases sólida e líquida do solo são uma das bases da manutenção da vida na Terra na disponibilidade de nutrientes para os produtores primários, ao mesmo tempo que configuram sistemas de amortecimento de contaminantes, especialmente pela presença de argilominerais com capacidade de troca catiônica (UDDIN, 2017; HAN et al., 2019; ARIF et al., 2021).

Em comparação com os dados obtidos no solo da AU e vertentes, a resposta gama do afloramento de diabásio foi consideravelmente maior para K, um aumento de cerca de até 20 vezes da concentração do elemento medido na rocha inalterada (Tabela 17). O manto de alteração (solum e saprolito) no local do afloramento também apresentou valores mais elevados

(média de 0,61%) , frente à concentração média de 0,08% para os solos da AU. Ademais, no local não foi observado nenhum coeficiente de variação superior a 10%, o que corrobora a influência da concentração ambiental do elemento na qualidade do dado gerado, dado o mesmo tempo de aquisição gama.

Por outro lado, tanto os valores de eU quanto os de eTh apontaram para concentrações mais elevadas dos radionuclídeos no solo, cujos valores foram 20,8% e 26,7% inferiores nas medidas realizadas na rocha inalterada. Em contrapartida, as concentrações de ambos radionuclídeos foram bastante similares na comparação entre os solos da AU e da região do afloramento de diabásio, embora o número de leituras realizadas na região do afloramento sejam significativamente inferiores às aquelas obtidas na AU e entorno. Tais dados são corroborados com aquisições aerogamaespectrométricas de Souza & Ferreira (2005), onde os resultados apontaram para a tendência de concentração de U e Th em solos mais argilosos quando comparados às rochas fonte (soleiras de diabásio). Por fim, vale ressaltar que a relação eU/eTh do afloramento de diabásio é satisfatoriamente próxima do valor de 0,25 da crosta terrestre.

Figura 67: Esquema geral da mobilidade geoquímica na AU de estudo com base nos metais guia (U, Th e K) durante estações úmida e seca. MOD: Matéria Orgânica Dissolvida. As cores amarela, verde e azul representam solo, Fm. Serra Geral e Fm. Corumbataí, respectivamente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 17: Valores de concentração de K, eU e eTh no afloramento de diabásio.

Tempo de aquisição (s)	K (%)	CV (%)	eU (ppm)	CV (%)	eTh (ppm)	CV (%)	eU/eTh	Descrição
180	1,801890	1,923536	1,82509	8,975448	7,25579	4,270107	0,251536	Diabásio Inalterado
180	1,82767	1,890932	1,38692	11,52554	6,80469	4,521881	0,203818	Diabásio Inalterado
180	1,61787	2,235656	1,63779	10,40426	6,10874	5,297983	0,268106	Diabásio Inalterado
180	1,86230	2,112442	1,58741	11,43057	7,84290	4,509046	0,202401	Diabásio Inalterado
180	0,57392	5,100014	1,97958	8,053729	10,21624	3,117683	0,193768	Saprolito
180	0,36855	8,552435	2,01241	8,969345	11,29255	3,240721	0,178207	Saprolito
180	0,44827	6,645548	1,71293	9,539211	9,31794	3,554326	0,183831	Solo, 3 m acima da rocha inalterada
180	1,03591	3,205877	1,92269	8,802771	9,53768	3,481664	0,201589	Solo, 6 m acima da rocha inalterada

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como meio de comparação, Nardy *et al.* (2014), ao utilizarem a espectrometria gama terrestre com cristal BGO em afloramentos de basaltos da Formação Serra Geral no estado do Paraná, obtiveram valores médios de 1,3%, 1,5 ppm e 6,1 ppm para K, eU e eTh, algo relativamente similar às médias obtidas no afloramento de diabásio próximo ao local de estudo (1,78%, 1,61 ppm e 7,0 ppm). Por outro lado, em pesquisas na Serra Gaúcha fundamentada em igual método, Modena *et al.* (2014) reportaram concentrações de 2% para K, 2 ppm de eU e 9,2 ppm referente ao eTh na denominada Fácies Gramado da mesma formação geológica.

Na literatura, os solos gerados pela alteração destas rochas máficas são geralmente caracterizados pela baixa concentração de radionuclídeos (CONCEIÇÃO & BONOTTO, 2006a), embora vários trabalhos apontem para a existência de anomalias radiométricas geradas pela utilização de fertilizantes fosfatados na agricultura, em especial de cana-de-açúcar (CONCEIÇÃO & BONOTTO, 2006b; SOUZA & FERREIRA, 2005), onde a presença de solos ricos em argila derivados de diabásio e a ocorrência de matéria orgânica podem levar a um sumidouro geoquímico para muitos elementos e compostos, incluindo radionuclídeos pertencentes às séries de decaimento de U e Th (SOUZA & FERREIRA, 2005). No entanto, Olivie Lauquet *et al.* (2001) enfatizam que a presença de carbono orgânico dissolvido (DOC) podem mudar essa dinâmica, uma vez que o mesmo desempenha um papel importante como facilitador da mobilização geoquímica para o sistema hídrico, o que tornaria a AU uma fonte de metais para o ambiente quando e se os parâmetros ambientais fossem alterados.

Em agosto de 2021, ano caracterizado pela baixa ocorrência de chuvas em várias regiões do Brasil (DINIZ, 2021), a AU de estudo e outras ao redor foram totalmente consumidas por incêndios de causas ainda desconhecidas, haja vista que técnicas com fogo no processo produtivo da cana de açúcar não são (em tese) mais utilizadas nas fazendas locais.

O mosaico de imagens (Figura 68) mostra o as condições do local durante o período pós-colheita da cana-de-açúcar (Figura 68a), com detalhes para a destruição total da flora local, incluindo a morte de membros de algumas espécies de pequenos mamíferos e répteis, e marcas de pneus no centro da AU em virtude da passagem de veículos agrícolas, que começaram a transitar pelo local após o incêndio (Figura 68b; 68c).

Com o incidente, foi possível realizar uma segunda campanha de aquisições gamaespectrométricas com o intuito de analisar possíveis variações temporais do K, eU e eTh no solo, além de servir como comparativo qualitativo na determinação do grau de absorção do sinal gama ocasionado pela umidade natural do solo, que após o incêndio era bastante baixa. Assim, o foco da nova etapa de aquisição foi concentrado no interior da AU, o que contemplou 157 pontos de leitura com o habitual tempo de aquisição de 180 segundos.

Figura 68: Consequências do incêndio ocorrido em agosto de 2021 na AU de estudo (a), com detalhe para a destruição da vegetação nativa (b) e a ocorrência de marcas de veículos automotores pesados pelo centro da área.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após o período de um ano, os valores de concentração de K obtidos foram praticamente os mesmos, enquanto a distribuição espacial do K no centro da AU tenha apresentado certas mudanças, sobretudo pela ausência da anomalia alongada à sudoeste que estendia para o seu interior (Figura 69). No caso do U, a faixa de valores obtidos durante a segunda campanha foi levemente inferior, com o centro da AU ainda contrastante com seu entorno de maior resposta gama, porém com valores não tão baixos como aqueles observados durante a aquisição anterior ao incêndio. O eTh, por sua vez, também apresentou valores relativamente mais elevados de concentração na segunda campanha, além do prolongamento da anomalia de alta concentração ($\sim 11,3$ ppm) da borda nordeste até o centro da AU. Como resultado, a relação eU/eTh também foi afetada na mesma tendência, embora o contraste entre a parte externa e as bordas da AU ainda tenham persistido após o incêndio.

A leve variação da resposta gama após um ano é provavelmente atribuída à redução do efeito de absorção natural devido à baixa umidade do solo e redução da matéria orgânica superficial nas semanas seguintes ao incêndio (REINHARDT & HERMANN, 2018), quando não foram registradas precipitações no local. Entretanto, o efeito da absorção não foi intenso o bastante para que prejudicasse a avaliação qualitativa da distribuição espacial de K, eU e eTh na área, sobretudo pelo fato de que as concentrações relativas seguiram basicamente mesma tendência, em especial o contraste entre o interior da AU e suas bordas.

Outros fatores como variações na aplicação de fertilizantes (Figura 70) e a presença de matéria mineral em grande quantidade no solo (cinzas) também podem acarretar influência subordinada na variabilidade da resposta gama obtida após a queima da vegetação local. De acordo com Kopp *et al.* (1989), a exemplo da absorção de Ra^{2+} , seu acúmulo na biosfera é efetuado através das raízes de certas espécies de plantas e ocorre pela não diferenciação de outros íons como Ca^{2+} e Ba^{2+} .

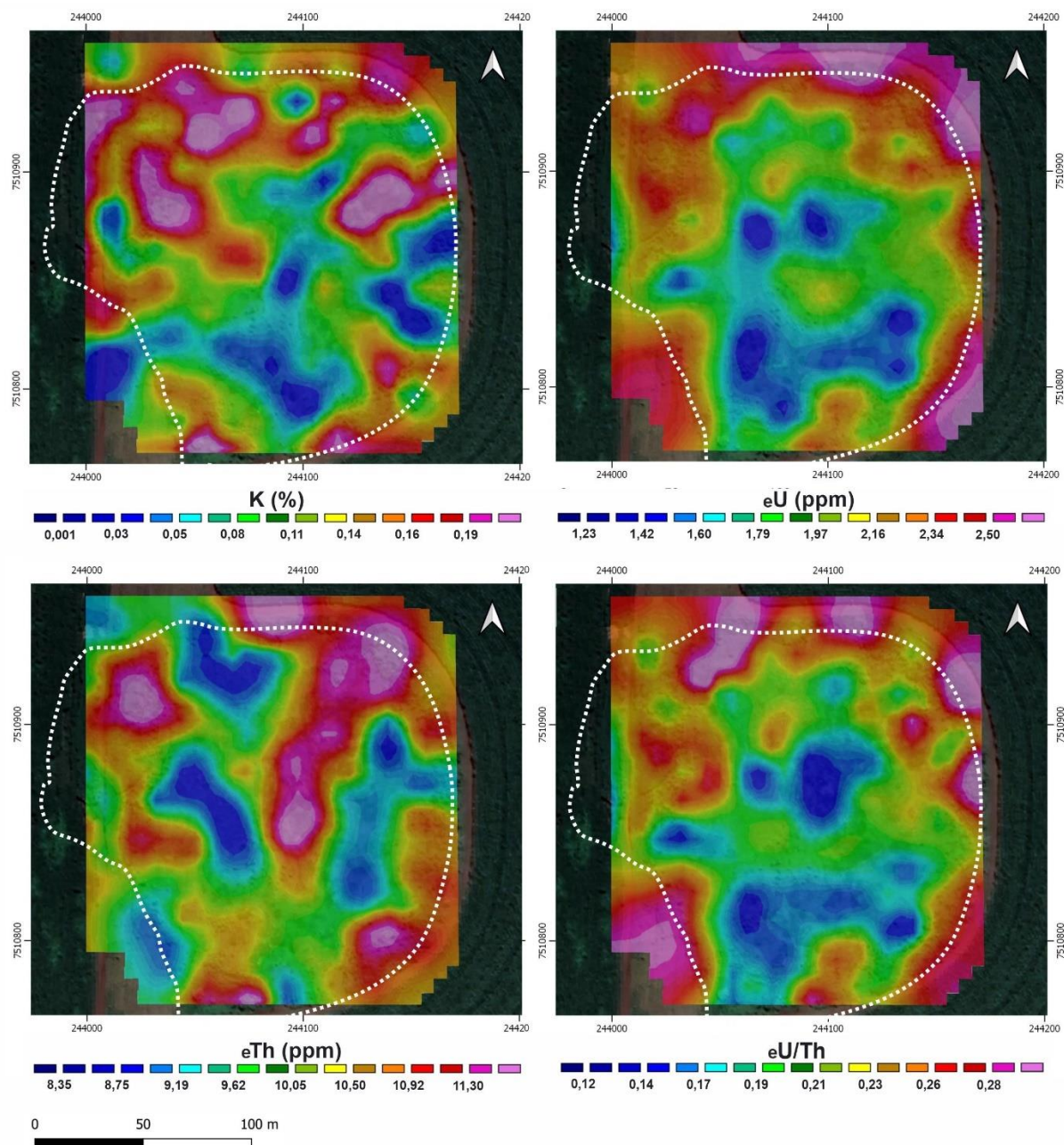
O mapa gerado pelos dados de condutividade hidráulica da figura 71 apontou para valores baixos (10^{-6} cm/s) (cores frias), enquanto as áreas caracterizadas por cores quentes denotaram elevados valores, da ordem de 10^{-3} cm/s, em conformidade com valores obtidos em AU similares por Smith (1975) e Hyatt e Brook (1984). É nítida a relação entre baixa condutividade hidráulica e o centro da AU, cujas bordas tendem a apresentar valores mais elevados, embora exista um prolongamento de orientação N-S da anomalia de baixa condutividade para as regiões de vertente, além de uma tendência para oeste.

Para efeitos comparativos, a média dos valores obtidos na porção central foi da ordem de $8,5 \times 10^{-6}$ cm/s, enquanto nas regiões da margem úmida a condutividade hidráulica foi significativamente maior, com valor médio foi de $2,0 \times 10^{-4}$ cm/s. De modo análogo, os valores médios obtidos seguem um acréscimo em função da distância do centro da AU, embora a meia vertente tenha apontado para um valor médio pouco superior ao observado nas proximidades do divisor de águas ($3,9 \times 10^{-4}$ cm/s e $2,5 \times 10^{-4}$ cm/s, respectivamente).

Vale notar ainda que mesmo a extremidade oeste da AU ter sido impactada pela conversão do solo, os valores medianos de condutividade hidráulica observados para o perímetro da borda úmida foram preservados. Ademais, a baixa condutividade hidráulica observada nas demais porções da vertente podem ser explicadas pela compactação do solo superficial devido ao uso de equipamentos agrícolas pesados (HORN & PETH, 2011).

Esta redução do volume dos poros pode impactar não apenas a dinâmica geoquímica e biológica natural, mas também a produtividade do solo em termos de produção de alimentos (TUBEILEH *et al.*, 2003; BLUM, 2013). Além disso, o aumento do fluxo de água superficial resultante da compactação do solo é frequentemente acompanhado por um aumento das taxas de erosão e consequente sedimentação à jusante, o que resulta na perda de terras aráveis e nutrientes do solo, além da redução da qualidade da água superficial. Assim, este fenômeno pode ser um fator-chave para a ocorrência das zonas de alto eTh observadas no centro da AU e associadas ao transporte coluvial, conforme evidenciado novamente pela presença de gibbsita e caulinita em perfil de solo nas margens interiores da AU.

Figura 69: Mapas de distribuição espacial do K (%), eU (ppm), eTh (ppm) e eU/eTh após o incêndio na AU. A linha pontilhada delimita o compartimento hidrogeomórfico da área úmida.



Fonte: Elaborado pelo autor.

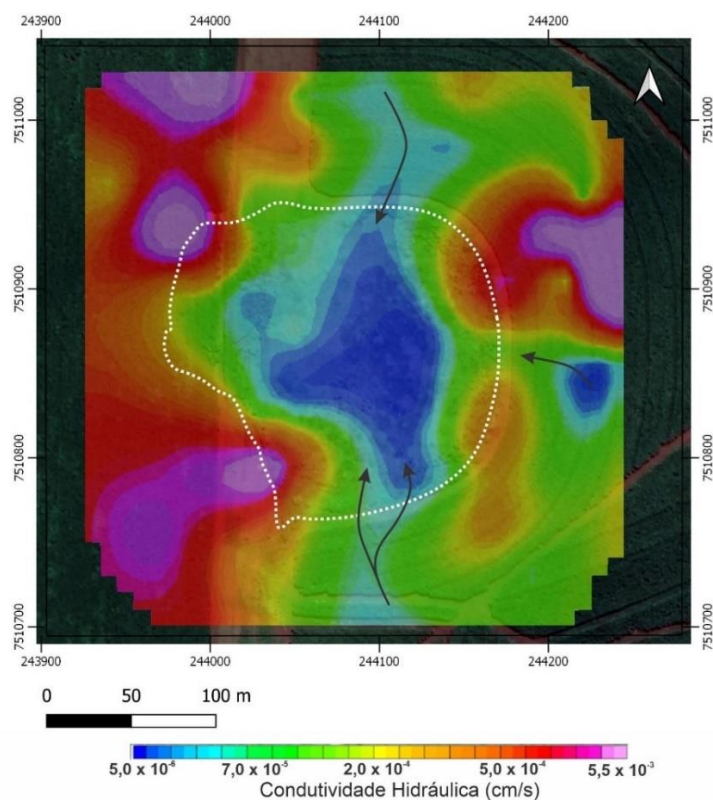
Figura 70: Lançamento de fertilizantes minerais da área de estudo em meados de maio de 2020.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Novamente, as margens da AU se mostram como importantes zonas de atenuação natural, seja por sua capacidade de infiltração e consequente conexão entre a água superficial e o lençol freático, ou pela imobilização de metais em níveis mais rasos, segundo dados gamaespectrométricos.

Figura 71: Mapa de condutividade hidráulica (cm/s) da AU e vertentes. A linha pontilhada delimita o compartimento hidromorfológico da área úmida e as setas indicam zonas de intensificação do escoamento superficial em função da baixa condutividade hidráulica em solo agrícola.



Fonte: Elaborado pelo autor.

7.3 Arquitetura e dinâmica hidrogeológica em profundidade

Após o processamento dos dados de Eletrorresistividade, a profundidade real de leitura das linhas de aquisição de 200 m de comprimento foi de aproximadamente 45 m, enquanto a linha 17, de maior extensão (630 m), gerou um modelo de inversão que atingiu o nível máximo de 130 m em subsuperfície. Esta última possibilitou, portanto, a caracterização dos componentes hidrogeológicos em níveis mais profundos.

Com base nos modelos de inversão gerados pelas linhas de aquisição 1 a 16, foi possível notar de maneira clara a existência de ao menos duas regiões contrastantes em termos do parâmetro físico da resistividade elétrica (Figura 72). A primeira delas é situada próxima à superfície, com espessura média de 7 m e caracterizada por valores relativamente baixos de resistividade ($<150 \Omega.m$), cuja geometria é estabelecida por uma forma tabular indicada por cores frias que se estendem até à superfície do solo da área úmida. Em alguns casos, foi observada um suave aumento de resistividade em direção às áreas de vertente (modelos de inversão 1, 14, 15 e 16), justamente as linhas mais “distantes” do centro de maior saturação da área úmida.

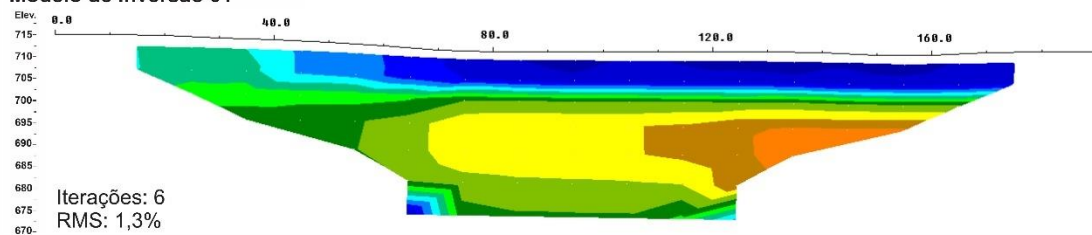
Esta zona de baixa resistividade é correlacionável com o solo saturado do local, haja vista que a aquisição foi realizada durante a estação úmida do ano. Os valores inferiores a $100 \Omega.m$ compreendem níveis onde a saturação é total, enquanto resistividades compreendidas pelo intervalo entre $100 \Omega.m$ e $200 \Omega.m$ indicariam condições de saturação e umidade decrescentes (CASAGRANDE et al., 2020).

Logo abaixo da zona de elevada saturação/umidade, está localizada uma aparente zona de transição de aproximadamente 5 m de espessura, caracterizada por valores de resistividade elétrica da ordem de $200 \Omega.m$ a $500 \Omega.m$.

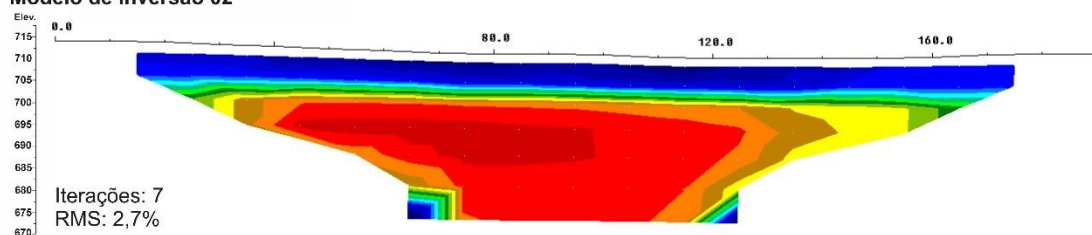
Por fim, uma grande área identificada por cores quentes engloba a metade inferior dos modelos de inversão. Essa região, de valores de resistividade elétrica que variam de $500 \Omega.m$ a $4.000 \Omega.m$, possui extensão lateral em praticamente todas as aquisições e pode ser correlacionável com a existência de uma soleira de diabásio da Formação Serra Geral. Sua espessura não pode ser definida apenas com base nas linhas de aquisição de 200 m, embora algumas delas apresentem uma certa tendência de decréscimo dos valores de resistividade nos últimos níveis de leitura. Essa variabilidade dos valores observados para o diabásio pode ser compreendida pela existência de porções de rocha alterada quimicamente (resistividade elétrica relativamente mais baixa, da ordem de $500 \Omega.m$ a $1.000 \Omega.m$, como exemplificado pelas linhas 1, 10 e 12) e rocha menos alterada/fraturada (resistividade elétrica relativamente mais elevada,

Figura 72: Modelos de inversão referentes as linhas de aquisição 1 a 16.

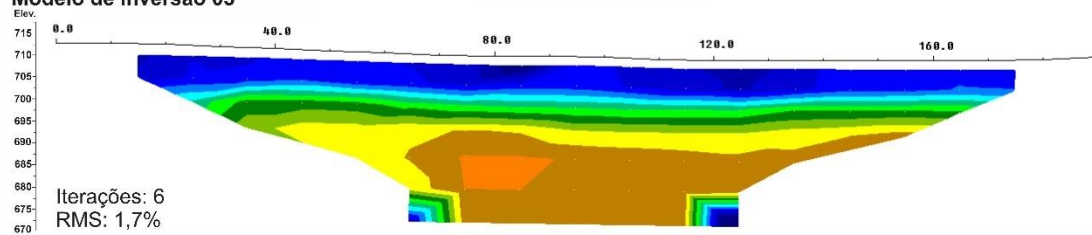
Modelo de Inversão 01



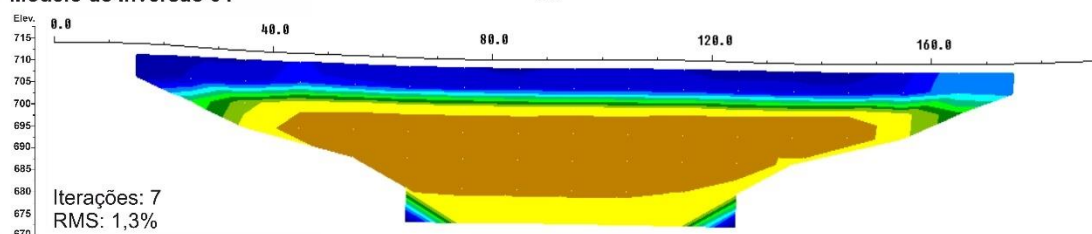
Modelo de Inversão 02



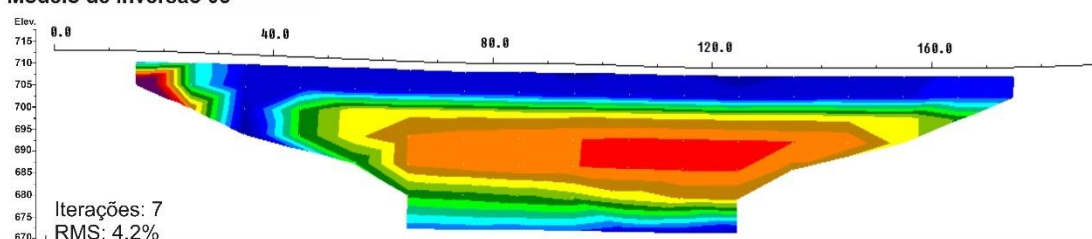
Modelo de Inversão 03



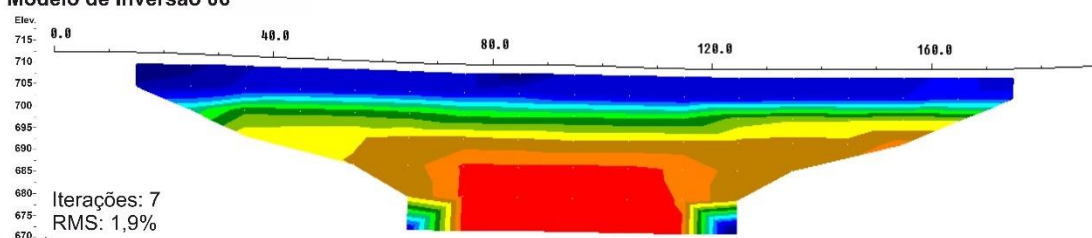
Modelo de Inversão 04



Modelo de Inversão 05



Modelo de Inversão 06

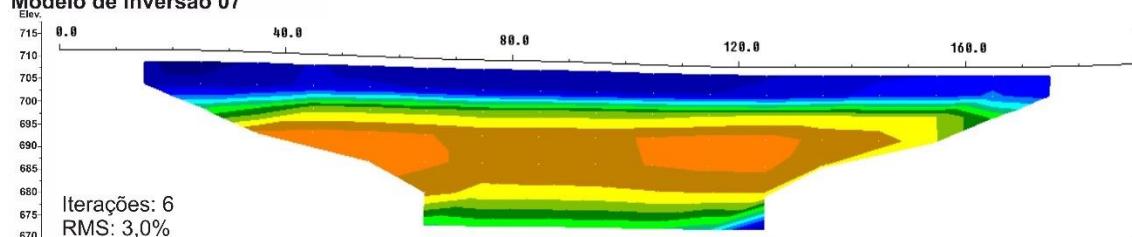


Espaçamento entre eletrodos: 10m

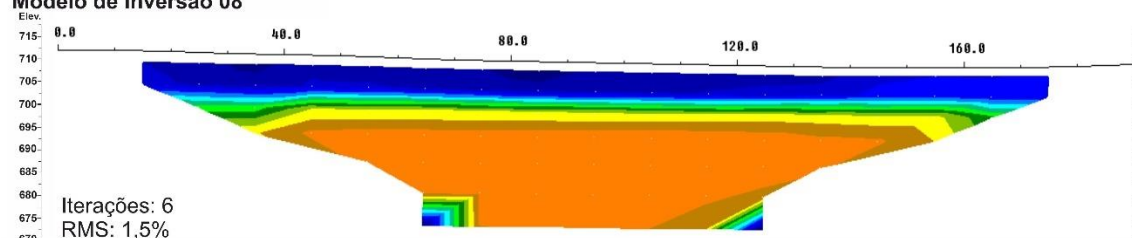
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 72: Modelos de inversão referentes as linhas de aquisição 1 a 16 (continuação).

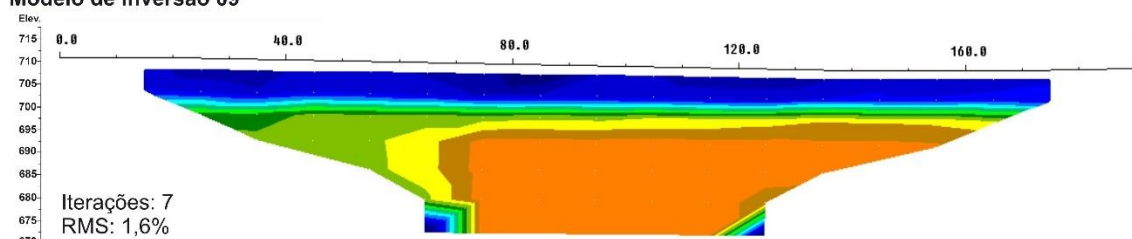
Modelo de Inversão 07



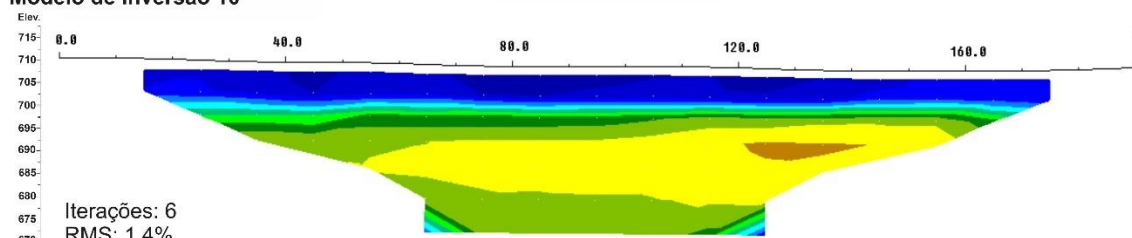
Modelo de Inversão 08



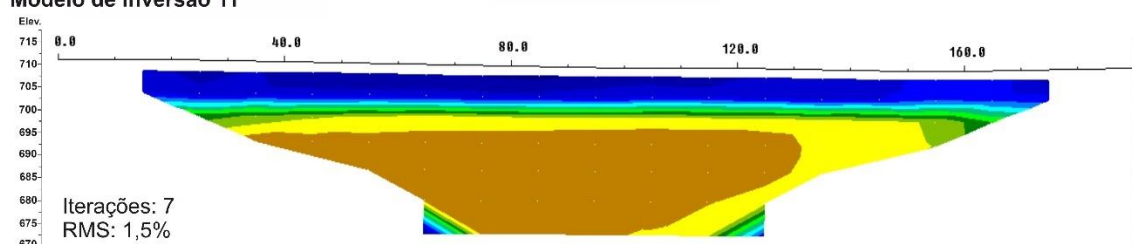
Modelo de Inversão 09



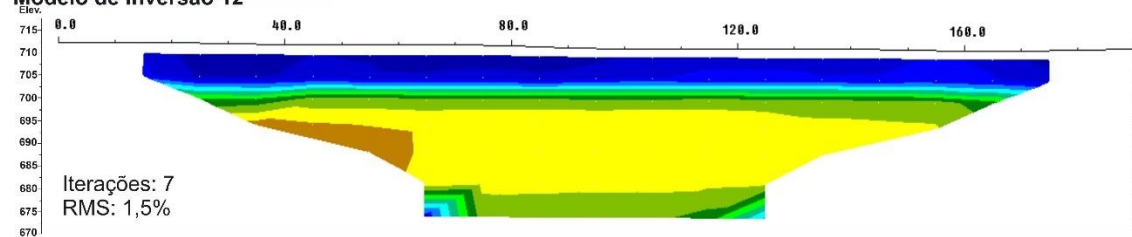
Modelo de Inversão 10



Modelo de Inversão 11



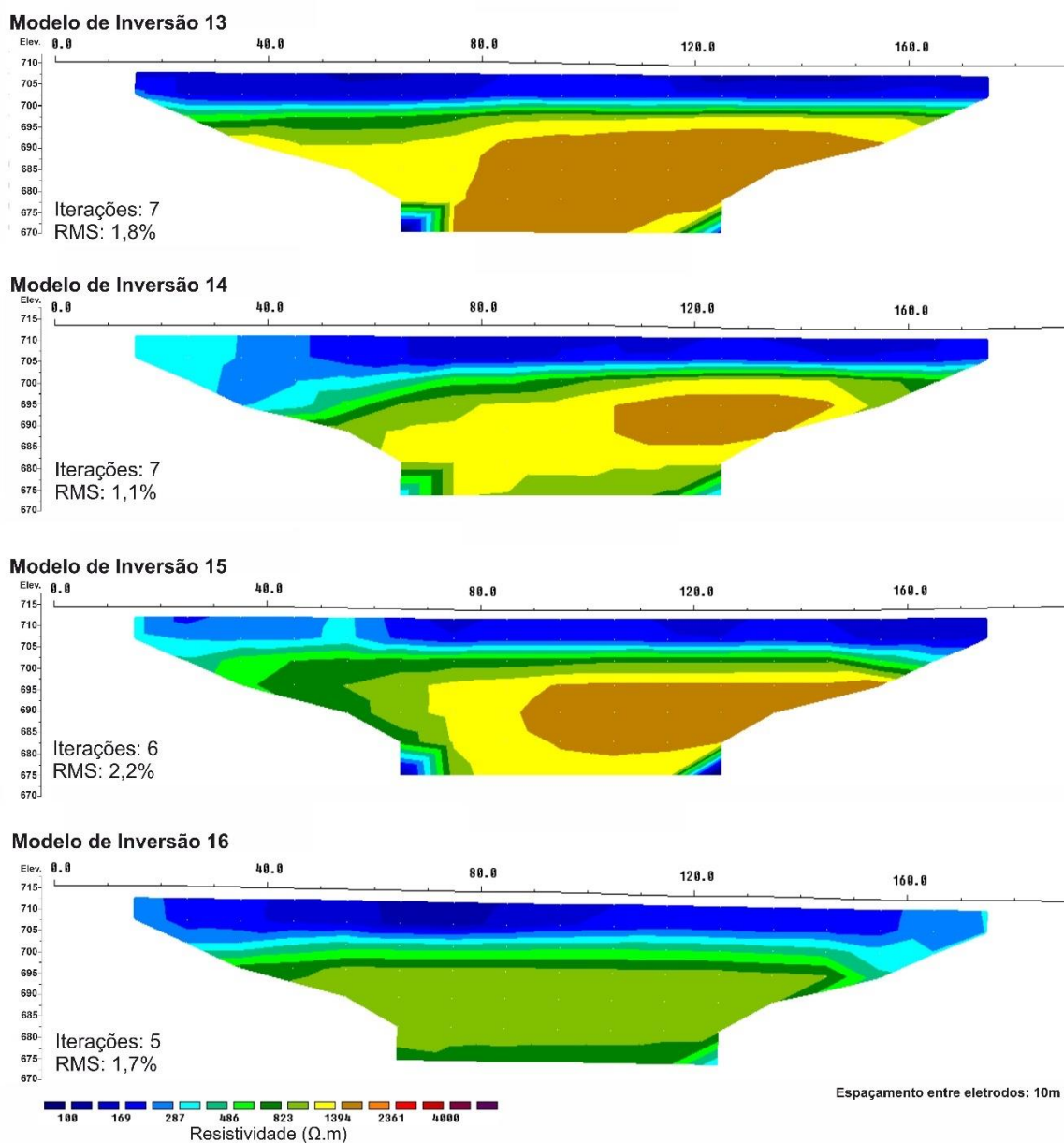
Modelo de Inversão 12



Espaçamento entre eletrodos: 10m

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 72: Modelos de inversão referentes as linhas de aquisição 1 a 16 (continuação).



Fonte: Elaborado pelo autor.

superior a $1.000 \Omega.m$, como nas linhas 2, 6, 8 e 9). Desta maneira, a avaliação geolétrica da AU pode auxiliar na identificação do grau de desenvolvimento do saprólito e, assim, direcionar a compreensão acerca do desenvolvimento hidrogeomórfico local.

Uma peculiaridade pode ser observada linha de aquisição 5, mais precisamente na distância 40 m a partir da origem, onde parece existir uma conexão subsuperficial bem definida entre a zona de baixa resistividade superficial com o nível inferior à soleira de diabásio feita

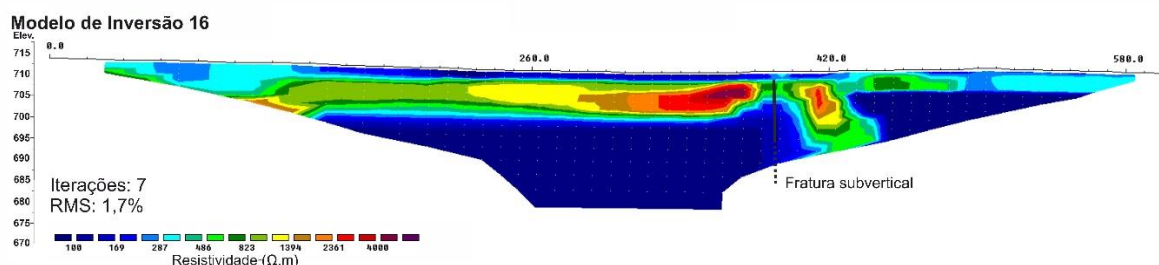
através de uma estrutura verticalizada, também de reduzida resistividade elétrica. Contudo, é provável que tal anomalia seja causada por efeito de borda do modelo de inversão, pois tal fenômeno não se faz presente no modelo referente à linha 17, cuja aquisição foi realizada exatamente no mesmo local (Fig. 73).

A linha de aquisição 17 foi de extrema importância para a visualização da estrutura subsuperficial nas regiões de vertentes, bem como a delimitação da real espessura da soleira de diabásio, que é de cerca de 40 m. De modo adicional, o corpo intrusivo aparenta estar mais alterado ao norte da área de estudo (porção extrema-direita do modelo de inversão da linha 17), onde o contraste entre a zona saturada rasa condutiva e o diabásio de alta resistividade diminui até seu completo desaparecimento em uma zona de reduzida resistividade elétrica.

No modelo de inversão supracitado, além da zona saturada superficial e da totalidade da espessura da soleira de diabásio, foi identificada ainda uma camada mais profunda de resistividade elétrica baixa e homogênea, da ordem de $<100 \Omega.m$, e correlacionável com os argilitos saturados da Formação Corumbataí, cuja ocorrência local se dá logo abaixo da intrusão básica (LORETI JÚNIOR et al., 2014).

É possível que fluxos verticalizados ocorram em uma porção do diabásio mais alterada ou, mais provavelmente, por meio de fraturas, onde a água contida no solo saturado da AU encontra seu caminho para níveis mais profundos em um processo de alimentação de unidades aquíferas estratigraficamente inferiores. Um claro exemplo desse mecanismo pode ser visualizado na Figura 73 a uma distância de cerca de 400 m a partir da origem e 15 m de profundidade, onde é definido um “estrangulamento” ou “afinamento” da soleira de diabásio e provável conexão hídrica.

Figura 73: Modelo de inversão referente à linha de aquisição 17, com comprimento de 630 m.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Outra característica de interesse é a presença de uma anomalia tabular de alta resistividade elétrica ($\sim 420 \Omega.m$) que conecta a soleira de diabásio com níveis mais profundos

além dos limites do modelo de inversão. No presente contexto, tal anomalia pode ser compreendida como um corpo intrusivo do tipo dique, um antigo conduto vulcânico de conexão entre a fonte magmática profunda e a geração da soleira de diabásio local.

De modo complementar, o processamento do modelo de visualização pseudo-3D possibilitou a geração de mapas do tipo “*slices*” do ambiente subsuperficial da área de estudo, com intervalos regulares de 5 m entre o nível de cota 712 m até o mais profundo com 672 m, um total de nove *slices* (Figura 74). Tais produtos complementam os modelos de inversão apresentados de forma a proporcionar uma integração espacial das anomalias de interesse, além da visualização mais abrangente da resposta geoeletrica da área como um todo.

Os primeiros níveis (712 m e 707 m) denotam a abrangência do solo saturado que correspondem, no geral, ao centro da AU e regiões circunvizinhas próximas, o que indica a existência de solos saturados de baixa profundidade numa região de vertente ocupada pelo cultivo de cana-de-açúcar. No contexto dos compartimentos hidrogeomorfológicos, esta zona é correlacionável à faixa da potencial área de domínio de alagamento e poderia denotar recuo dos limites da AU atual em função da conversão do uso do solo, conforme demonstrado por dados obtidos por VANT e análises mineralógicas por difratometria de raios-x (presença de montmorilonita).

Para regiões mais distais, é visível um decréscimo da resistividade elétrica da zona saturada rasa em função da distância, cujo valor máximo atinge 300 Ω .m nas extremidades do modelo de inversão. Este fato, já esperado, denota a perda de umidade do solo raso nas vertentes (áreas agrícolas).

O mapa do nível 702 m abrange espacialmente a zona de transição apontada nos modelos de inversão 2D, cujos valores de resistividade elétrica são significativamente superiores ao do solo de elevada saturação sobreposto e inferiores ao observado para as porções de diabásio logo abaixo. Desta maneira, a referida zona de transição pode ser relacionada ao horizonte saprolítico do manto de intemperismo local que, no caso, aparenta ser relativamente irregular em termos topográficos pela variação dos valores de resistividade, conforme indicou o modelo elaborado por Chaplot *et al.* (2004) com base em mais de 600 tradagens em uma bacia hidrográfica no oeste da França. No caso da AU de estudo, o nível saprolítico aparenta ser mais desenvolvido à leste em virtude do topo inalterado da soleira de diabásio ($>4.000 \Omega$.m) estar mais elevado na porção oeste. Desta maneira, este é mais um fator que corrobora uma tendência de evolução hidrogeomórfica da AU rumo à SE, em conexão com a drenagem próxima, dada principalmente pelo desenvolvimento do horizonte saprolítico.

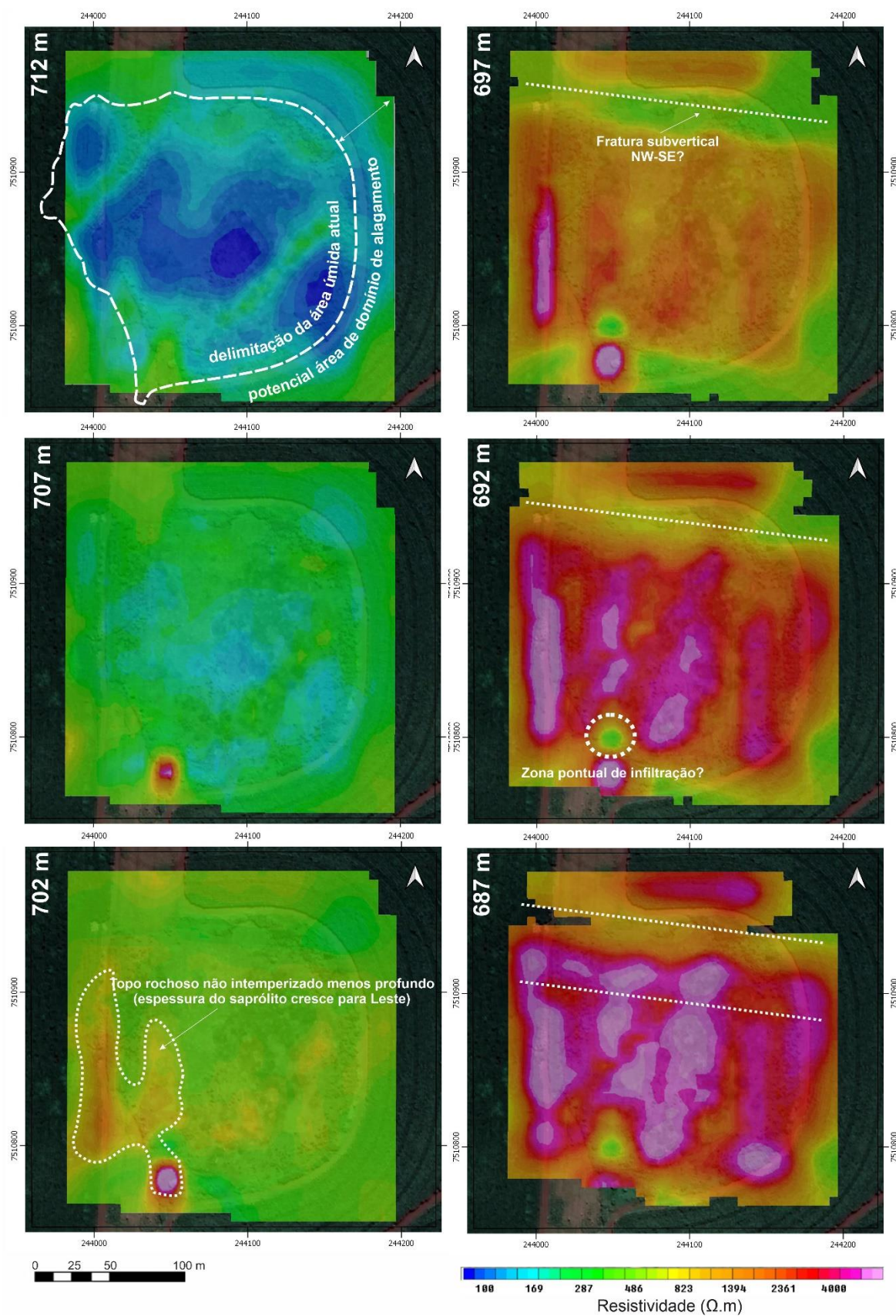
Entre as cotas 697 m e 677 m ocorre o predomínio de diabásio inalterado, que é intercalado por estruturas retilíneas de orientação NW-SE e caracterizadas por resistividade elétrica significativamente menor, com tendência de diminuição em função da profundidade (800 Ω .m a 120 Ω .m). Estes elementos são correlacionáveis com a existência de descontinuidades na rocha básica, conforme observado na linha 17 (Figura 73), que apresentam um contraste claro com as rochas circunvizinhas resistivas, maciças e inalteradas. A existência dessas fraturas cria condições preferenciais para as reações químicas de alteração da rocha básica, o que ajuda a favorecer a irregularidade topográfica do saprólito e o estabelecimento de fluxos d'água verticalizados que, por sua vez, geram a conexão hídrica entre o nível de solo saturado raso com as rochas da Formação Corumbataí. Novamente, a orientação do fraturamento pode ser um fator indireto crucial no direcionamento evolutivo da AU para uma possível conexão superficial com a drenagem.

Como mais uma forma de embasar os dados obtidos pelo método da Eletorresistividade, as medidas estruturais tomadas em afloramento de diabásio nas proximidades da área de estudo (ver mapa de localização, figura 1) foram correlacionadas com as estruturas de relativa baixa resistividade elétrica observadas nos mapas multiníveis. O diabásio aflora em aproximadamente 250 metros de forma descontínua ao longo de corte de estrada, pouco a medianamente intemperizado, esta última forma com esfoliação esferoidal e coloração ocre. A abertura das fraturas varia de 2 a 5 mm, sem preenchimento, com orientações preferenciais sub-horizontais e sub-verticais, onde as primeiras apresentaram superfícies lisas e as últimas, mais persistentes, com planos de fratura de maior rugosidade. O espaçamento é variável, inferior a 1 metro, enquanto na porção central do afloramento, o espaçamento de 1,5 metro resulta em blocos de diabásio de maior dimensão. Acima do afloramento, o manto de alteração (solo e saprólito) não ultrapassa os 5 m de espessura. Ao longo do corte, não foram observados pontos de água associadas ao fraturamento.

O conjunto de dados apontou para a existência de três famílias de fraturas, duas subverticais (350°/90° e 35°/90°) e uma subhorizontal (305°/05°) (Figura 75). Em comparação com os dados obtidos através do método da Eletorresistividade, a fratura observada no modelo de visualização em profundidade é correlacionável com a família 35°/90°, de expressão regional na área de estudo.

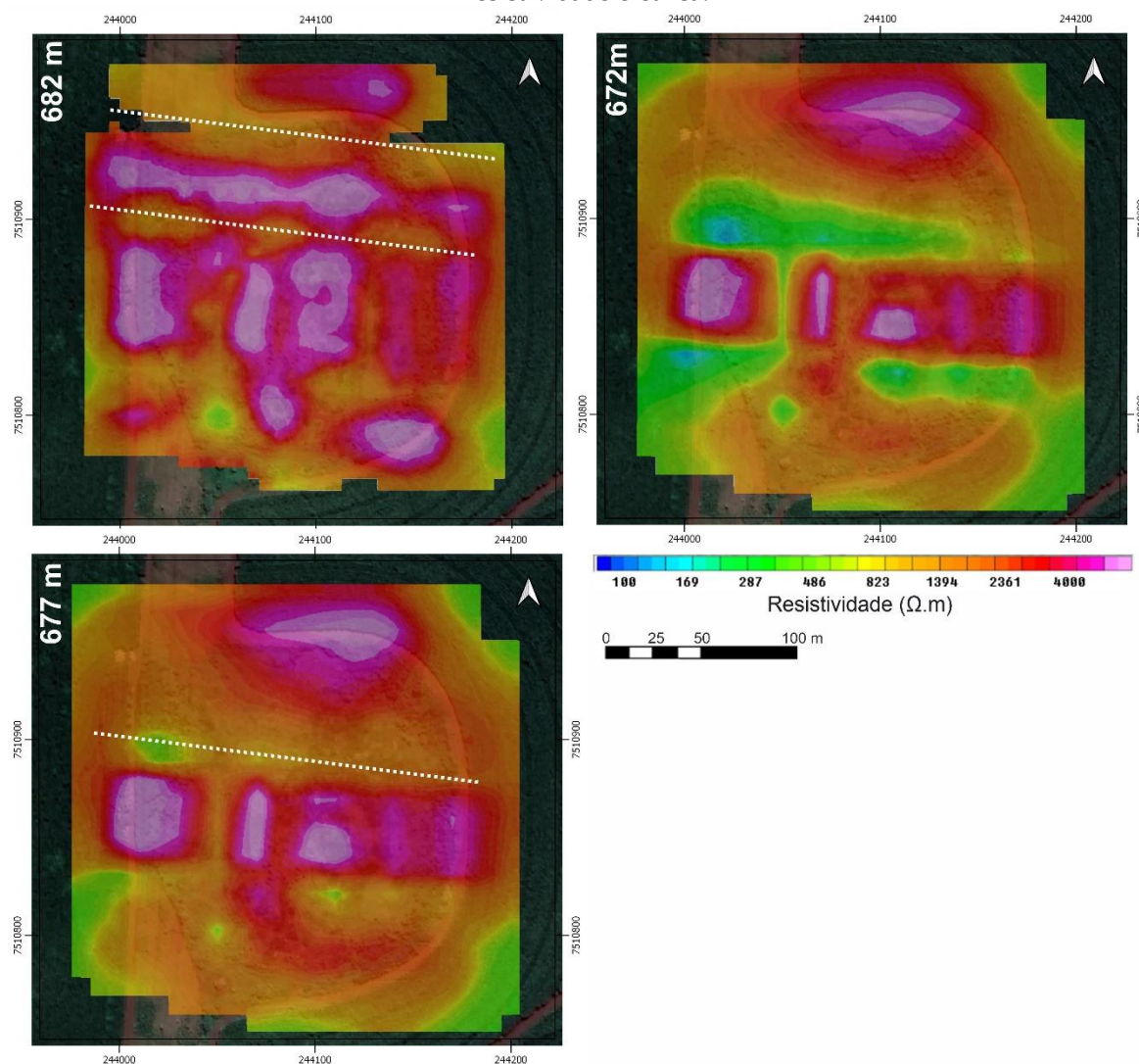
Deste modo, vale salientar a importância dos fluxos em meio fraturado na ligação entre águas superficiais e subterrâneas na questão da transferência hídrica e, provavelmente, fuga geoquímica da AU por lixiviação, ocasionada pelas mudanças sazonais nos parâmetros físico-químicos e hidrogeológicos.

Figura 74: Mapas multiníveis subsuperficiais da distribuição do parâmetro físico da resistividade elétrica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 74 (continuação): Mapas multiníveis subsuperficiais da distribuição do parâmetro físico da resistividade elétrica.



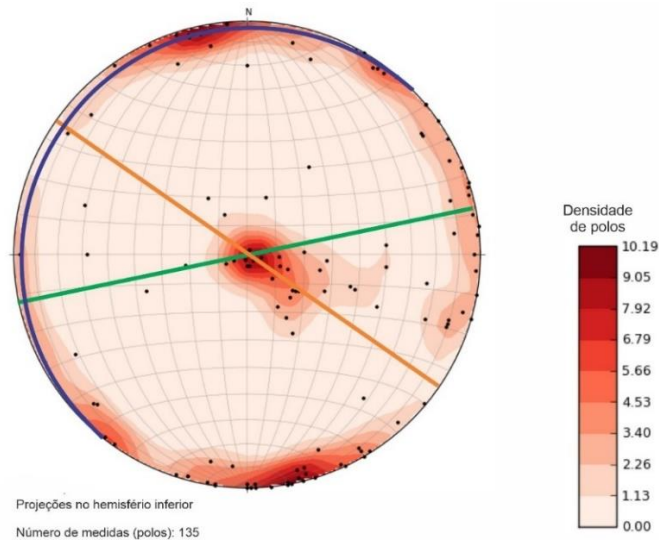
Fonte: Elaborado pelo autor.

Outro aspecto importante a ser levantado é a influência das discontinuidades do diabásio na formação e desenvolvimento da AUGI, bem como seu controle nos aspectos hidrogeomórficos em direção a NE, onde é localizada a drenagem mais próxima. Todavia, não foi possível estabelecer de forma clara nenhuma correlação entre a localização e orientação das fraturas locais com a topografia do compartimento da atual AU.

O modelo interpretativo da figura 76, por sua vez, correlaciona dados superficiais obtidos por VANT e dados subsuperficiais de Eletorresistividade, além da interpretação geológica em profundidade, com base na linha de aquisição 17, com a zona tabular de alta resistividade relacionada à soleira de diabásio com a indicação do fluxo de água por faturamento subvertical de orientação NW-SE. Ademais, as porções de resistividade intermediária indicadas

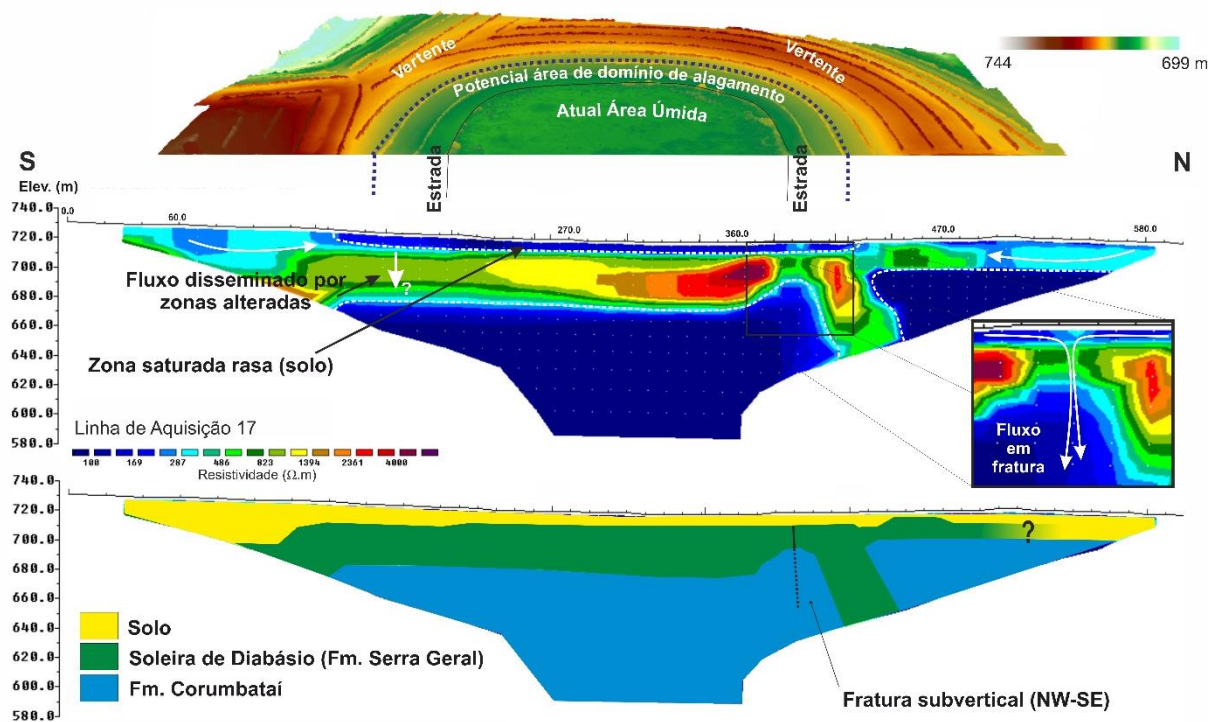
em algumas porções da rocha podem estar relacionadas a zonas de intemperismo com possível fluxo vertical difuso de água. Com o auxílio de dados altimétricos SRTM, foi possível ainda a

Figura 75: Estereograma de projeção no hemisfério inferior utilizado para a plotagem de 135 polos de fraturas em afloramento de diabásio.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 76: Integração de dados de morfologia do terreno com o modelo geofísico e a interpretação geológica local.

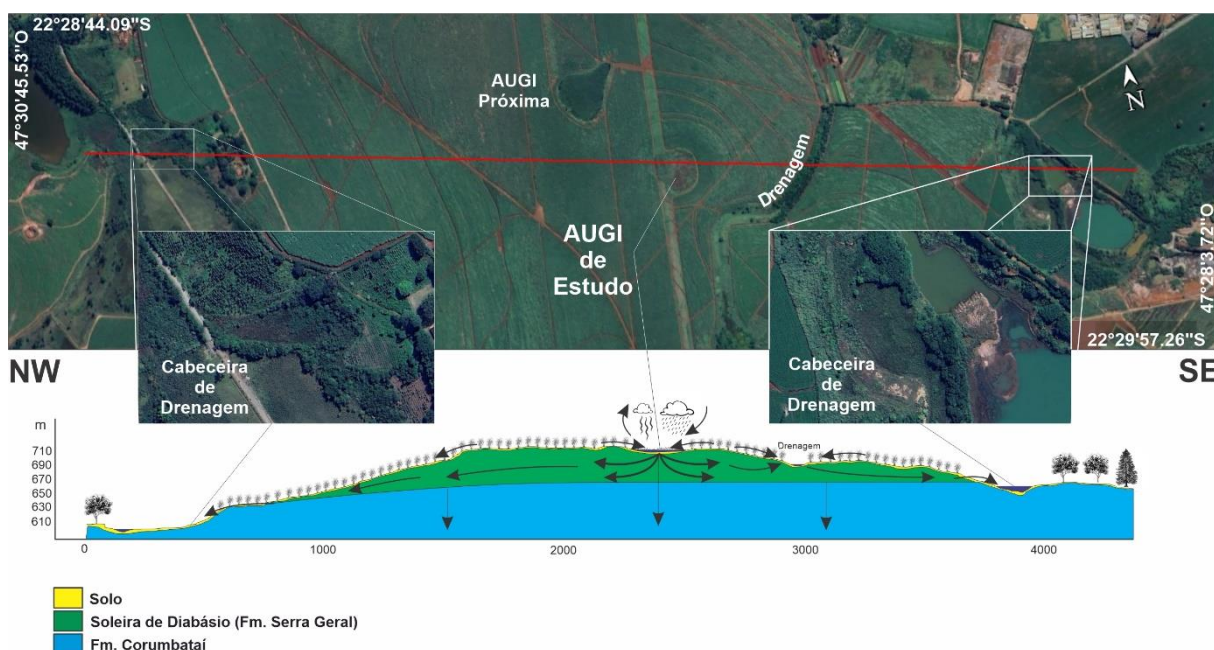


Fonte: Elaborado pelo autor.

geração de um perfil topográfico de caráter regional com orientação paralela aos fraturamentos observados no modelo de Eletorresistividade (NW-SE) (Figura 77).

As setas indicam a dinâmica hídrica superficial e subsuperficial, com a predominância de um fluxo lateral em meio fraturado (Fm. Serra Geral) em função da esperada baixa condutividade hidráulica para os litotipos da Fm. Corumbataí logo abaixo, embora fluxos verticais subordinados possam existir através desta unidade para a recarga de aquíferos mais profundos (Tubarão), haja vista o reconhecimento da Fm. Corumbataí como um aquitarde por diversos trabalhos (PINHATTI, 1998; EZAKI et al., 2016).

Figura 77: Esquema da dinâmica hidrogeológica regional da área de estudo com a indicação dos fluxos pelas setas (em domínio fraturado associado à Fm. Serra Geral e poroso associado à Fm. Corumbataí, compreendida como um aquitarde). Neste caso, a associação de AU's agem como verdadeiras “caixas d'água” na manutenção de drenagens próximas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Este modelo é corroborado pela presença e alinhamento de cabeceiras de drenagens em regiões topograficamente mais rebaixadas das vertentes da colina, onde a água subterrânea aflora e passa a sustentar drenagens que fazem parte das sub-bacias do Ribeirão do Tatu (Bacia do Piracicaba) e do Córrego Santa Gertrudes (Bacia do Corumbataí). Assim, é notável que o sistema de AU's, composto pela área de estudo e AU's vizinhas (a exemplo daquela indicada na Figura 77), não apenas age na recarga de aquíferos mais profundos, como o Tubarão, mas também perfaz uma verdadeira “caixa d'água” que mantém, de certa forma, as águas superficiais das drenagens próximas durante o período de estiagem, o que favorece de modo

direto a manutenção hídrica dos mananciais superficiais das cidades adjacentes, além de auxiliar na garantia da umidade do solo para fins agrícolas através do represamento de suas águas, conforme indicado na imagem de satélite.

8. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos em sua forma associada revelaram aspectos ambientais bastante importantes da AU num contexto agrícola extensivo em uma das regiões mais populosas e industrialmente desenvolvidas do Brasil. Assim, a melhor compreensão acerca das funções hidrogeológicas desempenhadas pelo ecossistema, bem como as pressões e riscos ambientais nas quais estão inseridos, certamente contribuirão para ações locais e regionais de gestão hídrica e o avanço do tema no ambiente social e político, com possíveis reverberações no âmbito legal e de proteção de ecossistemas ameaçados, como é o caso das AU's do Cerrado.

A compartimentação da AU com base em critérios hidromórficos e de dinâmica hídrica superficial compreendeu três domínios distintos: “atual AU”, caracterizada pelo perímetro definido pelas condições claramente hidromórficas do solo com acúmulo de água superficial (zona alagada) e vegetação adaptada, com possível variação (aumento ou encolhimento) ao longo do tempo em função de ações antrópicas e/ou mudanças climáticas; “potencial área de expansão do alagamento”, entendida como a auréola de relevo suave e rebaixado que envolve o compartimento anterior, cujo alagamento não poderia ser descartado em condições anormais de precipitação; e “vertentes”, domínio compreendido por terrenos mais íngremes, sem hidromorfia e onde é praticada a agricultura, que circulam totalmente o ecossistema na forma de um anfiteatro romano. Essa característica denota uma conexão hídrica exclusivamente subsuperficial na forma de uma AUGI.

De modo complementar, os dados de GPS Diferencial associados ao VANT, através da ortoimagem e MDE, possibilitaram a caracterização física superficial em termos da distribuição de vegetação, geração de MDE delimitação da zona alagada e cálculo do volume de água superficial, uma importante função hidrogeológica de armazenamento hídrico que engloba um total de 14.972,81 m³ de água doce no ápice da estação úmida, além de estar vulnerável pelo uso da terra ao seu redor.

Em relação aos impactos ambientais, foram delimitadas porções de terreno alterados em termos de dinâmica hídrica superficial, supressão da vegetação nativa adaptada e conversão do uso de solo para práticas agrícolas. Assim, foi compreendido que as margens úmidas da “atual área úmida” e a “potencial área de expansão do alagamento” são zonas altamente críticas em termos de impactos antrópicos diretos e indiretos (também evidenciados por gamaespectrometria) e que merecem toda a atenção em termos de gerenciamento ambiental e manejo do solo adjacente.

A avaliação pedológica, geoquímica e da dinâmica hídrica superficial e subsuperficial rasa englobaram dados descritivos dos perfis de solo, análises mineralógicas e químicas (quantificações diretas e por meio da gamaespectrometria), além da determinação da variação espacial do parâmetro hidrogeológico da condutividade hidráulica. Através dos resultados foi possível observar que a variação sazonal do nível freático ocorre, ao menos subsuperficialmente, até os domínios da “potencial área de expansão do alagamento” com base na identificação de plintitas em horizonte saprolítico. Ademais, é bastante plausível o encolhimento da AU de estudo em razão da conversão do solo pela agricultura em função da presença de montmorilonita como um indicativo de condições pretéritas de drenagem deficiente.

A oscilação sazonal acentuada do nível freático é provavelmente uma das características mais importantes da área de estudo do ponto de vista das dinâmicas hídrica e pedoquímica, pois indicaria uma perda de água para unidades hidrogeológicas sotopostas, além é claro dos mecanismos de evaporação e evapotranspiração. Não obstante, a consequente variação dos parâmetros físico-químico locais, em tese, influenciariam na mobilidade horizontal e vertical de cátions metálicos e seus compostos, haja vista que a redução da área alagada daria lugar a condições oxidantes, ao menos nos níveis mais superficiais e intermediários.

A distribuição dos metais guia K, U e Th nos compartimentos da AU exibiram padrões bastante distintos, sobretudo pelo claro acúmulo do U no solo ao longo das margens úmidas, alguns pontos das vertentes e total ausência na porção central. O Th, por sua vez, apresentou distribuição espacial mais errática, porém com uma certa tendência de acúmulo nas margens úmidas com relativo prolongamento em direção ao interior, além de altas concentrações em porções específicas das vertentes. Por fim, o K apresentou comportamento praticamente aleatório em todos os seguimentos. Assim, a frente redutora instalada nas margens da AU, principalmente nos períodos úmidos, perfaz um aspecto fundamental no acúmulo de certas espécies químicas, como o U em sua forma tetravalente, enquanto a mobilidade do Th estaria mais associada à transporte coluvial em virtude da adsorção e complexação deste metal com a fração sólida do solo, fato este que evidencia ainda o aporte de sedimentos das vertentes para o interior da AU (presença de gibbsita e caulinita). Em contrapartida, o K seria o elemento mais lábil dentre os mencionados, particularmente durante as estações mais úmidas, embora os mecanismos de retenção deste metal na fração sólida do solo também sejam importantes.

É fundamental mencionar que o local de estudo não configura um sítio contaminado, haja vista que os valores observados de U e Th são correlacionáveis com dados descritos na literatura, além do fato dos demais metais potencialmente tóxicos analisados tenham exibido

valores abaixo do limite de quantificação e/ou abaixo dos valores de referência de intervenção definidos por órgãos ambientais. No entanto, a análise da distribuição espacial baseada no método de espectrometria gama mostrou ser uma ferramenta muito útil para estabelecer um modelo da dinâmica pedoquímica inicial e a definição de áreas-alvo para amostragem de solo em um ambiente tão complexo em termos de mobilidade de metais, embora cada elemento específico tenha seu próprio comportamento sob diferentes parâmetros ambientais (pH, Eh, temperatura, etc.). Assim, o U, Th e K no contexto das aquisições gama neste estudo podem ser considerados “metais guia” para uma avaliação preliminar da variabilidade espacial e acúmulo de metais no solo através da geração de mapas de distribuição, onde análises mais aprofundadas sobre a natureza e quantificação de possíveis ligantes e complexos químicos, sobretudo relacionados ao U ou outros metais, são necessárias.

A condutividade hidráulica foi bastante contrastante na comparação entre o interior da AU, de valores significativamente baixos, e suas vertentes com maior condutividade hidráulica, embora uma faixa de aproximadamente 10 m ao longo das margens úmidas aparenta desempenhar um papel importante na infiltração do escoamento superficial para níveis mais profundos. Por outro lado, porções de solos com baixa condutividade hidráulica foram observados nas vertentes e associados à compactação do solo por conta do emprego de maquinários agrícolas pesados, fato este que pode aumentar o escoamento superficial e, conseqüentemente, a carga de sedimentos em direção ao interior da AU, onde foi observada a presença de Th presumivelmente associada ao transporte coluvial. Ademais, as estradas de acesso também desempenham papel importante na desestabilização e intensificação do escoamento superficial em virtude do transporte de sedimentos, novamente evidenciado por observações em campo, dados VANT e gamaespectrometria.

Assim, em vista do acúmulo do U em horizontes menos profundos do solo, bem como a mobilização superficial do Th adsorvido, as dinâmicas hídricas superficiais e subsuperficiais rasas desempenham um papel fundamental no transporte e distribuição de metais e, possivelmente, agroquímicos que podem ingressar no sistema hidrológico local e assim impactar a qualidade das águas subterrâneas e, eventualmente, superficiais.

Por fim, a arquitetura dos componentes hidrogeológicos, bem como a dinâmica hídrica em subsuperfície, foram caracterizados pelo método geofísico da Eletrorresistividade através de modelos bidimensionais na forma de seções e mapas em profundidade (*slices*). A soleira de diabásio da Formação Serra Geral com cerca de 35 m de espessura e caracterizada, em sua maior parte, por elevados valores de resistividade elétrica contrasta com o solo sobreposto, cuja saturação decresce gradualmente do centro para as vertentes. Essa zona de baixa resistividade,

associada ao preenchimento total de água nos poros do solo, se estende até os domínios da “potencial área de expansão da área alagada”, onde foi observada a presença de plintitas em nível saprolítico e que denota o alcance do nível saturado, ao menos subsuperficialmente, para além dos perímetros da atual AU.

Abaixo da soleira, os litotipos da Formação Corumbataí apresentaram uma resposta homogênea do parâmetro físico da resistividade elétrica, que também evidenciou a total saturação do meio. Entretanto, foi a partir da linha de aquisição 17 e dos *slices* que foi possível a identificação de discontinuidades no diabásio, provavelmente na forma de fraturas de orientação NW-SE, fato corroborado por dados estruturais obtidos em afloramento próximo. A presença destas estruturas acarretaria a transmissão hídrica para níveis mais profundos, porém a natureza não aquífera da Formação Corumbataí, ao menos, tornaria esse escoamento vertical para unidades armazenadoras sotopostas (Aquífero Tubarão) bastante lento e difuso. Assim, é provável que a água contida no meio fraturado flua majoritariamente através de fluxos laterais até seu afloramento na forma de cabeceiras de drenagens, conforme evidências levantadas por dados de sensoriamento remoto.

De modo geral, a integração dos métodos aplicados em superfície e níveis subsuperficiais distintos geraram um quadro bastante robusto da complexidade do arcabouço hidrogeológico local e sua influência nas dinâmicas hídrica e geoquímica. Desta maneira, foram observados desde impactos ambientais mais evidentes, como a conversão do uso do solo e a supressão da vegetação local, até os mais complexos e menos óbvios como o acúmulo de certos metais em compartimentos hidromórficos específicos e o aporte de sedimentos no interior da AU. Certamente, o resultado mais importante tenha sido o estabelecimento das margens úmidas como setores ativos importantes da AU para a manutenção da qualidade hídrica e de ligação direta entre as águas superficiais e subterrâneas, uma vez que estas atuam como verdadeiras “esponjas geoquímicas” e possam ser consideradas zonas extremamente críticas em termos de amortecimento e sensibilidade ambiental.

Por outro lado, os MDE's gerados e os dados de Eletrorresistividade garantiram um vislumbre bastante claro da dinâmica hídrica superficial e subsuperficial, e sua influência na mobilidade geoquímica local, bem como a geração de um modelo de fluxo em meio fraturado mais profundo que também garante a manutenção das águas superficiais do ponto de vista regional. Assim, além da recarga de aquíferos mais profundos (de forma menos intensa pela baixa condutividade hidráulica da Formação Corumbataí), a AU em questão possui uma função ecológica extremamente importante, uma vez que forma um verdadeiro reservatório de água

doce na manutenção e sustento de drenagens próximas, que por sua vez garantem suprimento de água para mananciais e atividades agrícolas durante o período de estiagem.

Os resultados corroboram o fato de que as áreas úmidas são ecossistemas muito distintos e importantes, com muitas funções ambientais que devem ser consideradas em políticas governamentais, gestão de recursos hídricos e discussões públicas. Assim, os resultados visam contribuir para destacar a importância das AU's em sua forma individual ou coletiva no âmbito da paisagem hídrica regional.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEM. *Terrameter LS – Instruction manual*. Sundbyberg: ABEM Instrument, 122 p. 2012.

ACHARYA, G. Wetlands: economic value. In: WANG, Y. *Encyclopedia of Natural Resources Volume I – Land*; WANG, Y. 1st ed. Boca Raton. CRC Press, 2014. p. 553-557

AGÊNCIA NACIONAL DA AVIAÇÃO CIVIL (Brasil). *Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial RBAC-E nº 94*. Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. 2017. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-erbac/rbac/rbac-e-94/@@display-file/arquivo_norma/RBACE94EMD00.pdf Acesso em: 22 de Nov. 2022.

ALBARÈDE, F. *Geochemistry: An Introduction*. 2nd ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 355 p. 2009.

ALMEIDA, F.F.M. Origem e evolução da plataforma brasileira. *Bol. da Divisão de Geologia e Mineralogia*, Rio de Janeiro, n 241. 1967.

ALMEIDA, F.F.M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. *Bol. Instituto de Geografia e Geologia*, São Paulo, n. 41. 1964.

AN, S.; LI, H.; GUAN, B.; ZHOU, C.; WANG, Z.; DENG, Z.; ZHI, Y.; LIU, Y.; XU, C.; FANG, S.; JIANG, J.; LI, H. China's Natural Wetlands: Past Problems, Current Status, and Future Challenges. *Ambio*. 36(4), 335–342. 2007

ANA (Agência Nacional de Águas). *Mapa de afloramento dos aquíferos do Brasil: Disponibilidade de águas subterrâneas nos principais sistemas aquíferos*. Brasília: ANA, versão 1, 2013. Escala 1:1.000.000. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2014/MapaAreasDeAfloramentoDosAquiferosDoBrasil.pdf>> Acesso em: 2 fev. 2020

ANDERSON, M.G. *Encyclopedia of hydrological sciences*. 1st ed. Hoboken: J. Wiley. 2005.

APPELS, W.M.; GRAHAM C.B.; FREER J.E.; MCDONNELL J.J. Factors affecting the spatial pattern of bedrock groundwater recharge at the hillslope scale. *Hydrol. Process*. 29(21): 4594–4610. 2015

ARAB, P.B.; PERINOTTO, J.A.J.; ASSINE, M.L. Grupo itararé (p–c da Bacia do Paraná) nas regiões de Limeira e Piracicaba – SP: contribuição ao estudo das litofácies. São Paulo, *Geociências*, v. 28, n. 4, p. 501-521. 2009.

ARIF. M.; LIU, G.; YOUSAF, B.; AHMED, R.; IRSHAD, S.; ASHRAF, A.; ZIA-UR-REHMAN, M.; RASHID, MS. Synthesis, characteristics and mechanistic insight into the clays and clay minerals-biochar surface interactions for contaminants removal-a review. *J Clean Prod*. [s.l.], 310. 2021.

ARNDT, J.L.; RICHARDSON, J.L. Hydrology, salinity and hydric soil development in a North Dakota prairie-pothole wetland system. *Wetlands*, [s.l.], 8:93–108. 1988

ARNDT J.L.; RICHARDSON J.L. Temporal variations in the salinity of shallow ground water from the periphery of some North Dakota wetlands. *J. Hydrol.*, [s.l.], 141:75–105. 1993.

ARREGUI, L.M.; QUEMADA, M. *Drainage and nitrate leaching in a crop rotation under different N-fertilizer strategies: application of capacitance probes*. Plant Soil, [s.l.], 288, 57–69. 2006.

ASPACER (Associação Paulista das Cerâmicas de Revestimento). *Economia*. Santa Gertrudes, 2021. Disponível em: <http://www.aspecer.com.br>. Acesso em: 06 de agosto de 2021.

ATTWA, M.A.; ALI, A.M. Structural Geophysics Investigations using GIS and DC Resistivity Techniques: Hydrogeological Implications of Wadi Ramleiya. Eastern Desert, Egypt. *Asian J. Appl. Sci.*, [s.l.], 06 (05), 277–288. 2018

AYOLABI, A.A.; ENOH I.J.E.; FOLORUNSO A.F. Engineering Site Characterization Using 2-D and 3-D Electrical Resistivity Tomography. *Earth Science Research*, [s.l.], 2(1), 133–142. 2013

AZEVEDO, A.C.; VIDAL-TORRADO, P. Esmeclita, vermiculita, minerais com hidróxi entrecamadas e clorita. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. *Química e mineralogia do solo*, parte 1. 1º ed. Viçosa. SBCS, 2009. P. 381–426

BALLUT-DAJUD, G.A.; SANDOVAL HERAZO, L.C.; FERNÁNDEZ-LAMBERT, G.; MARÍN-MUÑIZ, J.L.; LÓPEZ MÉNDEZ, M.C.; BETANZO-TORRES, E.A. Factors affecting wetland loss: A review. *Land*, 11(3), 434. 2022.

BATAYNEH, A.T. Use of electrical resistivity methods for detecting subsurface fresh and saline water and delineating their interfacial configuration: a case study of the eastern Dead Sea coastal aquifers. *Jordan Hydrogeol.*, [s.l.], 14:1277–1283. 2006.

BAZILEVSKAYA, E.; ROTHER, G.; MILDNER, D.F.R.; PAVICH, M.; COLE, D.; BHATT, M.P.; JIN, L.; STEELFEL, C.I.; BRANTLEY, S.L. How oxidation and dissolution in diabase and granite control porosity during weathering. *Soil Sci. Soc. Am*, [s.l.], 79:55–73. 2014.

BEAMISH, D. Relationships between gamma-ray attenuation and soils in SW England. *Geoderma*, [s.l.], 174–186. 2015.

BECEGATO, V.A.; FERREIRA, F.J.F. Gamaespectrometria, resistividade elétrica e susceptibilidade magnética de solos agrícolas no noroeste do estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geofísica*, [s.l.], 23(4): 371-405. 2005

BECEGATO, V.A.; FERREIRA, F.J.F.; CABRAL, J.B.P.; RAFAELLI NETO, S.L. Gamma-ray Spectrometry Sensor and Geochemical Prospecting in an Area of Sugar Cane Plantation. *Braz. arch. biol. technol.*, [s.l.], v.51 n.1, 1-10. 2008.

- BERNÁLDEZ, F.G.; BENAYAS, J.M.R.; MARTÍNEZ, A. Ecological impact of groundwater extraction on wetlands (Douro Basin, Spain). *Journal of Hydrology*, [s.l.], 141: 219-238. 1993.
- BIDWELL, J.R. Physical and chemical monitoring of wetland water. In: ANDERSON J.T.; DAVIS C.A. (eds). *Wetland techniques*. Dordrecht: Springer, 2013, p. 325–353.
- BIRCH, G.F.; MATTHAI, C.; FAZELI, M.S.; SUH J.Y. Efficiency of a constructed wetland in removing contaminants from stormwater. *Wetlands*, [s.l.], vol. 24(2): 459-466. 2004.
- BLAIN, G. C.; BRUNINI, O. Análise da escola temporal de monitoramento das secas agrícolas e meteorológicas no estado de São Paulo. *Revis. Bras. de Meteorol.*, [s.l.], 22(2), 255-261. 2007.
- BOHN, H.L.; McNEAL, B.L.; O'CONNOR, G.A. *Soil chemistry*, 3ª ed. New York: John Wiley & Sons. 2001.
- BONOTTO, D.M. *Radioatividade nas águas: da Inglaterra ao Guarani*. São Paulo: Editora UNESP, 2004. 251 p.
- BORDONAL, R.O.; CARVALHO, J.L.N.; LAL, R.; FIGUEIREDO, E.B.; OLIVEIRA, B.G.; LA SCALA JÚNIOR, N. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, [s.l.], V. 38: 13. 2018.
- BOUSQUET, P.; CIAIS, P.; MILLER, J. et al. Contribution of anthropogenic and natural sources to atmospheric methane variability. *Nature*, [s.l.], 443, 439–443. 2006.
- BOYLE, R.W. *Geochemical prospecting for thorium and uranium deposits*, Amsterdam-Oxford-New York : Elsevier-Scientific Publishing Company, 1982. 498 p.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L. et al. *Engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável*. 2ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 332 p. 2005.
- BRANTLEY, S.L.; WHITE, T.S.; WHITE, A.F.; SPARKS, D.; RICHTER, D.; PREGITZER, K.; DERRY, L.; CHOROVER, J.; CHADWICK, O.; APRIL, R.; ANDERSON, S.; AMUNDSON, R. Frontiers in exploration of the critical zone. Report. *National Science Foundation (NSF)*, Newark, 30, 1–30, 2006.
- BROWN, R.; ZHANG, Z.; COMEAU, L.P.; BEDARD-HAUGHN, A. Effects of drainage duration on mineral wetland soils in a Prairie Pothole agroecosystem. *Soil and Tillage Research*, [s.l.], 168:187–197. 2017.
- BULLOCK, A.; ACREMAN, M. The role of wetlands in the hydrological cycle. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* European Geosciences Union, [s.l.], 2003, 7 (3), 358 - 389. 2003.
- CABALLERO, B.; TRUGO, L.; FINGLAS, P. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. London: Academy Press. 2003.
- CAETANO-CHANG M.R.; WU F.T. A composição faciológica das formações Pirambóia e Botucatu no centro-leste paulista e a delimitação do contato entre as unidades. In: SIMPÓSIO

DE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 1. 1993, Rio Claro-SP. *Anais [...]* Boletim Resumos, 1993. p. 93.

CAMP, W.G.; HEATH-CAMP, B. *Managing our natural resources*. 6th Edition. Stanford: Cengage. 2016.

CAMPOS, H.C.N.S. Águas subterrâneas na Bacia do Paraná. *Geosul*, [s.l.], v. 19, n. 37, 47 - 65, 2004.

CARDOSO, L.X. *Análise de radionuclídeos naturais e artificiais do solo e de produtos alimentícios do estado de Sergipe, principalmente da região do platô de Neópolis (SE)*. Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Física, Universidade Federal de Sergipe, Aracaju. 2012

CASAGRANDE, M.F.S.; BONOTTO, D.M. The use of γ -rays analysis by HPGe detector to assess the gross alpha and beta activities in waters. *Applied Radiation and Isotopes*, [s.l.], 137, 1–11, 2018.

CASAGRANDE, M.F.S.; MOREIRA, C.A.; TARGA, D.A. Study of generation and underground flow of acid mine drainage in waste rock pile in an uranium mine using electrical resistivity tomography. *Pure Appl. Geophys*, [s.l.], 177, pp. 703-721. 2020.

CASAGRANDE, M.F.S.; FURLAN, L.M.; MOREIRA, C.A.; ROSA, F.T.G.; ROSOLEN, V. Non-invasive methods in the identification of hydrological ecosystem services of a tropical isolated wetland (Brazilian study case). *Environmental Challenges*, [s.l.], 5, 100233. 2021.

CAVALCANTI, I.F.A.; KOUSKY, V.E. Drought in Brazil during Summer and Fall 2001 and associated atmospheric circulation features. *Climanálise*, [s.l.], ano 2, n. 1, 1-10, 2002.

CELLA, D.; ROSSI, M.C.L. Análise do mercado de fertilizantes no Brasil. *Interface Tecnológica*, [s.l.], v.7, n.1. 2010

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Decisão de diretoria n.º 125/2021/e, de 09 de dezembro de 2021 sobre Aprovação da Atualização da Lista de Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea. Cetesb, 2021.

CERVI, E.C.; CLARK, S.; BOYLE, K.E.; GUSTAFSSON, J.P.; BAKEN, S.; BURTON JR., G.A. Copper transformation, speciation, and detoxification in anoxic and suboxic freshwater sediments. *Chemosphere*, v. 282, 2021.

CHAPLOT, V.; WALTER, C.; CURMI, P.; LEGACHERIE, P.; KING, D. Using the topography of the saprolite upper boundary to improve the spatial prediction of the soil hydromorphic index. *Geoderma*, [s.l.], 123, 343–354. 2004.

CHEREVKO, S; MAYRHOFER, K.J.J. On-Line Inductively Coupled Plasma Spectrometry in Electrochemistry: Basic Principles and Applications. In: WANDELT, K. *Encyclopedia of Interfacial Chemistry*. Oxford: Elsevier. 326–335. 2018

CHRISTOFOLETTI, C.A.; ESCHER, J.P.; CORREIA, J.E.; MARINHO, J.F.U.; FONTANETTI, C.S. Sugarcane vinasse: Environmental implications of its use. *Waste Management*, [s.l.], 33: 2752-2761. 2013.

CHRISTOFOLETTI, S. R.; MORENO, M. M. T. Sustentabilidade da Mineração no Polo Cerâmico de Santa Gertrudes, São Paulo – Brasil. *Cerâmica Industrial*, São Paulo, v.16, n. 3, 1-8, 2011.

CHU, S.Y.F., Ekström, L.P., Firestone, R.B., 1999. The Lund/LBNL Nuclear Data Search. <http://nucleardata.nuclear.lu.se/nucleardata/toi/index.asp>.

CHU, S.Y.F.; EKSTRÖM, L.P.; FIRESTONE, R.B. *The Lund/LBNL Nuclear Data Search*. 1999. Disponível em: <<http://nucleardata.nuclear.lu.se/nucleardata/toi/index.asp>> Acesso em 09 de junho de 2015.

CHULÈS, J.P.; DELFINER P. *Geostatistics—modeling spatial uncertainty*. 2nd ed. Hoboken: Wiley, p 726, 2012.

CINELLI, G.; TOLLEFSEN, T.; BOSSEW, P.; GRUBER, V.; BOGUCARSKIS, K.; DE FELICE, L.; DE CORT, M. Digital version of the European Atlas of natural radiation. *J Environ Radioact* 196:240–252. 2019.

COCCO, G.; FANFANI, L.; ZANAZZI, P.E. Potassium. In: WEDEPOHL, K.H. (Ed.) *Handbook of Geochemistry*. New York: Springer-Verlag, 1969. v. 2, cap. 19

COELHO, R. C. *Estudo hidroquímico e isotópico do aquífero bauru, sudoeste do Estado de São Paulo*. 1996. 103 f. Dissertação (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

COLES, B.; COLES, J. *People of the wetlands: bogs, bodies and lake-dwellers*. New York: Thames and Hudson Inc., 1989.

CONCEIÇÃO F.T.; BONOTTO D.M. Use of U-isotopes disequilibrium to evaluated the weathering rates and fertilizer-derived uranium at Sao Paulo State, Brazil. *Environmental Geology*, [s.l.], 44(4): 408–418. 2003.

CONCEIÇÃO, F.T.; BONOTTO, D.M. Dose de exposição radiométrica e composição das rochas sedimentares e ígneas na bacia do Rio Corumbataí. *Rev. Bras. Geof.*, [s.l.], 24 (1), 37-48. 2006a.

CONCEIÇÃO, F.T.; BONOTTO, D.M. Radionuclides, heavy metals and fluorine incidence at Tapira phosphate rocks, Brazil, and their industrial (by) products. *Environ. Pollut.*, [s.l.], 139 (2): 232-243. 2006b.

CONLY, F.M.; VAN DER KAMP, G. Monitoring the hydrology of Canadian prairie wetlands to detect the effects of climate change and land use changes. *Environmental Monitoring and Assessment*, [s.l.], 67:195–215. 2001.

COOK, S.E.; CORNER, R.J.; GROVES, P.R.; GREALISH, G.J. Use of airborne gamma radiometric data for soil mapping. *Australian Journal of Soil Research.*, [s.l.], 34, 183–194. 1996.

COWARDIN, L.M.; CARTER, V.; GOLET, F.C.; LAROE, E.D. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. Washington: Publication FWS/OBS-79/31 US. *Department of Interior, Fish and Wildlife Service.* 1979.

CUMBERLAND, S.A.; DOUGLAS, G.; GRICE, K.; MOREAU, J.W. Uranium mobility in organic matter-rich sediments: A review of geological and geochemical processes. *Earth-Science Reviews.* 159:160–185. 2016.

CURI, N.; FRANZMEIER, D.P. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, [s.l.], 48:341–346, 1984.

DAHL, T.E. Wetlands losses in the United States 1780s to 1980s. Washington: *Department of the Interior, U.S. Fish and Wildlife Service*, 21 p. 1990.

DANDOIS, J.P.; OLANO, M.; ELLIS, E.C. Optimal altitude, overlap, and weather conditions for computer vision UAV estimates of forest structure. *Remote Sens.*, [s.l.], 7, 13895–13920. 2015.

DAVATZ, Thomas. *Memórias de um colono no Brasil* (1850). São Paulo: EDUSP, 1980.

DAVIDSON NC. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Mar. Fresh W. Res.*, [s.l.], 65: 934. 2014.

DELGADO-RODRIGUEZ, O.; FLOREZ-HERNANDEZ, D.; AMEZCUA-ALLIERI, M.A.; ROSAS-MOLINA, A.; MARIN-CORDOVA, S. Joint interpretation of geoelectrical and volatile organic compounds data: A case study in a hydrocarbon contaminated urban site. *Geofísica Internacional*, [s.l.], 53(2), 183–198. 2014

DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). Estudo de Águas Subterrâneas - Regiões Administrativas 10 e 11 - Presidente Prudente e Marília. São Paulo: *DAEE*, v.1 e 2. 1979.

DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). *Mapa de águas subterrâneas do estado de São Paulo*. São Paulo: DAEE: IPT: IG: CPRM, 2005. 3 v. Escala 1:1.000.000. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutogeologico/2012/03/mapade-aguas-subterraneas-do-estado-de-sao-paulo-escala-11-000-000/>> Acesso em: 07 de junho de 2022.

DEFARGE, N.; VENDÔMOIS, S.; SÉRALINI, G.E. Toxicity of formulants and heavy metals in glyphosate-based herbicides and other pesticides. *Toxicology Reports*, [s.l.], v. 5, 156-163. 2018.

DIEGUES A.C.S. *An inventory of Brazilian wetlands*. IUCN – The World Conservation Union, Gland, 216 pp. 1994.

DINIZ, J.A.O.; BOMFIM, L.F.C.; FREITAS, M.A. de (Coord.). *Mapa hidrogeológico do Brasil ao milionésimo: Sistema de Informações Geográficas - SIG*. Recife: CPRM Programa de Cartografia Hidrogeológica, 2014. Escala 1:1.000.000. Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=756&sid=9> Acesso em: 05 mai. 2017.

DINIZ, J.A.O.; PAULA, T.L.F; GENARO, D.T; KIRCHHEIN, R.E.; FREDDO FILHO, V.J.; MOURÃO, M.A.A.; FRANZINI, A.S. Crise hídrica no Brasil: o uso das águas subterrâneas como reforço no abastecimento público. *CPRM*, Rio de Janeiro. 2021.

DONZELLI, J.L. Preservação dos solos agrícolas. In: MACEDO, I.C. *A Energia da Cana-de-açúcar - Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil*. São Paulo: Berlendis & Vertecchia, [s.l.], p. 135-142. 2005

DOU (Diário Oficial da União). Ministério da Saúde, Portaria nº 2.914, de 12 de Dezembro de 2011, p. 39, Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br>, acesso em: 30/04/2021.

DUARTE, C. R. *Radioelementos naturais na área do Projeto Rio Preto (GO)*. 2002. 160 p. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP – Rio Claro, 2002.

DUPRÈ, B.; GAILLARDET, J.; ROUSSEAU, D.; ALLÈGRE, C.J. Major and trace element of river-borne material: the Congo Basin. *Geochim. Cosmochim.*, [s.l.], Acta 60, 1301-1321. 1996.

EISENBUD M.; GESELL, T. *Environmental Radioactivity from Natural, Industrial, and Military Sources*. San Diego, CA: Academic. chapter 6 (Natural Radioactivity). 1997.

ELIA NETO, A.; SHINTAKU, A. Usos e reúsos de água e geração de efluentes. In: *Manual de conservação e reúso de água na agroindústria sucroenergética*. Brasília: ANA, FIESP, UNICA e CTC, 2009. p. 69-179.

ELRICK, D.E.; REYNOLDS W.D.; TAN, K.A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analyses. *Ground Water Monit Rev*, [s.l.], 184 – 193. 1989.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: SÚMULA DA 10. REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS. 1979. Rio de Janeiro. *Anais [...]* Rio de Janeiro, 1979. 83p.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). *Tecnologias de produção de soja- Região central do Brasil 2014*. Londrina: EMBRAPA. 2014.

EMSLEY, J. *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*. Oxford: Oxford University Press, 2001.

ERDI-KRAUSZ G.; MATOLIN M, MINTY B.; NICOLET J.P.; REFORD W.S.; SCHETSELAAR E.M. Guidelines for radioelement mapping using gamma-ray spectrometry data: also as open access e-book. *International Atomic Energy Agency (IAEA)*, [s.l.], 2003.

ERNESTO, M.; RAPOSO, M.I.B.; MARQUES, L.S.; RENNE, P.R.; DIOGO, L.A.; DEMIN, A. Paleomagnetism, geochemistry and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the North-eastern Paranámagmatic province: tectonic implications. *Journal of Geodynamics*, São Paulo. v. 28, p. 321-340, 1999.

EVANS, C.V.; FRANZMEIER, D.P. Color index values to represent wetness and aeration in some Indiana soils. *Geoderma*, [s.l.], 41(3–4):353–368. 1988.

EWART-SMITH J.; OLLIS D.; DAY J.; MALAN, H. National Wetland Inventory: development of a Wetland Classification System for South Africa. Report prepared for the *Water Research Commission and South African National Biodiversity Institute*, [s.l.], 2006.

EZAKI, S.; PÉREZ-AGUILAR, A.; HYPOLITO, R.; SHINZATO, M.C. Anomalias de flúor nas águas subterrâneas do estado de São Paulo. *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo, 37 (1), 65-98, 2. 2016.

FERNANDES, L.A.; COIMBRA, A.M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). *Revista brasileira de Geociências*, [s.l.], 30(4), 717-728. 2000.

FERNANDES, L. A. Mapa litoestratigráfico da parte oriental da Bacia Bauru (PR, SP e MG), Escala 1:1.000.000. *Boletim Paranaense de Geociências*, [s.l.], n 55, 53-66, 2004.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). *AQUASTAT website*. 2016. FAO. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm>_Website> Acesso em [10/03/2019].

FILIZOLA, H. F.; GOMES, M.A.F.; SOUZA, M.D. A amostragem de solos. In: FILIZOLA, H. F.; GOMES, M.A.F.; SOUZA, M.D. *Manual de Procedimentos de Coleta de Amostras em Áreas Agrícolas para Análise da Qualidade Ambiental: Solo, Água e Sedimentos*. Brasília: EMBRAPA, 2006. Cap. 2, 25-33.

FIANCO, C.B.; VIDOTTI, R.M.; PIRES, A.C.B. Phosphorite porspection using ground gamma spectrometry in northeast Goiás state, Brazil. *Revista Brasileira de Geofísica*, [s.l.], 32(4): 721-733. 2014.

FILOSO, S., DO CARMO, J.B., MARDEGAN, S.F., LINS, S.R.M., GOMES, T.F., MARTINELLI, L.A. Reassessing the environmental impacts of sugarcane ethanol production in Brazil to help meet sustainability goals. *Renew. Sust. Energ. Rev*, [s.l.]. 52, 1847–1856. 2015.

FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E.C.; DEMETRIO, J.G. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 3ª ed. Rio de Janeiro: CPRM. 2008. 812 p.

FERREIRA DA COSTA, R.V.; LEÃO, L.P. Geochemical mapping and determination of cadmium, lead and chromium reference values in fluvial sediments of the Maracujá River basin, upper part of the das Velhas River basin, Minas Gerais, Brazil. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v.7, n.5, p. 52089-52101. 2021.

FERRONSKY, V I. *Nuclear Geophysics: Applications in Hydrology, Hydrogeology, Engineering Geology*. 1st ed. Moscou: Agriculture and Environmental Science. 2015

FEWTRELL L. Drinking-water nitrate, methemoglobinemia, and global burden of disease: a discussion, *Environ. Health Persp.*, [s.l.], 112, 1371–1374. 2004.

FILIZOLA, H.F.; GOMES, M.A.F.; DE SOUZA, M.D. *Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise de qualidade ambiental: solo, água e sedimentos*. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna. 2016.

FINLAYSON, C.M.; D'CRUZ, R.; DAVIDSON, N. Millenium ecosystem assessment. Ecosystems and human well-being: wetlands and water. Synthesis. *World Resources Institute*, Washington, DC. 2005.

FISHER, R. E.; SRISKANTHARAJAH, S.; LOWRY, D. et al., “Arctic methane sources: isotopic evidence for atmospheric inputs,” *Geophys. Res. Lett.*, [s.l.], 38, 2011.

FLETCHER, S.E.M.; TANS, P.P.; BRUHWILER, L.M.; MILLER, J.B.; HEIMANN, M. CH₄ sources estimated from atmospheric observations of CH₄ and its ¹³C/¹²C isotopic ratios: 2. Inverse modeling of CH₄ fluxes from geographical regions. *Glob. Biogeochem. Cycle*, [s.l.], 18. 2004.

FUESS, L.T.; RODRIGUES, I.J.; GARCIA, M.L. Fertirrigation with sugarcane vinasse: Foreseeing potential impacts on soil and water resources through vinasse characterization, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*; 52:11, 1063-1072. 2017.

FURLAN, L.M; ROSOLEN, V.; SALES, J.; MOREIRA, C.A.; FERREIRA, M.; BUENO, G.; MOUNIER, S. Natural superficial water storage and aquifer recharge assessment in Brazilian savanna wetland using unmanned aerial vehicle and geophysical survey J. *Unmanned. Veh. Syst.*, 8 (3), pp. 224-244. 2020.

FURLAN, L.M.; MOREIRA, C.A.; DE ALENCAR, P.G.; ROSOLEN, V. Environmental monitoring and hydrological simulations of a natural wetland based on high-resolution unmanned aerial vehicle data (Paulista Peripheral Depression, Brazil). *Environ. Chall*, [s.l.], 100146. 2021.

FURLAN, L.M.; FERREIRA, M.E.; MOREIRA, C.A.; GUILHERME DE ALENCAR, P.; CASAGRANDE, M.F.S.; ROSOLEN, V. Satellite, UAV, and Geophysical Data to Identify Surface and Subsurface Hydrodynamics of Geographically Isolated Wetlands: Understanding an Undervalued Ecosystem at the Atlantic Forest-Cerrado Interface of Brazil. *Remote Sens.* 15, 1870. 2023.

GARDNER R.; FINLAYSON C. *Global Wetland Outlook: State of the World's Wetlands and Their Services to People*. [S.l.]: Ramsar Convention Secretariat. 2018.

GARDNER, W.R. Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from water table. *Soil Sciences*, [s.l.], 85:228-232. 1958

GEOTOMO SOFTWARE. *RES2DINV, version 3.53, Rapid 2D resistivity & IP inversion using the least-square method - Geoelectrical Imaging 2-D & 3D*. Penang, Malaysia: Geotomo Software, 129 p. 2003.

GHIBERTO, P.J.; LIBARDI, P.L.; BRITO, A.S.; TRIVELIN, P.C.O. Leaching of nutrients from a sugarcane crop growing on an Ultisol in Brazil. *Agricultural Water Management*, [s.l.], v. 96 (10): 1443-1448. 2009.

GIMENO-GARCIA, E.; ANDREU, V.; BOLUDA, R. Heavy metals incidence in the application of inorganic fertilizers and pesticides to rice farming soils. *Environmental pollution*, [s.l.], 92, 19-25. 1996.

GLOEDEN, E. *Monitoramento da qualidade da água das zonas não saturada e saturada em área de fertirrigação com vinhaça*. 1994, 151 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

GOMEZ, C.; HAYAKAWA, Y.; OBANAWA, H. A study of Japanese landscapes using structure from motion derived DSMs and DEMs based on historical aerial photographs: new opportunities for vegetation monitoring and diachronic geomorphology. *Geomorphology*, [s.l.], 242, 11–20. 2015.

GONÇALVES, JS.; FERREIRA, CRRPT.; SOUZA, SAM. Produção nacional de fertilizantes, processo de desconcentração regional e maior dependência externa. *Informações Econômicas IEA SP*, São Paulo, v. 38, n. 8, 2008.

GRANDY, J. J.; GALPIN, V.; SINGH, V.; PAWLISZYN, J. Development of a Drone-Based Thin-Film Solid-Phase Microextraction Water Sampler to Facilitate On-Site Screening of Environmental Pollutants. *Anal. Chem.*, [s.l.], 92 (19), 12917– 12924. 2020.

GREEN S.M.; DUNGAIT J.A.; TU C. et al. Soil functions and ecosystem services research in the Chinese karst critical zone. *Chemical Geology*, [s.l.], 119107. 2019.

GUIMARÃES, C.C.B.; DEMATTÊ, J.A.M.; AZEVEDO, A.C.; SILVA, R.C.; SALAZAR, D.F.U. Weathering of soils originated from diabase in the Paraná Basin, São Paulo State, Brazil. *Revista Ciência Agronômica*, v. 52, n. 3, 2021. DOI: 10.5935/1806-6690.20210063

GUPTA, H.; VERMA, O.P. Monitoring and surveillance of urban road traffic using low altitude drone images: a deep learning approach. *Multimedia Tools and Applications*, [s.l.], v. 81, 19683–19703. 2021.

HACHIRO, J. *O Subgrupo Irati (Neopermiano) da Bacia do Paraná*. 1997. 182p. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1997.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de física*. 8. ed. vol 4, Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2009.

HAN, H.; RAFIQ, M.K.; ZHOU, T.; XU, R.; MAŠEK, O.; LI, X. A critical review of clay-based composites with enhanced adsorption performance for metal and organic pollutants. *Journal of Hazardous Materials*. [s.l.], 369, 780–796. 2019.

HARRIS, S.W.; MARSHALL, W.H. Ecology of water-level manipulations on a northern marsh. *Ecology*, [s.l.], 44: 331-343. 1963

HARRIS W.; WHITE G.N. X-ray diffraction techniques for soil mineral identification. In: ULERY, A.L.; DREES L.R. *Methods of Soil Analysis Part 5 Mineralogical Methods*. 5. Madison, WI: Soil Science Society of America; 2008. pp. 81–116.

HASSUDA, S. *Impactos da infiltração da vinhaça de cana no aquífero Bauru*. 1989, 92 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

HAYASHI, M.; VAN DER KAMP, G.; ROSENBERRY, D.O. Hydrology of Prairie Wetlands: Understanding the Integrated Surface-Water and Groundwater Processes. *Wetlands*, [s.l.], v 36, 237–254. 2016.

HENDRIKS, P.H.G.M.; LIMBURG, J.; MEIJER, R.J. Full-spectrum analysis of natural g - ray spectra. *Journal of Environmental Radioactivity*, [s.l.], 53 (2001) 365±380. 2001.

HERTZ, R. *Manguezais do Brasil*. São Paulo: Inst. Oceanogr. Univ. São Paulo. 1991

HOFF, R.; ROLIM, S.S.A.; BASTOS NETO, A.C.. Mapeamento aerogamaespectrométrico da alteração hidrotermal associada à mineralização no distrito fluorítico de Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, [s.l.], 22(1): 45-55. 2004.

HOOK, D.D. Wetlands: history, current status, and future. *Environmental Toxicology and Chemistry*, [s.l.], 2147-2166. 1993.

HORN, R.; PETH, S. Mechanics of unsaturated soils for agricultural applications. In P. M. Huang, Y. Li & M. E. Sumner (Eds.), *Handbook of soil sciences*, 2nd edn (pp. 1–30). Boca Raton, FL; CRC Press. 2011.

HUSSAIN, R.O.; HUSSAIN, H.H. Investigation the Natural Radioactivity in Local and Imported Chemical Fertilizers. *Braz. Arch. Biol. Technol*, [s.l.], 54(4): 777-782. 2011.

HYATT, R.A.; BROOK, G.A. Brook. Groundwater flow in the Okefenokee Swamp and hydrologic and nutrient budgets for the period August, 1981 through July, 1982. Em: A. D. Cohen, D. J. Casagrande, M. J. Andrejko, and G. R. Best, eds., *The Okefenokee Swamp: Its Natural History, Geology, and Geochemistry*. Wetland Surveys, Los Alamos, NM, pp. 229 245. 1984.

IA (Instituto Agrônômico). Dados climatológicos dos períodos 1961-1990; 2018-2020. *Instituto Agrônômico*, São Paulo. Compilado in 2021.

IAEA (International Atomic Energy Agency). Safe Handling of Radionuclides. Safety Series. No.1. *International Atomic Energy Agency*, Viena. 1973.

IAEA (International Atomic Energy Agency) Radiometric reporting methods and calibration in uranium exploration. *Tech. rep. series*, Viena. n 174. 1976.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Cidades*. 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/cordeiropolis/panorama>> Acesso em: 13 de agosto de 2021.

IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo). *Mapa Geológico do Estado de São Paulo*. São Paulo: IPT. 1981. Escala 1:500.000.

IRITANI, M.A.; EZAKI, S. *As águas subterrâneas do Estado de São Paulo*. 3a edição. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA. 2012.

ISHERWOOD, K. E. *O uso de fertilizantes minerais e o meio ambiente*. [S.l.]: IFA/UNEP/ANDA. 2000.

ISRAIL M.; AL-HADITHI M.; SINGHAL D.C.; KUMAR B. Groundwater-recharge estimation using a surface electrical resistivity method in the Himalayan foothill region, India. *Hydrogeology Journal*, [s.l.], 14, 44–50. 2006.

IUCN (The International Union for Conservation of Nature) The Ramsar Conference: Final act of the international conference on the conservation of wetlands and waterfowl, Annex 1. *IUCN, Bulletin 2*: 4pp. 1971.

IUSS (International Union of Soil Science). World Reference Base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015. *World Soil Resources Report 106*. FAO, Rome: 188 pp. 2015.

JING, F.; CHEN, X.; YANG, Z.; GUO, B. Heavy metals status, transport mechanisms, sources, and factors affecting their mobility in Chinese agricultural soils. *Environmental Earth Sciences*, [s.l.], 77(3), 104. 2018.

JORGE, L.A.; INAMASU, R.Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. In: BERNARDI A.C.C.; NAIME, J.M.; RESENDE, A.V.; BASSOL L.H.; INAMASU, R.Y. (ed). *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar*. Brasília, Embrapa, 109-134. 2014.

JUNK, W.J. Freshwater fishes of South America: their biodiversity, fisheries, and habitats—a synthesis. *Aquat. Ecosyst. Health Manage.*, [s.l.], 10(2):228–242. 2007.

JUNK, W.J.; PIEDADE, M.T.F.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; et al. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst*, [s.l.], 24, 5–22. 2013.

JUNK, W.J. Wetlands of tropical South America. In: WHIGHAM, D.; HEJNY S.; DYKYJOVA D. *Wetlands of the World: Inventory, Ecology, and Management*. Dordrecht, the Netherlands: Academic Publishers, vol. 1, 1993, 679–739.

JUNK, W.J., PIEDADE, M.T.F., SCHÖNGART, J. et al. A Classification of Major Naturally-Occurring Amazonian Lowland Wetlands. *Wetlands*, [s.l.], 31, 623–640. 2011.

JUNQUEIRA, D.A. *Princípios da governança ambiental na gestão de recursos hídricos com foco em áreas úmidas (AU's) na Depressão Periférica Paulista*. 2021. Dissertação de Mestrado, 86 p., Unesp Rio Claro. 2021.

KEAREY, P; BROOKS, M; HILL, I. *An introduction to Geophysical exploration*. Tradução de Maria Cristina Moreira Coelho. 1º ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 429 p.

KLAUSKOPF, K.B.; BIRD, D.K. *Introduction to geochemistry*, 3. ed. New York: McGraw-Hill. 647 p. 1995.

KNODEL, K.; LANGE, G.; VOIFT, H.-J. *Environmental Geology – Handbook of Field Methods and Case Studies*. Germany: Springer, 2007, 1357 p.

KOPP, P.; OESTLING, O.; BURKART, W. Availability to and uptake by plants of radionuclides under different environmental conditions. *Toxicological and Environmental Chemistry*, [s.l.], vol. 23, 53-63. 1989.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

KU, T.L.; The uranium – series methods of age determination. *An. Rev. Earth Plan. Sci.* Elsevier Science v. 4 p. 347-79. 1976.

LABAUGH J.W.; WINTER T.C.; ADOMAITIS V.A.; SWANSON G.A. Hydrology and chemistry of selected prairie wetlands in the Cottonwood Lake area, Stutsman County, North Dakota. *US Geol Surv Professional Paper*, [s.l.], 1431. 1987.

LABAUGH, J.W.; WINTER, T.C.; ROSENBERRY, R.O. Hydrologic functions of prairie wetlands. *Great Plains Res*, [s.l.], 8, 17–37. 1998.

LACERDA, L.D.; CONDE, J.E.; ALARCON, C.; ALVAREZ-LEON, R.; BACON, P.R.; D'CROZ, L.; KJERFVE, B.; POLAINA, J.; VANNUCCI, M. Mangrove Ecosystems of Latin America and the Caribbean: a Summary. In: LACERDA, L.D. *Conservation and Sustainable Utilization of Mangrove Forests in Latin America and Africa Regions*. Okinawa: International Tropical Timber Organization and International Society for Mangrove Ecosystems, 1-42. 1993.

LANOIX, M.L.B.; PABST, T.; AUBERTIN, M. Field determination of the hydraulic conductivity of a compacted sand layer controlling water flow on an experimental mine waste rock pile. *Hydrogeology Journal*, [s.l.], 28:1503–1515. 2020.

LEIBOWITZ, S.G. Geographically Isolated Wetlands: Why We Should Keep the Term, *Wetlands*, [s.l.], 35, 997–1003, 2015.

LEIBOWITZ, S.G.; WIGINGTON, P.J.; SCHOFIELD, K.A.; ALEXANDER, L.C.; VANDERHOOF, M.K.; GOLDEN, H.E. Connectivity of Streams and Wetlands to Downstream Waters: An Integrated Systems Framework. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, [s.l.], 54 (2), 298– 322. 2018.

LEIGHTON M.W.; KOLATA D.R. Selected interior cratonic basins and their place in the scheme of global tectonics - a synthesis. In: LEIGHTON M.W.; KOLATA D.R.; OLTZ D.F.;

EIDEL J.J. *Interior cratonic basins*, Tulsa: American Association of Petroleum Geologists Memoir, 51:729-797. 1990.

LENHART, J.J.; HONEYMAN, B.D. Uranium (VI) sorption to hematite in the presence of humic acid. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 63, No. 19/20, pp. 2891–2901, 1999.

Li G.; Sun G.X.; Ren Y.; Luo X.S.; Zhu Y.G. Urban soil and human health: a review. *Eur. J. Soil Sci.*, [s.l.], 69:196–215. 2018.

LI, Y.; LIU, C. Applications of multirotor drone technologies in construction management. *Int. J. Constr. Manag.*, [s.l.], 1–12. 2018.

LANGMUR, D.; HERMAN, J.S. The mobility of thorium in natural waters at low temperatures. *Geoch. Cosmc. Acta*, v. 44, p. 1753 – 66. 1980.

LORETI JUNIOR, R.; SARDOU FILHO, R.; CALTABELOTI, F.P. *Projeto polo cerâmico de Santa Gertrudes – SP, Rochas e minerais industriais*; n.11, 2014. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17799>. Acesso em: 08 mar. 2022

LOUREIRO, FEL.; MONTE, MBM.; NASCIMENTO, M. Fosfato. In: *Rochas e minerais industriais: usos e especificações*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Centro de Tecnologia Mineral – Ministério da Ciência e Tecnologia, 2005.

LOVBORG, L.; MOSE, E. Counting statistics in radioelement assaying with a portable spectrometer. *Geophysics*, [s.l.], 52, 555–563. 1987.

LOWRIE, W. *Fundamentals of Geophysics*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 381 p.

LUTGENS, F.K.; TARBUCK, E.J. *Essentials of Geology*, 13th ed. Nova Iorque: Prentice Hall. 2016.

LYON, J. G.; LYON, L. K. *Practical Handbook for Wetland Identification and Delineation*, 2nd ed. [S.l.], CRC Press. 2011. 189 p.

MACASKILL, C. *The national agricultural directory 2011*. Pretoria: Department of Agriculture, Forestry and Fisheries. 672 p. 2011.

MACDONALD, A.M.; MAURICE, L.; DOBBS, M.R.; REEVES, H.J.; AUTON, C.A. Relating in situ hydraulic conductivity, particle size and relative density of superficial deposits in a heterogeneous catchment. *Journal of Hydrology*, [s.l.], 434–435:130–141. 2012.

MACEDO, I.C. *Sugar cane's energy: twelve studies on Brazilian sugar cane agribusiness and its sustainability*. 2nd ed., União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo (UNICA), São Paulo/SP, 233p. 2005.

MACHADO, F.B.; NARDY, A.J.R.; MELLO, R.P.; et al. As rochas intrusivas da formação Serra Geral na porção leste da Bacia do Paraná no estado de São Paulo: aspectos petrográficos e geoquímicos: resultados preliminares. *Revista Geociências*, [s.l.], v. 24, n. 1, 5-17, 2005.

MALTBY, E. Global wetlands - history, current status and future. In: Hook, D.D.; McKee, W.H.; Smith, H.K.; et al. *The Ecology and management of wetlands*. London: Croom Helm, v.1: 3-14. 1988.

MALTCHIK, L.; COSTA, M.A.J.; DUARTE, M.C.D. Inventory of Brazilian semiarid shallow lakes. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, [s.l.], 71: 801–808. 1999.

MALTCHIK, L. Three new wetlands inventories in Brazil. *Interciencia*, [s.l.], 28: 421–423. 2003.

MALTCHIK, L.; ROLON, A.S.; GUADAGNIN, D.L.; STENERT, C. Wetlands of Rio Grande do Sul, Brazil: a classification with emphasis on plant communities. *Acta Limnologica Brasiliensia*, [s.l.], 16: 137–151. 2004.

MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A.; SELUCHI, M.E.; CUARTAS, A.; ALVES, L.M.; MENDIONDO, E.M.; OBREGÓN, G.; SAMPAIO, G. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. *Revista USP*, [s.l.], v.106: 3144, 2015.

MAS-PLÁ, J.; MENCIO, A. Groundwater nitrate pollution and climate change: learnings from a water balance-based analysis of several aquifers in a western Mediterranean region (Catalonia). *Environmental Science and Pollution Research*, [s.l.], 26:2184–2202. 2019.

MASSADEH, A.M.; ALOMARY, A.A.; MIR, S.; et al. Analysis of Zn, Cd, As, Cu, Pb, and Fe in snails as bioindicators and soil samples near traffic road by ICP-OES. *Environ Sci. Pollut. Res.*, [s.l.], 23, 13424–13431. 2016.

MATEO-SAGASTA, J.; MARJANI ZADEH, S.; TURRAL, H. *More People, More Food, Worse Water? A Global Review of Water Pollution from Agriculture*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2018.

MAZZILLI, B.P.; MÁDUAR, M.F.; CAMPOS, M.P. *Radioatividade no meio ambiente e avaliação de impacto radiológico ambiental*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), 2013.

MBAIWA, J.E.; THAKADU, O.T.; DARKOH, M.B.K. Indigenous Knowledge and Ecotourism-based Livelihoods in the Okavango Delta in Botswana. *Botswana Notes & Records*, [s.l.], 39, 62-74. 2008.

MCCAULEY, L.A.; ANTEAU M.; POST VAN DER BURG, M.; WILTERMUTH, M.T.; Land use and wetland drainage affect water levels and dynamics of remaining wetlands. *Ecosphere*, [s.l.], 6:92. 2015.

MCLATCHEY, G.P.; REDDY, K.R. Regulation of organic matter decomposition and nutrient release in a wetland soil. *J. Environ. Qual.*, [s.l.], 27, 1268–1274, 1998.

MCLAUGHLIN, D.L.; KAPLAN, D.A.; COHEN, M.J. A significant nexus: geographically isolated wetlands influence landscape hydrology. *Water Resour Res.*, [s.l.], 50 (9), 7153–7166. 2014.

- MELO, M.S. *A formação Rio Claro e depósitos associados: sedimentação neocenoica na depressão periférica paulista*. 1995. 144 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- MENDOZA-SANCHEZ, I.; PHANIKUMAR, M.S.; NIU, J.; MASONER, J.R.; COZZARELLI I.M.; MCGUIRE J.T. Quantifying wetland–aquifer interactions in a humid subtropical climate region: an integrated approach. *J Hydrol*, [s.l.], 498:237–253. 2013.
- MIKAMI, S.; SATO, S.; HOSHIDE, Y.; SAKAMOTO, R.; OKUDA, N.; SAITO, K. In Situ Gamma Spectrometry Intercomparison in Fukushima, Japan. *Jpn. J. Health Phys.*, [s.l.], 50 (3): 182 – 188. 2015.
- MILANI, E.J. *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental*. 1997. Tese de Doutorado, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2 v.
- MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 15, n. 2, p 265-287, 2007.
- MILSON, J. *Field Geophysics*. Wiley, England, 232 p., 2003.
- MITSCH, W.J.; GOSSELINK, G. *Wetlands*. 5th ed. pp 456. 2015.
- MODENA, R.C.C.; HOFF, R.; FARIAS, A.R.; VIEL, J.A. diferenciação de rochas vulcânicas da formação serra geral utilizando gamaespectrometria terrestre na região vitivinícola Serra Gaúcha, RS – Brasil. *Anais [...]* 47^o congresso brasileiro de geologia – Salvador- BA- 2014
- MOGILI, U.R.; DEEPAK, B.B.V.L. Review on application of drone systems in precision agriculture. *Procedia Computer Science*, [s.l.], 133, 502–509. 2018.
- MONCRIEFF, J.E.; BENTLEY, L.R. Investigating pesticide transport in the León Chinandega aquifer, Nicaragua. *Hydrogeology Journal.*, [s.l.], 16: 183–197. 2008.
- MONTEIRO, R.L. *Aspectos geológico, mineralógicos, petrológicos e geoquímicos de um corpo basáltico localizado no município de Tanquinho (SP)*. São Paulo, 1986. 158 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 1986.
- MOREIRA, C.A.; CASAGRANDE, M.F.S.; BORSSATTO, K. Analysis of the potential application of geophysical survey (induced polarization and DC resistivity) to a long-term mine planning in a sulfide deposit. *Arabian Journal of Geosciences*, [s.l.], 13(20), 1-12. 2020.
- MOREIRA, C.A.; LAPOLA, M.M.; CARRARA, A. Comparative analyzes among electrical resistivity tomography arrays in the characterization of flow structure in free aquifer. *Geofísica Internacional*, [s.l.], v. 55, 2, p. 119 – 129, 2016.
- MUNSELL A. *Munsell soil color charts*. Nova Iorque: Gretagmacbeth, 2020.

MUSHET, D.M.; CALHOUN A.J.K.; ALEXANDER L.C.; COHEN M.J.; DEKEYSER E.S.; FOWLER L.; LANE C.R.; LANG M.W.; RAINS M.C.; WALLS S.C. Geographically isolated wetlands: rethinking a misnomer. *Wetlands*, [s.l.], 35:423–431. 2015.

MUSSETT, A. E.; KHAN, M. A. *Looking into the earth: an introduction to geological geophysics*. Nova Iorque: Cambridge University Press, 2000, 470 p.

NAPOLITANO, H.; CAMARGO, A.; MASCARENHAS, Y.; VENCATO, I.; LARIUCCI, C. Análise da difração dos raios x. *Revista Processos Químicos*, [s.l.], 1, 35–45 (2007).

NARDY, A.J.R.; MOREIRA, C.A.; MACHADO, F.B.; LUCHETTI, C.F.; HANSEN, M.A.F.; ROSSINI, A.J.; BARBOSA Jr., V. Gamma-ray spectrometry signature of Paraná volcanic rocks: preliminar results. *Geociênc.*, [s.l.], 33, 216-227. 2014.

NASCIMENTO, M.; MONTE, M.B.M.; LOUREIRO, F.E.L. *Potássio*. Em: MCT. *Rochas e minerais industriais: usos e especificações*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Centro de Tecnologia Mineral – Ministério da Ciência e Tecnologia, 2005.

National Research Council (NRC). *Wetlands: Characteristics and Boundaries*. Washington: National Academy Press. 306. 1995.

NCRP (National Council on Radiation Protection and Measurements). *Exposure of the Population in the United States and Canada from Natural Background Radiation*. Bethesda: NCRP report n. 94. 1987.

NEUBAUER S.C.; VERHOEVEN J.T.A. Wetland effects on global climate: Mechanisms, impacts, and management recommendations. In: AN, S.; VERHOEVEN J.T.A., editors. *Wetlands: Ecosystem Services, Restoration and Wise Use, Ecological Studies 238*. Springer Nature. pp 39–62. 2019.

NIMMO, J.R. Vadose water. In: LIKENS, G.E. *Encyclopedia of Inland Waters*. Oxford: Elsevier, 766–777. 2009.

NRC (National Research Council). *Wetlands characteristics and boundaries*. Washington: National Academy Press. 1995.

NUNES DA CUNHA C.; JUNK, W.J. A preliminary classification of habitats of the Pantanal of Mato Grosso and Mato Grosso do Sul, and its relation to national and international classification systems. In: JUNK W.J.; DA SILVA C.J.; NUNES DA CUNHA C.; WANTZEN K.M. *The Pantanal: ecology, biodiversity and sustainable management of a large neotropical seasonal wetland*. Sofia-Moscou: Pensoft, 127–142. 2011.

ODA, G.H.; EZAKI, S.; IRITANI, M.A.; VARNIER, C.L.; PENTEADO, D.R. Avaliação hidrogeológica dos Sistemas Aquíferos Tubarão e Cristalino da porção sul da UGRHI-05. In: ABAS, CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 19, Campinas, *Anais* [...]. Campinas: ABAS, 1994, p. 16-29.

OLIVIE-LAUQUET, G.; GRUAU, G.; DIA, A.; RIOU, C.; JAFFREZIC, A.; HENIN, O. Release of trace elements in wetlands: role of seasonal variability. *Wat. Res.*, [s.l.], v. 35, n. 4, pp. 943-952, 2001.

PANSU, M.; GAUTHEYROU, J. *Handbook of soil analysis: mineralogical, organic and inorganic methods*. Berlin: Springer, 2006.

PAPADOPOULOS, N.; OIKONOMOU, D.; SIMYRDANIS, K.; HENG, L.M. Practical considerations for shallow submerged archaeological prospection with 3-D electrical resistivity tomography. *Archaeol. Prospect.*, [s.l.], 2021.

PASCHOAL, L.G. *Dinâmica do uso e ocupação da terra em área de mineração de argila: o caso da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Gertrudes/SP*. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso, Unesp, Rio Claro. 2010.

PCJ (Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí). *Relatório de situação dos recursos hídricos: versão simplificada; ano base 2018*. Piracicaba: Fundação Agência das Bacias PCJ. 2019.

PCJ (Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí). *Estudo do Uso dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí. Relatório Final*. Piracicaba: Fundação Agência das Bacias PCJ. 2020.

PEATE, D. The Paraná-Etendeka Province. In: MAHONEY, J.J.; COFFIN, M.F. *Large igneous provinces: continental, oceanic, and planetary flood volcanism*. Geophysical Monograph Series, 1997, v. 100, p. 217-245.

PENTEADO, M.M. *Geomorfologia do Setor Centro-Ocidental da Depressão Periférica Paulista*. 1976. Tese de Doutorado, São Paulo: Instituto de Geografia USP. Série Teses e Monografias nº 22. 1976.

PEREIRA, E.; CARNEIRO, C.D.R.; BERGAMASCHI, S.; ALMEIDA, F.F.M. Evolução das Sinéclises Paleozoicas, Províncias Solimões, Amazonas, Parnaíba e Paraná. In: HASUI, Y.; CARNEIRO, S.D.R.; ALMEIDA, F.F.M.; BARTORELLI, A. (eds). *Geologia do Brasil*. Beca Especial. p. 374-394, 2012.

PEREIRA, G.F.C. *Análise geomecânica de duas encostas no município de Ipojuca-PE*. 2020. Dissertação de mestrado. Recife: Universidade Católica de Pernambuco. 2020.

PERINOTTO, J. A. J.; ZAINÉ, M. F. *Patrimônios Naturais e História Geológica da Região de Rio Claro-SP*. Rio Claro: Arquivo Público e Histórico do Município de Rio Claro, v. 1. 2008.

PERINOTTO, J. A. J.; ETCHEBEHERE, M. L.; SIMOES, L. S. A.; ZANARDO, A. Diques Clásticos na Formação Corumbataí (P) no Nordeste da Bacia do Paraná, SP: Análise Sistemática e Significações Estratigráficas e Tectônicas. *Geociências*, São Paulo. 2008

PERROTTA, M.M.; SALVADOR, E.D.; LOPES, R.C.; D'AGOSTINO, L.Z.; PERUFFO, N.; GOMES, S.D.; SACHS, L.L.B.; MEIRA, V.T.; GARCIA, M.G.M.; LACERDA FILHO, J.V. *Mapa geológico do Estado de São Paulo*. CPRM, São Paulo. 2005. Escala 1:750.000.

PETRESCU, A.M.R.; VAN BEEK, L.P.H.; VAN HUISSTEDEN, J.; PRIGENT, C.; SACHS, T.; CORRADI, C.A.R.; PARMENTIER, F.J.W.; DOLMAN, A.J.: Modeling regional to

global CH₄ emissions of boreal and arctic wetlands. *Global Biogeochem. Cy.*, [s.l.], 24, GB4009, 2010.

PICKUP, G.; MARKS, A. Identifying large-scale erosion and deposit processes from airborne gamma radiometrics and digital elevation models in a weathered landscape. *Earth Surface Processes and Landforms*. [s.l.], v. 25, p. 535-557, 2000.

PINHATTI, A.L. Aspectos Conceituais da gestão de recursos hídricos e sua aplicação no caso das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, S.P. Dissertação de Mestrado, IG-Unicamp, 1998.

PINHEIRO, R.J.B. NUMMER, A.V.; RAUBER, A.C. Determinação da condutividade hidráulica das principais unidades geológico-geotécnicas de Santa Maria-RS. *Geociências*, São Paulo, v. 36, n. 2, p. 347-363, 2017.

QUINTAS, M.C.L.; MANTOVANI, M.S.M.; ZALÁN, P.V. Contribuição para o estudo da evolução mecânica da Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 11, p. 48-73, 1997.

RAHMATI, O.; NAZARI SAMANI, A.; MAHMOODI, N.; MAHDAVI, M. (2015) Assessment of the contribution of N-fertilizers to nitrate pollution of groundwater in western Iran (Case Study: Ghorveh-Dehgelan Aquifer). *Water Qual, Expo Health*, [s.l.], 7, 143–151. 2015.

RAINS, M.C.; LEIBOWITZ, S.G.; COHEN, M.J.; CREED, I.F.; GOLDEN, H.E.; JAWITZ, J.W.; KALLA, P.; LANE, C.R.; LANG, M.W.; MCLAUGHLIN, D.L. Geographically isolated wetlands are part of the hydrological landscape. *Hydrol. Process.*, [s.l.], 30, 153–160. 2016.

RAMSAR. An Introduction to the Ramsar Convention on Wetlands. 5th ed. Gland: Ramsar Convention Secretariat. 2016.

RAURET, G.; LÓPEZ-SÁNCHEZ, J.F.; LÜCK, D.; YLI-HALLA, M.; MUNTAU, H.; QUEVAUVILLER, P.H. The certification of the extractable contents (mass fractions) of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in freshwater sediment following sequential extraction procedure - BCR 701, *BCR information reference material*, Brussels, Belgium, 2001.

REDDY, K.R.; DeLAUNE, R.D. *Biogeochemistry of Wetlands: Science and Applications*. [S.l.]: CRC Press, 2004.

REGINATO, P.A.R.; STRIEDER, A. J. Análise estrutural visando a locação de poços tubulares em aquíferos fraturados da Formação Serra Geral. *Águas Subterrâneas*, [s.l.], (1). 2007.

REINHARDT, N.; HERMANN, L. Gamma-ray spectrometry as versatile tool in soil science: A critical review. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, [s.l.], 2018, 000, 1–19. 2018.

REINHARDT, N.; HERRMANN, L. Gamma-ray spectrometry as versatile tool in soil science: A critical review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, [s.l.], v. 182, n. 1, pp. 9–27, 2019.

RESENDE, A.V. *Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 29 p.

REYNOLDS, W.D.; ELRICK D.E.; TOPP G.C. A reexamination of the constant head well permeameter method for measuring saturated hydraulic conductivity above the water table. *Soil Sci.*, [s.l.], 136(4), 250–268. 1983.

REYNOLDS, W.D.; ELRICK, D.E. A method for simultaneous in situ measurement in the vadose zone of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the conductivity-pressure head relationship. *Ground Water Monitoring Review*, [s.l.], v. 6, n 1, 84-95. 1986.

REYNOLDS, W.D.; ELRICK, D.E. Hydraulic conductivity measurement in the unsaturated Zone using improved well analyses. *Summer*, [s.l.], p.184-193, 1989.

REYNOLDS, W.D.; ELRICK, D.E. In situ measurement of field saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the α parameters using the Guelph permeameter. *Soil Science*, Baltimore, v.140, n.4, 292-302, 1985.

REYNOLDS, W.D.; ELRICK, D.E.; CLOTHIER B.E. The constant head well permeameter: effect of unsaturated flow. *Soil Sci.*, [s.l.], 139, 172-180. 1985.

REYNOLDS, J.M. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. 2nd ed. England: John Wiley & Sons. 2011.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: Sano, S.M.; Almeida, S.P. (eds.). *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina: Embrapa CPAC. 89-166. 1998.

RIBEIRO, V.B.; MANTOVANI, M.S.M.; LOURO, V.H.A. Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico. *Terræ Didactica*, [s.l.], 10(1), 29–51. 2014.

RIBEIRO, M.L.; LOURENCETTI, M.L.R; PEREIRA, S.Y.; MARCHI, M.R.R. Contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: avaliação preliminar. *Quim. Nova*, [s.l.], 30(3): 688-694, 2007.

RICCOMINI, C. Estilos estruturais da região do Domo de Pitanga, Bacia do Paraná, SP. *Boletim IG-USP*, Publicação Especial, São Paulo. n. 12, 93-94. 1992.

RICCOMINI, C. Considerações sobre a posição estratigráfica e tectonismo deformador da Formação Itaqueri na porção centro-leste do Estado de São Paulo. *Revista do Instituto Geológico*, [s.l.], 18 (1/2), 41-48. 1997.

RICHARDSON, J.L.; ARNDT, J.L.; MONTGOMERY, J.A. Hydrology of wetland and related soils. In: Richardson, J.L.; Vepraskas, M.J. *Wetland Soils*. Boca Raton: Lewis. 2001.

ROBINSON, J.; SLATER, L.; JOHNSON, T.; SHAPIRO, A.; TIEDEMAN, C.; NTARLAGIANNIS, D.; JOHNSON, C.; DAY-LEWIS, F.; LACOMBE, P.; IMBRIGIOTTA, T.; LANE, J. Imaging Pathways in Fractured Rock Using Three Dimensional Electrical Resistivity Tomography. *Ground Water*, [s.l.], v. 54, n. 2, 186–201. 2016.

ROCHA, G.; FERNANDES, A.J.; MANCUSO, M.A.; CAMPOS, J.E.; TAKAHASHI, A.T.; ODA, G.H.; PERROTTA, M.M.; SALVADOR, E.D.; ALBUQUERQUE FILHO, J.L.; GIMENEZ FILHO, A.; AZEVEDO, S.G.; DENSER, M.; PIZZATTO, L.G.; PAULON, N. 2006. Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo. In: ABAS, CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 14, Curitiba, *Anais [...]* Livro de Resumos, 20 p.

ROGERS, J.J.W.; ADAMS, J.A.S. Uranium. In: WEDEPOHL, K.H. (Ed.) *Handbook of Geochemistry*. New York: Springer-Verlag, 1969a. v. 4, cap. 92.

ROGERS, J.J.W.; ADAMS, J.A.S. Thorium. In: WEDEPOHL, K.H. (Ed.) *Handbook of Geochemistry*. New York: Springer-Verlag, 1969b. v. 4, cap. 90.

ROSA, F.G.T.; MOREIRA, C.A.; ROSOLEN, V.; CASAGRANDE, M.F.S.; BOVI, R.C.; FURLAN, L.M.; FERNANDES DOS SANTOS, S. Detection of Aquifer Recharge Zones in Isolated Wetlands: Comparative Analysis Among Electrical Resistivity Tomography Arrays. *Pure Appl. Geophys.* 179, 1275–1294, 2022.

ROSENBERRY, D.O.; HAYASHI, M. Assessing and measuring wetland hydrology. In: ANDERSON, J.T.; DAVIS, D.A. (eds.). *Wetland techniques*. [S.l.], Springer, pp 87–225. 2013.

ROSSI, M. *Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado*. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. v.1. 118 p. 2017.

RUBEC, C. The Canadian Wetland Classification System. In: FINLAYSON C.M. et al. (eds). *The Wetland Book*. Dordrecht, The Netherlands: Springer. 1577–1581. 2018.

RYAN, P.C.; Wall, A.J.; Hiller, S.; Clark, L. Insights into sequential chemical extraction procedures from quantitative XRD: a study of trace metal partitioning in sediments related to frog malformities *Chem. Geol.*, [s.l.], 184: 337-57. 2002.

SALAZAR, S.; CASTILLO, L.A.; MONTES, L. Evaluation of naturally occurring radioactive materials (NORM) in the soil, in a potential area for unconventional reservoirs in the Rancheria Sub-Basin. *Chemosphere*, [s.l.], v. 283, 131098. 2021.

SANCHES FILHO, P. J.; ZIEBELL, R.; BETEMPS, G. R. Determinação de metais pesados no sedimento do Arroio São Lourenço-São Lourenço do Sul (RS). *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 6, n. 1, p. 213-221, 2015.

SANTOS, A.C.L.; MENEZES, P.T.L.; NASCIMENTO, C.T.C. Gamaespectrometria aplicada em solo agrícola no nordeste do Estado do Rio de Janeiro. *Revista da Sociedade Brasileira de Geofísica*. [S.l.], 26(2), 2008.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H.C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

SCHERER, C.M.S. *Análise estratigráfica e litofaciológica da Formação Botucatu (Eocretáceo da Bacia do Paraná) no Rio Grande do Sul*. 1998. Tese de doutorado, Curso de

Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 222 p. 1998

SCHNEIDER, R.L.; MUHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A.A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 28, 1974, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: SBG, v. 1, p. 41-65. 1974.

SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. 1984. *Geologia do Brasil – texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente, incluindo depósitos minerais*. Departamento Nacional da Produção Mineral, Brasília, escala 1:2.500.000. 501 p.

SCHULER, U.; ERBE, P.; ZAREI, M.; RANGUBPIT, W.; SURINKUM, A.; STAHR, K.; HERRMANN, L. A gamma-ray spectrometry approach to field separation of illuviation-type WRB reference soil groups in northern Thailand. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, [s.l.], 174, 536–544. 2011.

SERR, K.; WINDHOLZ, T.; WEBER, K. 2006. Comparing GPS receivers: A field study. *URISA Journal*, [s.l.], 18.2, 19-23. 2006.

SHAHMORADI, J.; TALEBI, E.; ROGHANCHI, P.; HASSANALIAN, M. A Comprehensive Review of Applications of Drone Technology in the Mining Industry. *Drones*, [s.l.], 4, 34. 2020.

SHAW, S.P.; FREDINE, C.G. *Wetlands of the United States – their extent and their value to waterfowl and other wildlife U.S. Department of the Interior*. Washington, D.C. Circular 39. 1956. 67 pp.

SIDLE, R.C.; GOMI, T.; TSUKAMOTO, Y. Discovery of zero-order basins as an important link for progress in hydrogeomorphology. *Hydrol Process.*, [s.l.], 32(19):3059–3065. 2018.

SIDLE, R.C.; TSUBOYAMA, Y.; NOGUCHI, S.; HOSODA, I.; FUJIEDA, M.; SHIMIZU, T. Stormflow generation in steep forested headwaters: A linked hydrogeomorphic paradigm, *Hydrol. Processes*, [s.l.], 14, 369 – 385. 2000.

SILVA, J. R. *Estimativa do Valor da Produção Agropecuária do Estado de São Paulo para 2020*. Análises e Indicadores do Agronegócio, São Paulo, v. 16, n. 4, abr. 2021, p. 1-7. Disponível em: <http://www.iaa.sp.gov.br/ftp/iaa/AIA/AIA-13-2021.pdf>. Acesso em: 13.08.2021.

SILVA, S. M. P.; CROSTA, A. P.; FERREIRA, F. J. F.; BEURLIN, H.; SILVA, A. M.; SANTOS, L. F. Espectrometria de raios gama de granitos pegmatíticos da Província pegmatítica da Borborema (PPB), Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, [s.l.], 28:673-690, 2010.

SIMICEK, D.; BÁBEK, O.; LEICHMANN, J. Outcrop gamma-ray logging of siliciclastic turbidites: Separating the detrital provenance signal from facies in the foreland-basin turbidites of the Moravo-Silesian basin, Czech Republic. *Sedimentary Geology*, [s.l.], v.261, 50-64, 2012.

SLOAN, C. E. Ground-water hydrology of prairie potholes in North Dakota. U. S. *Geological Survey Professional Paper*, [s.l.], 585, 1–28. 1972.

SMITH, R. C. Hydrogeology of the experimental cypress swamps. Em: H. T. Odum and K. C. Ewel, eds., *Cypress Wetlands for Water Management, Recycling and Conservation*. Second Annual Report to NSF and Rockefeller Foundation, Center for Wetlands, University of Florida, Gainesville, pp. 114–138. 1975.

SOARES, P. C. O limite glacial- pós-glacial do Grupo Tubarão no estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, [s.l.], v. 44 (suplemento), p. 333-342, 1972

SOARES, P.C.; BARCELLOS, P.E.; CSORDAS, S.M.; MATTOS, J.T. de; BALIERO, M.G.; MENESES, P.R. Lineamentos em imagens LANDSAT e radar e suas implicações no conhecimento tectônico da Bacia do Paraná. In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSOREAMENTO REMOTO. *Anais [...]* Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Instituto de Pesquisas Espaciais, Brasília. 1982.

SOARES, P.C. *Informações sobre sills de diabásio da Bacia do Paraná*. Curitiba: DOCEGEO, 1985, 20 p.

SOIL MOISTURE CORP. *Model 2800K1, Guelph Permeameter: Operating Instructions*. Santa Bárbara, CA, 93105, 28p. 2012.

SOUZA, J.L.; FERREIRA, F.J.F. Anomalias aerogamaespectrométricas (K, eU e eTh) da quadrícula de Araras (SP) e suas relações com processos pedogenéticos e fertilizantes fosfatados. *Revista Brasileira de Geofísica*, [s.l.], 23(3): 251-274. 2005.

SOUZA, M.O.L. *Evolução tectônica dos altos estruturais de Pitanga, Ártemis, Pau d' Alho e Jiboia – Centro do Estado de São Paulo*. 2002. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Ri Claro. 206f. 2002.

STERRETT, R.J. *Groundwater and wells*. 3rd ed. New Brighton, PA: Johnson Screens, 2007.

STEWART, R.E.; KANTRUD. H.A. *Classification of natural ponds and lakes in the glaciated prairie region*. [S.l.]: United States Fish and Wildlife Service, Research Publication 92. 1971.

STRAWN, D.G.; BOHN, H.L.; O'CONNOR, G.A. *Soil chemistry*. 5th ed. West Sussex, U.K.: John Wiley & Sons. 2020.

TAMIAZO, P.C. *Histórico do município de Cordeirópolis*. Prefeitura Municipal de Cordeirópolis, 2021. Disponível em: <http://www.cordeirópolis.sp.gov.br/municipio/>, acessado em 22 de agosto de 2021.

TAN, K.H. *Principles of Soil Chemistry*, 4^a ed; Boca Raton: CRC Press. 2011

TAYLOR M.J.; SMETTEM K.R.J.; PRACILIO G.; VERBOOM W.H. Relationships between soil properties and high-resolution radiometrics, central eastern Wheatbelt, Western Australia. *Exploration Geophys.*, [s.l.], 33, 95–102. 2002.

TELFORD, W. M.W.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E. *Applied Geophysics*. 2. ed. London: Cambridge University Press, 1990.

TINER, R.W., 2003. Geographically isolated wetlands of the United States. *Wetlands*, [s.l.], 23, 494–516. 2003.

TODHUNTER, P.E.; RUNDQUIST, B.C. Terminal lake flooding and wetland expansion in Nelson County, North Dakota. *Physical Geography*, [s.l.], 25:68–85. 2004.

TOMAS, W.M., DE OLIVEIRA ROQUE, F., MORATO, R.G., MEDICI, P.E., CHIARAVALLLOTI, R.M., TORTATO, F.R., PENHA, J.M.F., et al. Sustainability Agenda for the Pantanal Wetland: perspectives on a collaborative interface for science, policy, and decision-making. *Tropical Conservation Science*, [s.l.], v. 12, pp. 1-30.

TOMASSI, H. Z.; DO CARMO, D.A.A Taxonomy of permian Ostracoda from Irati and Corumbataí formations in the northern Paraná basin. In: 16TH INTERNACIONAL SYMPOSIUM ON OSTRACODA, *Anais* [...], Brasília, 2009

TRANI, P.E.; TRANI, A.L. *Fertilizantes: Cálculo de fórmulas comerciais*. Campinas: Instituto Agronômico, Boletim Técnico IAC. 2011. 29p.

TRIMBLE *Trimble GeoExplorer II specifications*. 2005.
http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-10404/geo2_specs.pdf. Acessado em: 25 de abril de 2022.

TROCH, P.A.; CARRILLO, G.; SIVAPALAN, M.; WAGENER, T.; SAWICZ, K. Climate vegetation-soil interactions and long-term hydrologic partitioning: signatures of catchment co-evolution, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, [s.l.], 17, 2209–2217. 2013.

TURGUT, C. The contamination with organochlorine pesticides and heavy metals in surface water in Küçük Menderes River in Rurkey, 2000-2002, *Environment International.*, [s.l.], 29, 29-32.2003.

UDDIN, M.K. A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with special focus on the past decade, *Chemical Engineering Journal*, [s.l.], vol. 308, pp. 438- 462. 2017.

ULBRICH, H. H. G. J.; ULBRICH, M. N. C.; FERREIRA, F. J. F.; ALVES, L. S.; GUIMARÃES, G. B.; FRUCHTING, A.. Levantamentos gamaespectrométricos em granitos diferenciados. I: revisão da metodologia e do comportamento geoquímico dos elementos K, Th e U. *Geologia USP, Série Científica*, São Paulo, 9 (1), p. 33-53, 2009.

UMISEDO, N.K. *Dose de radiação ionizante decorrente do uso de fertilizantes agrícolas*. Tese de doutorado, Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.

UNDESA (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division). *World population prospects: The 2017 revision, key findings and advance tables*. Working Paper No. ESA/P/WP/248. United Nations, New York. 2017.

UNECE (The United Nations Economic Commission for Europe). *Guidelines on the prevention and control of water pollution from fertilizers and pesticides in agriculture*. Geneva: UNECE. 1995.

UNICA (União da Indústria de Cana-de-Açúcar). Área Plantada De Cana-de-açúcar No Estado De São Paulo. 2021. Disponível em: <http://www.unica.com.br/> Acessado em fevereiro de 2021.

UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). *Sources and effects of ionizing radiation*. UNSCEAR 2008 report. vol. 1. New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2008.

VASCONCELOS, M.A.R.; LEITE, E.P.; CRÓSTA, A.P. Contributions of gamma-ray spectrometry to terrestrial impact crater studies: the example of Serra da Cangalha, northeastern Brazil. *Geophys. Res. Lett.*, [s.l.], v. 39, L04306. 2012.

VELDE, B. *Origin and mineralogy of clays*. Springer, Berlin vol. 12. 1995.

VELDE, B.B.; MEUNIER, A. *The Origin of Clay Minerals in Soils and Weathered Rocks*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 2008. 406p.

VELDE, P.; BARRÉ, P. 2009 Soils, plants and clay minerals: mineral and biologic interactions. Berlin, Germany: Springer, 2009. 349p.

VERHOEVEN, J.T.A.; ARHEIMER, B., YIN, C.; HEFTING, M.M. Regional and global concerns over wetlands and water quality. *Trends in Ecology and Evolution*, [s.l.], v. 21, 2, 96-103. 2006.

VEROUSTRAETE, F. The Rise of the Drones in Agriculture. *EC Agriculture*, [s.l.], 2.2: 325-327. 2015.

VIEIRA, L. B.; MOREIRA, C. A.; CÔRTEZ, A. R. P.; LUVIZOTTO, G. L. Geophysical modeling of the manganese deposit for Induced Polarization method in Itapira (Brazil). *Geofísica Internacional*, [s.l.], 55(2), 107–117. 2016.

VIEIRA, P.H.; VIEIRA, A.C.A.S. Um estudo da evolução urbana no município de Cordeirópolis/SP: com auxílio do SIG. *Agora*. Santa Cruz do Sul, v. 20, n. 02, 126-134. 2018.

VIERS J.; DUPRÉ B.; POLVÉ M.; SCHOTT J.; DANDURAND L.; BRAUN JJ. Chemical weathering in the drainage basin of a tropical watershed (Nsimi-Zoetele site, Cameroon): comparison between organic-poor and organic-rich waters. *Chem Geol.*, [s.l.], 140:181–206. 1997.

WASSENAAR, L.I. Evaluation of the origin and fate of nitrate in the Abbotsford Aquifer using the isotopes of ^{15}N and ^{18}O in NO_3^- . *Appl. Geochem.*, [s.l.], 10: 391–405. 1995.

WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION), *Guidelines for Drinking Water Quality: Radiological Aspects*, 4th ed. Geneva: WHO, 2011. v. 1, 541 p.

WRIGHT, J.O. *Swamp and overflowed lands in the United States*. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture, Office of Experiment Stations, Circular 76, 23 p. 1907.

XIA, T.; DONG, Y.; MAO, D.; MENG, J. Delineation of LNAPL contaminant plumes at a former perfumery plant using electrical resistivity tomography. *Hydrogeol. J.*, [s.l.], 29(03):1189–1201. 2021.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. *Geoestatística: conceitos e aplicações*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215 p

ZAINE, J. E. *Geologia da Formação Rio Claro na Folha Rio Claro (SP)*. 1994. 98 p. Tese (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 1994

ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.; ZANOTTO, O. A. Bacia do Paraná. In RAJA GABAGLIA, G. P.; MILANI, E. J (coords). *Origem e Evolução das Bacias Sedimentares*. Rio de Janeiro: Ed. Gávea: R. Redisch Prog. Visual Prod. Gráf. E Editoração: PETROBRÁS, 1990, p. 135-164.

ZANARDO, A.; MONTIBELLER, C.C.; NAVARRO, G.R.B.; MORENO, M.M.T.; ROCHA, R.R.; DEL ROVERI, C.; AZZI, A.A. Formação Corumbataí na região de Rio Claro-SP: petrografia e implicações genéticas. São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 35, n. 3, p.322-345, 2016.

ZAPATA, F.; ROY, R.N. eds. (2004): *Use of phosphate rocks for sustainable agriculture, Fertilizer and Plant Nutrition Bull.* 13, FAO, 165 p. www.fao.org, acesso em 28/03/21

ZEVIN, L.S.; KIMMEL, G. *Quantitative X-ray Diffractometry*. I., Ed. Nova Iorque: Springer-Verlag. 1995.

ZHANG, Z.F.; GROENEVELT, P.H.; PARKIN, G.W. The well shape-factor for the measurement of soil hydraulic properties using the Guelph Permeameter. *Soil Tillage Res.*, [s.l.], 49:219-221. 1998.

ZHANG, L.A.; WANG, M.H.; HU, J.; HO, Y.S. A review of published wetland research, 1991-2008: ecological engineering and ecosystem restoration. *Ecological Engineering*, [s.l.], v. 36 n. 8, pp. 973-980. 2010.

ZHANG, Z.; ZIMMERMANN, N.E.; KAPLAN, J. O.; POULTER, B. Modeling spatiotemporal dynamics of global wetlands: comprehensive evaluation of a new sub-grid TOPMODEL parameterization and uncertainties. *Biogeosciences*, [s.l.], 13, 1387–1408. 2016.

ZOLTAI, S.C.; Vitt, D.H. Canadian wetlands: Environmental gradients and classification, *Plant. Ecol.*, [s.l.], 118(1–2), 131–137. 1995.

ZUQUETTE, L.; FAILACHE, M.; BARBASSA, A. Assessment of Depressional Wetland Degradation, Spatial Distribution, and Geological Aspects in Southern Brazil. *Geosciences*, [s.l.], 10, 296. 2020.

APÊNDICE I - Dados gamaespectrométricos da primeira campanha de aquisição (04/08/2020)

ID	Lat UTM	Long UTM	Elev. (m)	Dose μR	Taxa Dose $\mu R/h$	K (%)	Desvio Padrão	CV (%)	U (ppm)	Desvio Padrão	CV (%)	Th (ppm)	Desvio Padrão	CV (%)
1	244014,706	7511016,696	711,9	0,01528	0,30554	0,08	0,02	31,05	2,02	0,15	7,25	8,75	0,29	3,35
2	244031,982	7511017,98	713,7	0,01478	0,29554	0,11	0,02	21,10	2,01	0,14	7,08	8,59	0,29	3,33
3	244048,856	7511018,704	712,9	0,01461	0,29226	0,03	0,02	77,30	2,33	0,15	6,24	8,71	0,29	3,33
4	244068,082	7511020,353	715,2	0,01461	0,2922	0,03	0,02	71,37	2,19	0,14	6,40	8,71	0,28	3,22
5	244084,566	7511019,74	714,5	0,01472	0,29446	0,07	0,03	38,27	2,22	0,16	7,37	9,00	0,33	3,62
6	244099,453	7511022,314	715,7	0,01472	0,29433	< 0,00000	0,00	-	1,82	0,14	7,91	10,17	0,30	2,93
7	244113,966	7511022,555	714,9	0,01486	0,29724	0,05	0,02	51,15	2,12	0,16	7,37	9,66	0,32	3,28
8	244131,706	7511020,745	714,6	0,01509	0,30183	0,03	0,02	79,04	2,00	0,15	7,54	9,45	0,31	3,25
9	244146,251	7511019,103	714	0,01481	0,29619	< 0,00000	0,00	-	1,98	0,14	7,20	10,23	0,29	2,88
10	244160,838	7511014,913	715,5	0,01522	0,30443	0,07	0,02	37,38	1,81	0,15	8,31	10,25	0,31	3,02
11	244175,166	7511007,728	717,9	0,01489	0,29772	0,05	0,03	50,66	1,86	0,16	8,39	9,62	0,32	3,33
12	244188,972	7511000,977	715,2	0,01489	0,29777	< 0,00000	0,00	-	2,02	0,15	7,28	9,48	0,30	3,16
13	244200,563	7510991,198	715,3	0,01473	0,29457	0,12	0,02	19,88	2,31	0,15	6,32	8,36	0,29	3,44
14	244211,74	7510981,522	716,4	0,0146	0,29205	0,03	0,02	72,45	2,28	0,15	6,47	8,57	0,29	3,42
15	244219,764	7510969,579	717	0,01472	0,29444	0,04	0,02	53,63	2,36	0,14	5,88	8,82	0,28	3,15
16	244227,388	7510956,853	718,9	0,01462	0,29237	0,07	0,02	33,82	2,24	0,14	6,42	8,56	0,29	3,34
17	244235,134	7510943,021	715,8	0,01492	0,29834	0,11	0,02	23,15	2,00	0,15	7,50	9,36	0,30	3,25
18	244240,08	7510930,362	716,9	0,01521	0,30412	0,07	0,03	34,64	1,97	0,16	7,93	9,75	0,32	3,26
19	244244,24	7510915,473	717,8	0,01527	0,30534	< 0,00000	0,00	-	2,25	0,14	6,39	9,53	0,29	3,03
20	244247,24	7510902,227	715,9	0,01504	0,30071	0,06	0,02	40,91	1,85	0,14	7,78	10,88	0,30	2,78
21	244247,483	7510887,606	717	0,01483	0,29658	0,05	0,02	45,27	2,13	0,16	7,38	9,50	0,32	3,33
22	244248,009	7510874,54	716,8	0,01516	0,30321	< 0,00000	0,00	-	2,34	0,15	6,22	9,89	0,30	2,98
23	244248,237	7510860,805	716,3	0,01527	0,30541	< 0,00000	0,00	-	2,14	0,16	7,54	9,95	0,33	3,31
24	244247,776	7510845,175	717,6	0,01549	0,30975	0,04	0,02	58,26	2,12	0,15	7,31	10,39	0,32	3,04
25	244245,633	7510831,622	717,4	0,01533	0,30669	0,06	0,02	39,45	1,88	0,14	7,72	10,90	0,30	2,75
26	244245,041	7510817,652	717,5	0,01577	0,3153	0,08	0,02	31,71	2,13	0,15	7,00	10,59	0,30	2,86
27	244241,365	7510803,409	716,3	0,01571	0,31422	0,04	0,03	60,32	2,01	0,16	8,19	10,53	0,34	3,21
28	244236,436	7510790,253	718,3	0,01615	0,3229	0,07	0,03	34,26	2,19	0,16	7,20	10,40	0,32	3,07
29	244230,069	7510776,852	717,8	0,01649	0,32974	0,07	0,03	36,05	2,52	0,17	6,79	10,78	0,34	3,18
30	244223,198	7510762,777	716,8	0,01692	0,33842	0,08	0,03	32,09	2,83	0,16	5,81	9,82	0,32	3,30
31	244210,391	7510752,814	717,8	0,01638	0,32768	0,09	0,02	24,64	2,59	0,14	5,55	10,30	0,29	2,79
32	244197,181	7510742,291	716,4	0,01652	0,33048	0,04	0,03	60,07	2,40	0,17	7,12	11,04	0,35	3,16
33	244183,653	7510732,316	717,1	0,01591	0,31819	0,07	0,02	34,46	2,43	0,15	6,16	9,80	0,30	3,06
34	244171,974	7510722,593	714,9	0,01605	0,32097	0,03	0,02	70,21	2,71	0,15	5,63	9,69	0,30	3,14
35	244158,077	7510710,064	715,3	0,01583	0,3167	0,04	0,02	51,73	2,77	0,15	5,40	9,38	0,29	3,14
36	244143,599	7510707,718	715,9	0,01584	0,31689	0,12	0,02	20,37	1,73	0,15	8,58	10,63	0,31	2,88
37	244130,98	7510711,165	716,3	0,01588	0,3175	0,04	0,02	55,60	2,52	0,16	6,25	9,92	0,31	3,17
38	244113,271	7510711,203	717,4	0,01575	0,31508	0,02	0,02	93,04	2,24	0,15	6,53	10,48	0,30	2,85
39	244097,226	7510710,161	716,8	0,0154	0,30807	0,06	0,02	41,27	1,99	0,15	7,63	10,15	0,31	3,09
40	244081,05	7510710,889	716,7	0,01576	0,31511	0,07	0,02	31,98	2,45	0,15	5,93	9,50	0,29	3,06
41	244067,327	7510712,655	719,9	0,01597	0,31937	0,11	0,02	23,09	2,15	0,15	7,09	10,49	0,31	2,96

42	244049,648	7510710,81	717,1	0,01584	0,31673	0,03	0,02	82,51	2,39	0,16	6,65	11,21	0,32	2,86
43	244032,707	7510714,185	717,9	0,01589	0,31784	0,08	0,02	26,87	2,20	0,14	6,26	10,49	0,28	2,66
44	244015,753	7510718,335	719,5	0,01593	0,31861	0,11	0,03	23,98	1,82	0,16	8,76	11,30	0,33	2,94
45	244003,621	7510717,247	717,4	0,01592	0,31835	0,05	0,02	45,09	2,46	0,16	6,39	10,30	0,32	3,08
46	244022,583	7510994,999	730,2	0,01472	0,29445	0,08	0,02	28,58	1,65	0,14	8,58	9,47	0,29	3,06
47	244031,885	7510999,032	712,2	0,015	0,30006	0,08	0,03	31,08	1,94	0,16	8,23	9,91	0,33	3,29
48	244051,514	7511001,242	714,9	0,01463	0,29262	0,10	0,02	23,62	1,76	0,14	8,07	9,63	0,29	3,03
49	244068,391	7511001,744	715,4	0,0144	0,28792	0,05	0,02	49,25	2,03	0,15	7,44	8,76	0,31	3,49
50	244084,879	7511000,91	716,6	0,01452	0,29035	0,09	0,02	27,79	1,82	0,15	8,14	9,37	0,30	3,20
51	244102,142	7511002,969	714,7	0,01385	0,27699	0,07	0,02	33,35	1,68	0,14	8,39	8,75	0,29	3,28
52	244119,453	7511002,149	715	0,014	0,27994	0,05	0,02	46,13	1,75	0,14	7,81	9,24	0,28	3,04
53	244137,594	7511001,01	715,3	0,01421	0,28426	0,08	0,02	29,04	1,68	0,15	8,66	9,53	0,30	3,15
54	244152,203	7510995,491	714,7	0,0141	0,28191	0,07	0,02	33,57	1,92	0,14	7,21	9,18	0,28	3,09
55	244166,814	7510989,862	714,6	0,01441	0,28826	0,04	0,02	57,32	2,11	0,14	6,62	9,35	0,28	3,03
56	244181,07	7510980,791	715,4	0,01471	0,29425	0,04	0,02	58,20	2,01	0,14	7,10	9,71	0,29	3,00
57	244194,244	7510968,712	717,4	0,01478	0,29558	0,09	0,02	26,91	2,08	0,14	6,79	9,02	0,28	3,16
58	244205,063	7510955,817	717,6	0,01448	0,28958	0,05	0,02	45,15	1,77	0,15	8,62	9,56	0,31	3,29
59	244213,529	7510941,997	718	0,01442	0,28848	< 0,00000	0,00	-	2,12	0,14	6,72	8,98	0,29	3,19
60	244220,898	7510926,054	715,7	0,01443	0,28859	0,07	0,02	35,62	1,71	0,15	8,91	9,95	0,31	3,16
61	244225,496	7510909,622	717,2	0,01456	0,29111	0,09	0,02	23,99	1,89	0,13	7,05	9,40	0,27	2,90
62	244227,281	7510895,137	716,8	0,01469	0,29384	0,06	0,02	43,43	1,86	0,15	8,11	9,97	0,31	3,12
63	244227,955	7510879,304	718,4	0,01455	0,29099	0,07	0,02	31,85	1,75	0,14	8,15	9,72	0,29	3,00
64	244227,821	7510862,571	718,7	0,01538	0,30766	0,06	0,03	39,60	2,00	0,16	7,87	10,13	0,32	3,18
65	244226,529	7510847,371	717	0,01506	0,30114	0,08	0,02	27,86	1,85	0,14	7,81	10,48	0,30	2,83
66	244225,991	7510830,188	718,3	0,01581	0,31611	0,03	0,02	92,50	2,20	0,15	6,88	10,67	0,31	2,90
67	244223,163	7510814,519	715,7	0,01585	0,31699	0,12	0,03	22,38	2,09	0,16	7,60	10,46	0,32	3,07
68	244218,297	7510797,486	714,7	0,01576	0,31514	0,09	0,03	27,34	2,18	0,16	7,25	10,26	0,32	3,13
69	244212,647	7510784,318	713,6	0,01578	0,3156	0,04	0,03	64,34	2,55	0,16	6,40	10,31	0,32	3,14
70	244203,834	7510769,436	716,5	0,01534	0,30687	< 0,00000	0,00	-	2,52	0,15	6,14	9,77	0,31	3,18
71	244193,834	7510757,857	713,8	0,01559	0,31186	0,08	0,02	30,79	1,90	0,15	8,03	10,62	0,31	2,96
72	244181,873	7510746,468	715,5	0,01575	0,31508	0,08	0,02	32,93	2,34	0,16	6,63	10,89	0,32	2,90
73	244167,818	7510737,26	717	0,01519	0,30374	0,05	0,03	47,64	2,34	0,16	6,93	9,87	0,33	3,31
74	244153,838	7510729,715	716,5	0,01533	0,30661	0,10	0,03	25,72	1,93	0,16	8,35	10,14	0,33	3,25
75	244137,858	7510724,796	715,4	0,01512	0,30239	< 0,00000	0,00	-	2,22	0,16	7,10	10,10	0,32	3,18
76	244123,738	7510719,465	719,3	0,01558	0,31158	0,05	0,02	47,21	2,11	0,14	6,83	10,42	0,29	2,82
77	244013,755	7510981,003	716,3	0,0146	0,29196	0,08	0,02	31,81	1,90	0,15	7,96	9,04	0,31	3,40
78	244030,604	7510983,167	716,2	0,01531	0,30621	0,05	0,03	49,93	2,48	0,17	6,87	8,80	0,34	3,86
79	244047,974	7510978,802	715,8	0,01549	0,30981	0,06	0,02	41,50	1,91	0,15	7,96	10,42	0,31	3,00
80	244065,921	7510983,089	718,2	0,01512	0,30232	0,06	0,02	40,81	2,04	0,15	7,48	9,45	0,31	3,26
81	244083,199	7510984,262	717,3	0,01491	0,29816	0,08	0,02	28,00	2,18	0,14	6,57	9,05	0,29	3,19
82	244096,575	7510984,817	715,1	0,01438	0,28759	< 0,00000	0,00	-	2,10	0,16	7,44	8,72	0,31	3,60
83	244113,873	7510984,772	715,1	0,01422	0,28433	0,04	0,02	54,24	1,73	0,15	8,41	9,54	0,30	3,13
84	244130,385	7510982,498	717,1	0,01473	0,29452	0,08	0,02	32,54	1,90	0,15	7,90	9,37	0,31	3,28
85	244145,364	7510979,534	716,2	0,01489	0,29782	0,05	0,02	54,36	2,03	0,16	7,66	9,83	0,31	3,20
86	244160,813	7510973,032	716,6	0,01472	0,29431	0,05	0,02	44,58	2,15	0,15	6,82	8,74	0,30	3,39

87	244173,933	7510964,164	717,3	0,0147	0,29408	< 0,00000	0,00	-	2,23	0,15	6,62	9,01	0,30	3,32
88	244185,441	7510953,165	716,3	0,01433	0,28659	0,08	0,02	28,48	1,65	0,13	7,99	9,75	0,27	2,80
89	244196,261	7510940,27	713,4	0,01469	0,29385	0,06	0,02	34,70	1,96	0,14	7,02	9,53	0,28	2,94
90	244202,477	7510925,527	714,6	0,01513	0,30268	0,09	0,03	27,64	2,17	0,16	7,34	9,23	0,32	3,46
91	244207,78	7510909,992	713,3	0,01487	0,29742	0,09	0,02	28,53	2,08	0,15	7,27	9,51	0,31	3,22
92	244210,799	7510895,639	714	0,01496	0,29917	0,06	0,03	40,57	2,19	0,16	7,44	9,18	0,33	3,57
93	244212,168	7510881,369	713	0,01514	0,30282	0,08	0,02	29,88	2,23	0,15	6,78	9,40	0,30	3,21
94	244212,872	7510863,764	712,5	0,01543	0,30855	0,09	0,03	30,31	2,10	0,16	7,63	9,41	0,32	3,42
95	244211,584	7510848,341	712,7	0,01526	0,30515	0,04	0,02	63,41	2,21	0,15	6,82	9,54	0,31	3,20
96	244211,467	7510830,612	711,7	0,01566	0,31316	0,04	0,02	58,72	2,22	0,15	6,76	9,86	0,30	3,07
97	244208,539	7510814,719	713,1	0,01576	0,31522	< 0,00000	0,00	-	2,08	0,16	7,69	11,35	0,33	2,93
98	244202,931	7510799,004	713,4	0,01578	0,31555	0,06	0,03	42,87	2,21	0,16	7,36	10,50	0,33	3,13
99	244196,156	7510785,374	714,5	0,01566	0,31317	0,06	0,03	41,31	1,93	0,16	8,32	10,80	0,33	3,09
100	244186,071	7510772,686	713	0,01564	0,31287	0,08	0,02	27,98	1,90	0,14	7,35	10,55	0,29	2,72
101	244174,508	7510762,19	714,4	0,01564	0,3128	0,06	0,02	36,49	1,96	0,15	7,42	10,64	0,30	2,83
102	244161,697	7510752,448	712	0,01539	0,30788	0,04	0,02	57,04	2,01	0,15	7,28	10,57	0,30	2,86
103	244147,318	7510744,121	710,4	0,01496	0,29919	0,03	0,02	67,05	2,12	0,15	6,96	9,37	0,30	3,19
104	244132,079	7510737,996	710,7	0,01584	0,31689	0,05	0,02	47,09	2,28	0,16	6,80	9,68	0,31	3,25
105	244117,228	7510733,317	711,8	0,01539	0,30774	< 0,00000	0,00	-	2,30	0,16	6,80	9,46	0,32	3,34
106	244099,985	7510730,039	710,7	0,01537	0,30742	< 0,00000	0,00	-	1,81	0,14	7,81	10,63	0,29	2,77
107	244083,54	7510728,326	709,9	0,01574	0,31473	0,08	0,02	28,85	2,09	0,15	6,96	10,07	0,29	2,93
108	244065,871	7510725,927	711,9	0,01543	0,30855	0,11	0,02	21,62	2,25	0,15	6,65	9,61	0,30	3,12
109	244050,286	7510722,011	712,4	0,01614	0,32284	0,04	0,02	53,52	2,68	0,15	5,64	9,79	0,30	3,08
110	244034,892	7510725,19	713,3	0,01571	0,31427	0,17	0,03	14,61	2,22	0,15	6,83	9,04	0,30	3,35
111	244012,756	7510731,359	713	0,01593	0,31864	0,14	0,03	18,82	1,65	0,16	9,45	10,46	0,32	3,08
112	244001,321	7510737,928	715,6	0,01479	0,29585	0,06	0,02	38,89	2,03	0,15	7,37	9,64	0,31	3,17
113	244012,761	7510972,677	707,1	0,01525	0,30508	0,10	0,02	24,78	1,75	0,15	8,47	9,86	0,30	3,08
114	244031,07	7510979,961	712,8	0,01517	0,3034	0,07	0,02	37,06	1,87	0,15	8,13	9,45	0,31	3,30
115	244052,7	7510979,434	710,1	0,01504	0,30072	0,04	0,03	66,42	1,95	0,17	8,57	8,97	0,34	3,77
116	244069,094	7510984,249	709,9	0,01541	0,3082	0,04	0,03	60,09	2,36	0,17	7,09	8,85	0,33	3,76
117	244086,782	7510985,541	709	0,01501	0,30021	0,05	0,02	44,08	1,70	0,15	8,79	9,89	0,31	3,12
118	244056,382	7510968,527	712,5	0,01528	0,30555	< 0,00000	0,00	-	2,76	0,16	5,67	9,13	0,31	3,39
119	244068,944	7510968,514	711,2	0,01609	0,32176	0,05	0,03	52,68	2,61	0,16	6,29	9,40	0,33	3,47
120	244080,777	7510968,932	709,9	0,01514	0,3029	< 0,00000	0,00	-	2,62	0,15	5,78	9,11	0,30	3,30
121	244092,511	7510969,127	712,4	0,01498	0,29957	0,10	0,02	23,92	1,80	0,15	8,26	9,62	0,30	3,15
122	244102,676	7510970,847	710,2	0,01475	0,29505	0,06	0,02	41,18	1,93	0,15	7,92	8,97	0,31	3,46
123	244113,686	7510971,252	709,8	0,01566	0,31327	0,05	0,02	43,77	2,54	0,14	5,70	8,99	0,29	3,21
124	244125,457	7510969,231	712	0,01526	0,30522	0,07	0,02	36,29	2,45	0,15	6,29	8,96	0,31	3,44
125	244135,771	7510968,184	710,6	0,01538	0,3076	0,06	0,03	41,27	1,96	0,16	8,19	9,65	0,33	3,42
126	244146,759	7510963,713	711,8	0,0155	0,30997	0,07	0,03	37,86	2,03	0,16	7,88	9,49	0,33	3,43
127	244157,133	7510959,01	709,5	0,01646	0,32913	0,11	0,03	23,16	2,39	0,16	6,79	10,32	0,33	3,17
128	244165,895	7510952,175	710,7	0,01575	0,315	0,07	0,02	33,66	2,60	0,16	6,07	8,69	0,31	3,58
129	244174,277	7510943,451	709,6	0,01594	0,31887	0,04	0,03	69,36	2,06	0,16	7,84	10,58	0,33	3,12
130	244181,126	7510934,036	710,2	0,01584	0,31677	0,12	0,03	20,60	2,38	0,16	6,63	9,55	0,32	3,30
131	244185,918	7510924,476	710,8	0,01577	0,31538	0,09	0,02	26,46	2,10	0,15	7,31	9,49	0,31	3,28

132	244190,829	7510913,921	712,4	0,01646	0,3293	0,12	0,02	20,77	2,53	0,15	6,07	9,51	0,30	3,20
133	244192,964	7510903,209	711,4	0,0154	0,30807	0,12	0,02	20,24	2,47	0,15	5,94	8,65	0,29	3,36
134	244194,69	7510892,269	712,5	0,01576	0,3152	0,11	0,03	25,00	2,65	0,16	6,17	9,08	0,32	3,57
135	244195,313	7510879,538	713,3	0,01554	0,31087	0,09	0,02	25,64	2,52	0,14	5,63	8,96	0,28	3,14
136	244195,503	7510868,129	711,3	0,01538	0,30766	0,09	0,03	28,85	1,88	0,17	8,85	9,46	0,34	3,58
137	244194,56	7510856,701	711	0,01584	0,31689	0,05	0,02	48,84	2,15	0,15	7,16	10,32	0,31	3,05
138	244194,338	7510845,285	713,2	0,01632	0,32639	0,06	0,03	45,41	2,22	0,17	7,57	9,88	0,34	3,45
139	244193,384	7510834,522	711,3	0,01563	0,31263	0,04	0,03	56,80	2,24	0,16	7,23	9,56	0,33	3,42
140	244192,75	7510823,099	711,4	0,01668	0,33353	0,05	0,03	50,03	2,55	0,16	6,28	10,01	0,32	3,21
141	244188,598	7510812,726	711,4	0,01633	0,3267	0,07	0,03	37,54	2,00	0,16	7,83	10,65	0,32	3,02
142	244184,433	7510803,128	712,7	0,01588	0,31754	0,08	0,03	31,00	2,27	0,16	7,11	9,58	0,32	3,37
143	244178,334	7510792,169	714,3	0,01648	0,32952	0,10	0,02	22,19	2,19	0,14	6,44	10,39	0,29	2,76
144	244171,357	7510784,519	713,3	0,0163	0,32604	0,04	0,03	66,73	2,52	0,17	6,93	10,03	0,35	3,51
145	244164,485	7510776,759	712,8	0,01604	0,32089	0,03	0,02	84,96	2,49	0,16	6,22	9,64	0,31	3,21
146	244153,992	7510770,048	713,7	0,01609	0,32182	0,07	0,02	34,80	2,41	0,15	6,19	10,07	0,30	3,00
147	244141,862	7510762,645	713,5	0,01576	0,31529	0,09	0,02	25,50	2,10	0,15	6,99	9,92	0,30	3,01
148	244131,327	7510758,481	711	0,01633	0,32663	0,06	0,03	43,30	2,14	0,16	7,64	11,18	0,34	3,02
149	244119,674	7510753,412	714,2	0,01611	0,3222	0,08	0,03	33,89	2,57	0,16	6,26	9,24	0,32	3,44
150	244108,688	7510751,568	710,8	0,01581	0,31615	0,07	0,02	32,89	2,01	0,15	7,55	10,68	0,31	2,89
151	244098,966	7510747,972	709,8	0,01577	0,31531	< 0,00000	0,00	-	2,13	0,17	7,80	9,94	0,34	3,42
152	244086,721	7510747,546	712	0,01544	0,30887	0,03	0,02	82,04	2,38	0,15	6,13	9,30	0,29	3,13
153	244076,154	7510745,266	709,8	0,01583	0,31655	0,05	0,03	46,61	2,06	0,16	7,72	10,58	0,33	3,08
154	244065,271	7510743,423	711,7	0,01582	0,31645	0,03	0,02	77,53	2,20	0,15	6,69	10,56	0,30	2,83
155	244054,274	7510742,243	714,3	0,01578	0,31555	0,07	0,02	33,55	2,26	0,15	6,55	9,91	0,30	3,04
156	244039,759	7510742,112	714,2	0,01582	0,31647	0,09	0,02	25,91	1,97	0,14	7,16	10,46	0,29	2,76
157	244027,387	7510749,33	714,9	0,01584	0,31676	0,09	0,03	27,91	2,11	0,16	7,51	10,12	0,32	3,16
158	244018,273	7510758,707	716,7	0,01613	0,32265	0,10	0,03	27,18	2,00	0,16	8,15	10,34	0,33	3,22
159	244006,743	7510764,831	716	0,01584	0,3168	0,09	0,02	25,44	2,52	0,14	5,72	9,39	0,28	3,03
160	244017,939	7510939,856	708,8	0,01653	0,33052	0,15	0,02	16,42	2,59	0,15	5,92	9,52	0,30	3,19
161	244029,764	7510940,828	706,6	0,01701	0,3401	0,13	0,03	19,82	2,48	0,17	6,67	9,64	0,33	3,41
162	244043,419	7510943,16	709,5	0,01624	0,32476	0,08	0,03	30,79	2,73	0,16	5,81	9,38	0,31	3,32
163	244054,767	7510948,002	709,5	0,01595	0,31903	0,10	0,03	27,04	2,50	0,17	6,77	9,11	0,34	3,70
164	244067,746	7510947,664	708,9	0,01533	0,30658	0,05	0,03	51,77	2,46	0,16	6,54	9,07	0,32	3,53
165	244082,292	7510945,911	708	0,01582	0,31631	0,08	0,02	28,65	2,12	0,15	7,03	9,78	0,30	3,03
166	244093,271	7510948,199	710	0,01553	0,31066	0,09	0,02	25,77	2,18	0,15	6,67	9,42	0,29	3,12
167	244104,998	7510948,837	709,7	0,01568	0,31359	0,09	0,02	27,34	2,18	0,15	6,91	10,31	0,31	2,97
168	244116,447	7510947,587	709,1	0,01649	0,32983	0,05	0,03	54,52	2,56	0,17	6,49	9,93	0,33	3,32
169	244128,206	7510946,342	711,9	0,01637	0,32748	0,06	0,02	42,00	2,63	0,16	5,97	10,19	0,31	3,07
170	244138,556	7510943,079	708,1	0,01652	0,33041	0,11	0,03	22,60	2,58	0,16	6,15	10,16	0,32	3,12
171	244147,169	7510939,012	711,9	0,01695	0,33898	0,08	0,03	35,02	2,80	0,18	6,27	10,08	0,35	3,47
172	244155,643	7510930,953	712,1	0,01664	0,33288	0,13	0,03	20,85	2,23	0,16	7,24	10,09	0,33	3,22
173	244161,225	7510923,401	709,7	0,01764	0,35279	0,12	0,03	22,48	2,73	0,17	6,27	10,87	0,34	3,15
174	244168,07	7510914,208	709,9	0,01675	0,33504	0,12	0,02	20,58	2,17	0,15	7,07	10,70	0,32	2,94
175	244171,043	7510902,624	708,7	0,01601	0,32029	0,06	0,02	39,15	2,59	0,15	5,76	9,56	0,30	3,10
176	244173,16	7510892,909	709,4	0,01519	0,30372	0,16	0,02	15,57	2,27	0,15	6,42	8,39	0,29	3,42

177	244174,475	7510881,961	710	0,01579	0,31582	0,09	0,02	27,20	2,26	0,15	6,76	9,68	0,31	3,18
178	244176,635	7510869,699	716,7	0,0165	0,32992	0,13	0,02	19,50	2,20	0,15	6,88	10,92	0,31	2,83
179	244172,451	7510861,209	711,8	0,01692	0,33847	0,11	0,03	25,51	2,28	0,17	7,31	10,69	0,34	3,13
180	244173,904	7510848,159	711	0,01666	0,33324	0,05	0,02	49,32	2,36	0,16	6,69	10,23	0,32	3,12
181	244170,941	7510834,371	709,9	0,0168	0,33591	0,05	0,03	47,90	2,42	0,16	6,77	10,84	0,33	3,05
182	244168,32	7510824,798	712,1	0,01769	0,35381	0,05	0,03	46,42	2,82	0,16	5,76	10,95	0,33	2,98
183	244164,598	7510813,324	709,6	0,01713	0,34263	0,07	0,02	34,86	2,60	0,16	6,04	11,30	0,32	2,82
184	244157,408	7510799,909	710,3	0,01638	0,32765	0,12	0,02	19,90	2,20	0,15	6,86	10,40	0,31	2,95
185	244149,271	7510793,902	709,4	0,01723	0,34469	0,13	0,03	20,94	2,26	0,17	7,53	10,91	0,35	3,17
186	244140,355	7510785,222	708,9	0,01632	0,32646	0,09	0,03	27,92	2,32	0,16	6,81	10,49	0,32	3,07
187	244131,367	7510780,863	710	0,01673	0,33464	0,12	0,02	21,06	2,63	0,15	5,89	10,38	0,31	2,99
188	244119,274	7510777,449	709,9	0,01575	0,31497	0,06	0,02	39,71	2,59	0,15	5,96	9,23	0,31	3,32
189	244108,727	7510773,95	709,4	0,01579	0,31572	0,14	0,03	19,57	2,23	0,16	7,37	8,55	0,33	3,82
190	244094,661	7510771,611	707,7	0,01586	0,3172	0,11	0,03	22,94	2,25	0,16	6,97	9,78	0,31	3,22
191	244085,206	7510770,567	709	0,01595	0,31896	0,13	0,03	20,11	2,16	0,16	7,34	9,77	0,32	3,27
192	244072,284	7510767,472	710,4	0,0165	0,32999	0,16	0,03	16,47	2,28	0,16	6,93	10,30	0,32	3,10
193	244062,113	7510766,195	710,1	0,01654	0,33082	0,20	0,03	14,75	2,14	0,17	8,13	10,46	0,35	3,38
194	244050,75	7510762,239	711,2	0,01645	0,32896	0,11	0,03	23,47	2,52	0,17	6,57	9,72	0,33	3,40
195	244042,763	7510771,967	713,7	0,01657	0,33139	0,14	0,03	19,54	2,61	0,17	6,38	9,89	0,33	3,36
196	244035,475	7510783,036	711,7	0,01629	0,3259	0,13	0,02	17,53	2,58	0,14	5,54	9,03	0,28	3,12
197	244032,931	7510793,631	714,3	0,01614	0,3228	0,10	0,03	24,41	2,51	0,16	6,33	9,65	0,32	3,28
198	244023,362	7510805,659	711,6	0,01702	0,34035	0,12	0,03	20,94	2,40	0,16	6,74	11,16	0,33	2,95
199	244012,579	7510816,338	713	0,01594	0,31884	0,06	0,02	37,39	2,77	0,15	5,49	9,08	0,30	3,29
200	244006,942	7510827,214	713,9	0,01618	0,32352	0,11	0,02	21,66	2,39	0,14	6,02	9,63	0,29	2,99
201	244005,059	7510841,364	713,2	0,01648	0,32951	0,07	0,03	38,77	2,67	0,17	6,41	9,69	0,34	3,49
202	244006,527	7510852,136	712,1	0,01587	0,31735	0,08	0,03	29,91	2,16	0,16	7,28	10,53	0,32	3,06
203	244006,327	7510864,21	709,1	0,01556	0,31115	< 0,00000	0,00	-	2,53	0,15	5,79	10,18	0,30	2,91
204	244007,199	7510879,847	709	0,01535	0,30705	0,05	0,02	48,73	2,33	0,15	6,39	9,84	0,30	3,06
205	244008,522	7510893,164	707,5	0,0176	0,35206	0,10	0,03	26,41	2,58	0,16	6,15	11,15	0,32	2,87
206	244007,897	7510906,007	708,5	0,01692	0,33849	0,14	0,03	18,55	2,24	0,16	7,26	10,56	0,33	3,10
207	244009,564	7510923,429	710,4	0,01644	0,32885	0,09	0,02	25,97	2,62	0,15	5,67	10,45	0,30	2,86
208	244009,786	7510934,845	709,7	0,01668	0,33352	0,08	0,03	31,75	2,58	0,17	6,44	10,35	0,33	3,23
209	244012,366	7510946,854	710	0,01497	0,2993	0,08	0,03	30,78	2,33	0,16	6,65	8,93	0,31	3,47
210	244013,691	7510960,061	711,1	0,01532	0,30643	0,09	0,02	23,78	2,24	0,14	6,07	9,55	0,27	2,85
211	244027,041	7510962,167	712,8	0,0167	0,33395	0,11	0,02	22,42	2,51	0,15	6,00	10,17	0,30	2,96
212	244039,148	7510964,695	712,8	0,01596	0,3191	0,08	0,03	34,83	2,38	0,17	7,05	10,06	0,34	3,36
213	244005,23	7511023,075	715	0,01537	0,30737	0,09	0,03	29,01	2,48	0,17	6,66	8,43	0,33	3,89
214	244003,88	7511011,419	715,6	0,01559	0,31174	0,07	0,02	35,21	1,95	0,15	7,87	9,51	0,31	3,30
215	244005,216	7510999,143	713,8	0,01515	0,30298	0,06	0,02	36,36	1,83	0,14	7,72	9,57	0,29	3,04
216	244002,193	7510989,01	714,9	0,01509	0,30172	0,05	0,03	45,71	2,18	0,16	7,15	9,13	0,31	3,44
217	244001,646	7510978,586	714	0,01524	0,30486	0,07	0,02	33,94	1,87	0,15	8,01	9,45	0,31	3,25
218	244001,429	7510966,838	713,2	0,01516	0,30321	0,07	0,02	35,21	2,45	0,15	5,93	9,17	0,29	3,14
219	244000,764	7510957,298	713,7	0,01546	0,30918	0,04	0,02	52,94	2,19	0,14	6,60	9,83	0,29	2,99
220	243999,025	7510944,195	712,8	0,01535	0,3069	0,06	0,02	38,34	2,24	0,16	6,98	9,68	0,31	3,23
221	243998,807	7510932,558	712,7	0,01553	0,31056	0,04	0,02	55,56	2,43	0,16	6,52	8,94	0,31	3,51

222	243999,862	7510918,615	709,3	0,01619	0,32381	0,11	0,03	24,24	2,14	0,16	7,45	10,44	0,32	3,10
223	243998,874	7510909,956	712,9	0,01593	0,31864	0,10	0,02	23,75	1,94	0,14	7,42	11,17	0,30	2,67
224	243997,416	7510898,52	713,4	0,01548	0,30964	0,11	0,02	22,29	1,97	0,15	7,65	10,05	0,31	3,07
225	243997,613	7510886,668	713,7	0,01495	0,29903	0,08	0,02	28,30	2,17	0,14	6,61	8,68	0,28	3,28
226	243997,114	7510873,364	712,2	0,01477	0,29539	< 0,00000	0,00	-	2,43	0,16	6,47	9,11	0,32	3,48
227	243995,359	7510861,257	712,6	0,01567	0,31344	< 0,00000	0,00	-	2,65	0,16	6,02	9,86	0,32	3,24
228	243994,756	7510847,952	712	0,01575	0,31508	0,08	0,02	29,24	2,17	0,14	6,65	10,56	0,29	2,79
229	243995,419	7510832,894	711	0,01518	0,30352	0,03	0,03	77,49	2,06	0,16	7,69	10,18	0,32	3,19
230	243994,75	7510823,576	712,6	0,01513	0,30251	0,06	0,02	40,09	2,05	0,14	6,81	9,73	0,29	2,94
231	243994,18	7510814,481	713	0,01516	0,30329	0,13	0,03	19,77	2,01	0,16	7,83	9,41	0,32	3,39
232	243992,719	7510803,266	713,8	0,0149	0,29804	0,08	0,02	25,86	1,69	0,13	7,84	10,10	0,27	2,71
233	243991,755	7510793,168	714,2	0,01494	0,29888	< 0,00000	0,00	-	2,12	0,16	7,67	9,51	0,33	3,47
234	243992,356	7510781,766	715,2	0,01559	0,31181	0,05	0,03	48,44	2,07	0,16	7,73	10,33	0,33	3,18
235	243990,581	7510770,878	716,9	0,01507	0,30147	0,07	0,03	34,84	1,86	0,16	8,37	10,00	0,32	3,21
236	243990,78	7510758,915	717,8	0,01546	0,3093	< 0,00000	0,00	-	2,04	0,15	7,33	10,24	0,31	2,99
237	243989,734	7510747,486	716,6	0,01507	0,30131	0,08	0,02	31,82	2,16	0,16	7,19	9,86	0,31	3,18
238	243989,246	7510733,517	717,2	0,01481	0,29628	0,07	0,03	38,07	2,22	0,16	7,26	8,50	0,32	3,76
239	243988,591	7510723,313	719,4	0,01479	0,29582	0,05	0,02	45,71	1,80	0,15	8,43	9,43	0,31	3,31
240	243988,366	7510712,118	720	0,01533	0,30659	0,05	0,02	47,80	2,19	0,14	6,54	9,62	0,29	3,02
241	243987,004	7510701,127	720,4	0,0157	0,31399	0,12	0,02	19,66	1,88	0,15	7,95	9,86	0,31	3,10
242	243975,586	7510700,494	723,2	0,01488	0,29752	0,05	0,02	51,66	2,07	0,15	7,09	9,09	0,30	3,26
243	243975,378	7510713,01	721	0,0148	0,29603	< 0,00000	0,00	-	1,88	0,15	8,15	10,01	0,32	3,19
244	243975,179	7510724,973	718,7	0,01522	0,30442	0,08	0,02	31,48	1,97	0,15	7,75	10,09	0,31	3,07
245	243976,646	7510735,856	718	0,01519	0,3037	0,11	0,03	23,11	1,94	0,15	7,98	10,03	0,32	3,15
246	243976,752	7510748,045	717,4	0,01505	0,30099	0,12	0,02	18,85	2,21	0,14	6,50	8,81	0,29	3,26
247	243977,382	7510759,69	716,1	0,01499	0,29978	0,05	0,03	47,12	2,00	0,16	7,83	9,56	0,32	3,33
248	243978,317	7510771,561	716,3	0,01465	0,29298	0,09	0,02	25,05	1,28	0,14	10,98	10,48	0,30	2,83
249	243978,539	7510782,976	715	0,01488	0,29767	0,13	0,03	19,32	1,93	0,15	7,79	8,54	0,30	3,53
250	243991,26	7510798,146	658,5	0,01495	0,29891	0,04	0,02	59,30	2,03	0,15	7,35	9,05	0,30	3,33
251	243982,433	7510808,857	718,1	0,01506	0,30113	0,14	0,03	18,55	2,04	0,16	7,68	9,11	0,31	3,43
252	243981,545	7510818,925	720	0,01505	0,30096	0,13	0,02	19,41	1,61	0,15	9,14	9,92	0,30	3,06
253	243981,664	7510830,339	719	0,01539	0,30776	0,14	0,02	17,99	1,76	0,15	8,49	10,13	0,30	3,01
254	243983,419	7510842,445	717	0,01519	0,30386	0,13	0,03	21,37	1,82	0,16	8,86	9,81	0,33	3,34
255	243984,06	7510853,425	716	0,01516	0,30326	0,05	0,02	44,92	2,18	0,14	6,65	9,80	0,29	2,99
256	243985,415	7510864,859	715,1	0,01548	0,30964	0,11	0,03	25,14	2,13	0,17	7,75	9,39	0,33	3,55
257	243985,63	7510876,718	713,8	0,01573	0,31461	0,12	0,03	22,07	2,11	0,17	7,86	9,91	0,34	3,41
258	243988,215	7510888,395	714	0,01595	0,31907	0,08	0,03	34,02	2,48	0,17	6,76	10,08	0,34	3,34
259	243986,791	7510899,783	714,6	0,0154	0,30798	0,08	0,02	30,15	2,12	0,15	6,97	9,95	0,30	3,02
260	243987,424	7510911,206	714,7	0,01561	0,31221	0,10	0,03	26,78	2,16	0,16	7,57	10,11	0,33	3,29
261	243986,391	7510923,82	715,6	0,01512	0,30245	0,06	0,02	37,36	2,07	0,14	6,61	9,87	0,28	2,81
262	243988,554	7510936,154	715,1	0,01457	0,29138	0,06	0,02	38,70	1,68	0,15	8,76	9,49	0,30	3,18
263	243988,361	7510947,785	714,8	0,01489	0,29784	0,05	0,02	46,03	1,99	0,15	7,60	9,61	0,31	3,21
264	243988,971	7510960,648	715,8	0,01565	0,31308	0,12	0,03	21,54	1,88	0,16	8,57	10,50	0,33	3,14
265	243989,891	7510973,405	715,6	0,01472	0,29447	0,13	0,02	18,28	1,85	0,14	7,63	9,10	0,29	3,15
266	243991,345	7510985,063	715,3	0,01483	0,29658	< 0,00000	0,00	-	2,09	0,15	7,25	9,60	0,31	3,22

267	243990,297	7510998,562	716,7	0,01451	0,29018	0,09	0,02	24,37	2,00	0,14	6,98	9,34	0,28	3,03
268	243990,883	7511012,865	717,4	0,01458	0,29154	0,12	0,02	19,48	1,63	0,14	8,71	9,23	0,29	3,14
269	243977,61	7511006,107	717,7	0,01532	0,30638	0,10	0,03	25,58	2,11	0,16	7,67	9,55	0,33	3,44
270	243976,263	7510994,23	717,3	0,01506	0,30115	0,10	0,02	24,84	2,01	0,15	7,24	9,37	0,30	3,15
271	243976,05	7510982,26	716,5	0,01479	0,29583	0,10	0,02	23,39	1,63	0,15	8,96	9,59	0,30	3,12
272	243975,435	7510969,73	714,1	0,01534	0,30686	0,07	0,02	35,67	2,05	0,15	7,08	9,61	0,30	3,07
273	243976,029	7510958,77	713,1	0,01498	0,29963	0,11	0,03	22,76	1,72	0,15	8,86	9,54	0,31	3,26
274	243974,277	7510946,443	712,1	0,01569	0,31376	0,07	0,02	34,26	2,08	0,15	7,40	9,69	0,31	3,23
275	243974,506	7510932,708	714,5	0,01527	0,3054	0,12	0,02	18,91	1,66	0,14	8,28	10,23	0,28	2,77
276	243973,567	7510921,058	711	0,0154	0,30802	0,07	0,02	32,83	1,83	0,15	8,11	10,11	0,31	3,05
277	243972,556	7510907,524	711,2	0,01488	0,29762	0,03	0,02	86,18	2,20	0,15	6,90	8,75	0,30	3,47
278	243972,343	7510895,555	711,2	0,01525	0,30493	< 0,00000	0,00	-	2,02	0,14	6,83	9,91	0,28	2,86
279	243972,537	7510883,924	711,9	0,01492	0,29843	0,05	0,02	51,57	2,18	0,15	6,98	9,20	0,31	3,34
280	243971,563	7510874,379	712	0,01477	0,29543	0,09	0,02	28,38	1,83	0,15	8,27	9,27	0,31	3,32
281	243970,201	7510863,388	710,6	0,01489	0,29774	0,03	0,03	98,22	2,13	0,16	7,73	9,35	0,33	3,55
282	243971,087	7510853,431	710	0,01517	0,30334	0,07	0,02	32,44	2,12	0,15	7,00	9,59	0,30	3,14
283	243970,123	7510843,332	714,6	0,01475	0,29501	0,10	0,02	22,80	1,78	0,14	8,01	9,24	0,29	3,16
284	243970,331	7510830,815	715,6	0,01482	0,29649	0,09	0,02	26,76	1,98	0,15	7,42	9,18	0,30	3,24
285	243969,296	7510818,721	714,2	0,01539	0,30781	0,06	0,02	43,43	1,90	0,15	7,95	9,75	0,31	3,17
286	243969,063	7510807,97	712,8	0,01509	0,30182	0,07	0,03	35,57	2,21	0,16	7,20	9,26	0,32	3,48
287	243967,294	7510796,75	719,4	0,01499	0,29977	0,06	0,02	37,64	1,81	0,15	8,32	9,62	0,31	3,21
288	243965,551	7510783,868	724,6	0,01404	0,2809	0,06	0,02	37,79	1,46	0,14	9,38	9,63	0,29	2,99
289	243965,443	7510771,79	726,3	0,01462	0,29248	0,03	0,02	77,29	1,70	0,14	8,41	9,95	0,30	2,98
290	243965,703	7510756,172	721	0,01461	0,2921	0,06	0,02	43,54	1,79	0,15	8,32	9,15	0,31	3,34
291	243965,038	7510746,632	725,1	0,01534	0,30673	0,07	0,03	37,65	1,81	0,16	8,99	10,01	0,34	3,36
292	243961,416	7511032,651	718,3	0,01492	0,29841	0,15	0,02	16,05	1,76	0,14	8,18	9,27	0,29	3,17
293	243961,881	7511004,627	713,3	0,01489	0,2978	0,08	0,02	29,53	2,17	0,15	6,75	9,07	0,29	3,24
294	243960,923	7511018,904	714,6	0,01451	0,29019	0,08	0,02	29,35	2,04	0,15	7,16	9,07	0,29	3,24
295	243960,514	7510993,968	715,6	0,01522	0,30436	0,09	0,03	27,27	2,31	0,15	6,69	8,84	0,31	3,48
296	243959,904	7510981,105	716	0,01545	0,30899	0,14	0,03	18,39	1,98	0,15	7,63	9,89	0,30	3,08
297	243958,546	7510969,892	714	0,01518	0,3036	0,15	0,02	16,92	2,09	0,15	7,22	9,31	0,30	3,27
298	243958,732	7510958,705	713,6	0,01489	0,29775	0,14	0,02	18,11	2,18	0,15	6,93	8,37	0,30	3,56
299	243956,97	7510947,041	710,3	0,01469	0,29389	0,10	0,02	23,88	2,26	0,15	6,65	9,19	0,30	3,27
300	243958,003	7510934,428	713,6	0,01521	0,30412	0,07	0,02	35,01	2,13	0,15	6,91	9,51	0,30	3,12
301	243957,392	7510921,676	713,2	0,01467	0,2934	0,10	0,03	25,40	1,78	0,15	8,66	9,83	0,32	3,24
302	243957,205	7510908,155	716,5	0,01485	0,29704	0,09	0,02	25,77	1,82	0,15	8,18	10,39	0,31	2,95
303	243957,409	7510895,86	714,7	0,01433	0,28667	0,09	0,03	30,59	2,20	0,16	7,41	8,95	0,33	3,64
304	243955,228	7510884,633	714,8	0,01461	0,2921	0,10	0,02	23,36	1,59	0,15	9,13	9,62	0,30	3,12
305	243955,423	7510872,892	714,5	0,01416	0,28317	0,09	0,02	27,02	1,64	0,15	8,97	9,58	0,31	3,20
306	243954,098	7510859,685	715	0,01451	0,29015	0,07	0,02	33,12	2,04	0,15	7,23	9,50	0,30	3,15
307	243952,736	7510848,694	715,6	0,01451	0,29022	0,12	0,02	20,89	1,90	0,15	7,77	9,14	0,30	3,26
308	243953,369	7510835,408	715,3	0,0142	0,2841	0,12	0,02	20,47	2,07	0,15	7,15	8,60	0,30	3,43
309	243953,573	7510823,113	719,2	0,0142	0,28394	0,05	0,02	45,89	2,04	0,14	6,89	8,86	0,28	3,20
310	243950,55	7510812,98	715,8	0,01438	0,28764	0,07	0,02	31,12	2,35	0,14	6,02	8,08	0,28	3,45
311	243951,613	7510798,594	719	0,01427	0,2854	0,06	0,02	40,24	1,83	0,14	7,73	9,76	0,29	2,98

312	243950,975	7510787,393	718,9	0,01433	0,28663	0,10	0,02	22,83	1,78	0,14	7,76	8,76	0,28	3,19
313	243951,196	7510774,101	716,8	0,01439	0,2877	0,06	0,02	40,40	2,18	0,15	6,99	8,89	0,30	3,42
314	243949,857	7510761,78	720,7	0,01439	0,28789	0,11	0,02	22,50	1,46	0,14	9,89	10,14	0,30	2,99
315	243948,887	7510752,014	722,6	0,01518	0,3035	0,15	0,03	17,15	2,10	0,15	7,24	9,13	0,30	3,34
316	243948,266	7510739,816	719,6	0,01514	0,30278	0,14	0,02	17,26	1,93	0,15	7,61	9,50	0,30	3,12
317	243945,695	7510727,253	722,3	0,01477	0,29534	0,13	0,02	18,83	1,54	0,14	9,19	9,61	0,29	3,02
318	243946,732	7510714,418	722,4	0,01491	0,29829	0,05	0,02	42,36	2,40	0,14	5,76	9,32	0,28	2,96
319	243946,94	7510701,901	721,5	0,01516	0,30323	0,09	0,03	27,12	2,20	0,16	7,17	9,14	0,32	3,46
320	243945,575	7510691,131	721,8	0,01552	0,31049	0,09	0,02	26,57	2,03	0,15	7,36	10,15	0,30	2,99
321	243945,369	7510678,718	720,8	0,01497	0,29939	0,08	0,02	29,36	2,07	0,15	7,14	9,08	0,30	3,30
322	243930,6	7510693,874	724,2	0,01527	0,30534	0,07	0,02	35,33	2,04	0,15	7,23	9,73	0,30	3,10
323	243929,155	7510706,48	720,7	0,01521	0,30416	0,09	0,02	25,56	2,38	0,14	5,88	9,24	0,28	3,04
324	243931,314	7510719,037	723	0,01529	0,30588	0,06	0,02	38,39	1,58	0,15	9,37	9,96	0,31	3,07
325	243929,979	7510731,202	720,1	0,01478	0,29551	< 0,00000		-	2,17	0,15	6,99	8,65	0,31	3,54
326	243931,361	7510740,975	717	0,01471	0,29426	0,11	0,02	22,76	1,82	0,15	8,28	9,01	0,31	3,41
327	243931,587	7510752,17	718,9	0,01485	0,29707	0,05	0,02	53,01	1,82	0,16	8,63	10,05	0,32	3,19
328	243932,494	7510765,702	717,9	0,01471	0,29413	0,03	0,02	83,20	2,08	0,14	6,83	9,83	0,29	2,94
329	243933,536	7510777,353	717,7	0,01534	0,30674	0,06	0,02	37,61	2,05	0,15	7,35	9,74	0,31	3,16
330	243932,931	7510788,977	716,9	0,01505	0,301	0,06	0,02	40,29	2,05	0,15	7,49	9,64	0,32	3,27
331	243935,067	7510802,973	716	0,01454	0,29083	0,06	0,02	38,57	1,71	0,14	8,22	9,52	0,29	3,05
332	243935,577	7510815,612	717,2	0,01449	0,28975	0,10	0,03	25,65	2,03	0,15	7,61	8,68	0,31	3,58
333	243934,968	7510827,457	715,5	0,01447	0,28932	0,17	0,02	14,32	1,70	0,14	8,36	9,16	0,29	3,18
334	243936,845	7510838,458	715,7	0,01408	0,2817	0,06	0,02	43,45	1,95	0,15	7,65	8,37	0,30	3,60
335	243937,78	7510850,328	718,2	0,01494	0,29888	0,05	0,02	44,61	1,88	0,13	7,10	10,23	0,27	2,66
336	243939,081	7510864,975	715	0,01449	0,28973	0,12	0,02	20,24	1,77	0,15	8,46	9,19	0,31	3,33
337	243939,306	7510876,17	715,4	0,01469	0,29385	0,12	0,02	19,09	1,73	0,14	8,26	9,47	0,29	3,08
338	243939,497	7510889,469	714,9	0,01457	0,2914	0,10	0,02	24,92	2,02	0,15	7,24	9,04	0,29	3,25
339	243940,805	7510903,672	712,7	0,01452	0,2904	0,08	0,02	31,28	1,88	0,15	7,80	8,80	0,29	3,34
340	243940,601	7510915,968	714,4	0,01427	0,28543	0,10	0,02	24,64	1,60	0,15	9,26	9,62	0,30	3,15
341	243940,376	7510929,481	714,2	0,01488	0,29751	0,15	0,02	16,55	1,92	0,15	7,75	9,53	0,30	3,16
342	243941,01	7510940,904	712,7	0,01457	0,29144	0,12	0,02	21,13	1,63	0,15	9,10	9,62	0,30	3,17
343	243942,776	7510952,345	714,3	0,01473	0,29462	0,11	0,02	21,78	1,77	0,15	8,29	9,57	0,30	3,15
344	243942,169	7510964,08	713,8	0,01522	0,30433	0,14	0,02	17,45	1,99	0,15	7,39	10,10	0,30	2,97
345	243943,52	7510975,736	715,5	0,01459	0,29175	0,12	0,02	19,99	1,78	0,14	7,94	9,14	0,29	3,12
346	243943,334	7510986,924	717,2	0,01471	0,29418	0,15	0,02	16,55	1,58	0,14	9,08	9,45	0,29	3,12
347	243928,474	7510957,98	718	0,01488	0,29752	0,10	0,02	26,11	1,93	0,15	7,89	9,25	0,31	3,31
348	243928,366	7510945,901	716,8	0,01515	0,30297	0,05	0,02	45,52	2,06	0,14	6,94	9,63	0,29	3,03
349	243926,17	7510935,56	715,9	0,01491	0,29824	0,09	0,02	26,49	2,20	0,15	6,76	8,99	0,30	3,30
350	243927,107	7510922,502	715,4	0,0153	0,306	0,09	0,02	28,88	1,88	0,15	8,09	10,34	0,31	3,03
351	243926,553	7510912,521	716,5	0,01485	0,29702	0,10	0,03	27,05	1,93	0,16	8,33	9,70	0,33	3,41
352	243924,77	7510902,076	715,3	0,01568	0,31352	0,12	0,02	21,27	1,99	0,15	7,67	10,42	0,31	3,00
353	243925	7510888,23	715,6	0,01502	0,3003	0,16	0,03	16,40	2,10	0,16	7,46	8,97	0,31	3,50
354	243924,392	7510875,257	716,4	0,01472	0,29431	0,11	0,02	22,03	1,82	0,15	8,06	9,70	0,30	3,10
355	243924,167	7510864,063	716,2	0,01444	0,28884	< 0,00000		-	2,18	0,13	6,16	9,50	0,27	2,86
356	243925,603	7510852,01	717	0,01492	0,29838	0,11	0,02	19,52	2,11	0,14	6,44	9,06	0,27	3,01

357	243923,026	7510839,779	716,3	0,01468	0,29365	0,10	0,02	24,29	2,06	0,15	7,12	9,51	0,30	3,11
358	243922,109	7510826,8	719,2	0,0146	0,292	0,08	0,02	30,12	1,81	0,15	8,21	10,06	0,31	3,06
359	243921,069	7510815,039	718,1	0,01464	0,29288	0,06	0,02	38,69	1,97	0,15	7,72	9,27	0,31	3,32
360	243920,862	7510802,737	718,7	0,01502	0,30039	0,10	0,03	26,10	1,90	0,16	8,34	10,17	0,33	3,20
361	243920,664	7510789,881	720,6	0,01463	0,29253	0,06	0,02	38,64	2,05	0,15	7,22	9,11	0,30	3,32
362	243919,729	7510778,01	719,5	0,01464	0,29277	0,07	0,02	32,23	1,90	0,14	7,50	9,61	0,29	3,02
363	243920,77	7510764,953	721,8	0,01535	0,30698	0,07	0,02	35,07	1,81	0,15	8,41	10,06	0,32	3,14
364	244153,851	7510914,858	707,5	0,01601	0,32028	0,16	0,02	14,89	1,74	0,15	8,36	9,93	0,30	3,02
365	244156,033	7510907,471	708,2	0,01586	0,31728	0,02	0,02	97,70	2,21	0,16	7,03	9,89	0,31	3,17
366	244158,158	7510897,313	706,9	0,01459	0,29181	0,03	0,02	63,67	1,79	0,13	7,28	9,76	0,27	2,74
367	244160,257	7510888,705	708,9	0,01577	0,31536	0,06	0,02	38,48	1,95	0,14	7,43	9,89	0,30	2,99
368	244158,441	7510880,255	707,3	0,01537	0,3074	0,07	0,02	35,37	1,61	0,15	9,49	9,90	0,31	3,17
369	244157,386	7510869,379	709,1	0,01548	0,30962	0,09	0,02	27,44	1,70	0,15	8,70	9,80	0,31	3,13
370	244155,186	7510859,26	707,1	0,01554	0,31072	0,10	0,03	24,90	1,81	0,15	8,45	9,64	0,31	3,25
371	244152,207	7510852,673	707,5	0,01506	0,30112	< 0,00000		-	1,82	0,15	8,01	9,78	0,30	3,08
372	244154,702	7510845,07	706,9	0,01542	0,30833	0,11	0,02	21,91	1,77	0,15	8,50	9,72	0,31	3,16
373	244154,022	7510836,416	706,8	0,01574	0,31483	0,04	0,02	57,01	1,54	0,15	9,52	10,77	0,31	2,88
374	244151,073	7510827,947	706,3	0,01487	0,29738	0,05	0,02	42,80	1,85	0,14	7,68	8,63	0,29	3,35
375	244147,197	7510819,572	708,2	0,0149	0,29791	0,06	0,03	44,42	1,65	0,16	9,58	9,17	0,32	3,51
376	244144,668	7510810,667	711,4	0,01607	0,32149	0,06	0,03	39,30	2,05	0,16	7,80	9,74	0,32	3,30
377	244142,417	7510803,649	709,7	0,01574	0,31488	0,11	0,02	21,37	1,78	0,14	7,90	9,74	0,29	2,96
378	244135,888	7510793,79	708	0,01592	0,31843	0,07	0,03	35,52	2,18	0,16	7,22	9,93	0,32	3,21
379	244127,301	7510790,102	706	0,01652	0,33035	< 0,00000		-	2,23	0,15	6,92	10,73	0,32	2,96
380	244119,485	7510789,529	709,1	0,01508	0,30157	0,06	0,02	37,05	1,90	0,15	7,79	9,89	0,30	3,06
381	244110,448	7510788,16	707,7	0,01408	0,28162	0,03	0,02	67,76	1,84	0,14	7,56	8,90	0,28	3,18
382	244101,443	7510784,797	711,3	0,01459	0,29184	0,07	0,02	32,56	1,89	0,13	7,15	8,96	0,27	3,07
383	244092,126	7510781,651	711,3	0,01358	0,27168	0,06	0,02	40,33	1,64	0,14	8,70	8,88	0,29	3,30
384	244083,068	7510781,501	702,8	0,01433	0,28659	0,09	0,02	24,92	1,69	0,14	8,40	9,11	0,29	3,17
385	244070,928	7510780,966	707,2	0,01532	0,30634	0,10	0,02	24,45	1,91	0,15	7,66	9,88	0,30	3,04
386	244061,807	7510784,582	706,6	0,01489	0,29773	< 0,00000		-	1,85	0,14	7,61	9,73	0,29	2,98
387	244053,517	7510787,768	708,3	0,01438	0,28768	0,15	0,02	15,15	1,43	0,14	9,61	9,66	0,28	2,95
388	244044,733	7510795,932	708,8	0,01435	0,28696	0,13	0,02	19,28	1,82	0,14	7,96	9,08	0,29	3,23
389	244038,704	7510805,582	709	0,01547	0,30939	0,13	0,02	18,58	1,93	0,15	7,76	10,03	0,31	3,04
390	244031,857	7510814,886	707,2	0,01471	0,29413	0,08	0,02	30,64	1,55	0,15	9,46	9,63	0,30	3,15
391	244028,932	7510823,59	709,7	0,01486	0,29718	0,11	0,03	24,34	1,74	0,16	9,08	9,22	0,32	3,50
392	244028,349	7510833,885	708,8	0,0145	0,28991	0,11	0,02	20,86	2,00	0,15	7,27	8,61	0,29	3,37
393	244025,526	7510842,702	707,7	0,0153	0,3059	0,10	0,02	23,73	1,82	0,14	7,91	9,76	0,29	3,01
394	244022,529	7510855,726	709,5	0,01467	0,29338	0,06	0,03	42,95	1,84	0,16	8,52	9,08	0,32	3,54
395	244023,9	7510866,164	709,6	0,01471	0,29421	0,07	0,02	35,94	1,84	0,15	7,99	9,05	0,30	3,32
396	244026,54	7510874,628	708	0,01503	0,30057	0,11	0,02	21,20	1,98	0,14	7,29	9,04	0,29	3,25
397	244031,46	7510882,134	706,6	0,01533	0,30651	0,10	0,02	22,85	1,52	0,14	8,94	9,97	0,28	2,82
398	244028,982	7510894,945	707,4	0,01518	0,30354	0,05	0,02	45,43	1,99	0,14	7,13	9,49	0,29	3,04
399	244029,972	7510903,493	710,1	0,01599	0,31972	0,09	0,03	27,14	1,83	0,16	8,65	10,59	0,33	3,10
400	244027,845	7510913,762	711,3	0,01549	0,30986	0,15	0,03	16,87	1,83	0,15	8,24	9,60	0,31	3,20
401	244026,538	7510924,266	708,4	0,01476	0,29528	0,09	0,03	28,13	1,83	0,15	8,38	8,97	0,31	3,46

402	244031,497	7510929,445	709,2	0,01555	0,31097	0,07	0,02	33,78	2,04	0,15	7,27	9,56	0,30	3,15
403	244042,077	7510930,95	709,9	0,01449	0,28983	0,03	0,02	84,60	2,07	0,14	6,78	9,22	0,28	3,09
404	244051,843	7510931,888	709,6	0,01481	0,29623	0,07	0,02	35,03	1,82	0,15	8,28	9,26	0,31	3,35
405	244061,745	7510930,834	709	0,01495	0,29905	0,15	0,02	15,56	1,58	0,14	8,91	9,66	0,29	2,98
406	244071,922	7510931,778	708,6	0,01383	0,2765	0,12	0,03	21,50	1,49	0,15	10,12	8,72	0,31	3,55
407	244080,57	7510931,811	708,2	0,0149	0,29796	0,13	0,02	18,23	1,74	0,14	8,16	9,34	0,29	3,11
408	244090,294	7510935,297	711,5	0,01621	0,32425	0,07	0,03	35,27	2,02	0,16	7,78	10,62	0,32	3,03
409	244099,778	7510934,568	709,4	0,01532	0,30643	0,12	0,02	20,84	1,75	0,15	8,45	8,95	0,30	3,36
410	244109,985	7510933,74	708,6	0,01605	0,32106	0,11	0,02	21,99	1,99	0,15	7,52	10,03	0,31	3,04
411	244118,262	7510931,33	709	0,01614	0,3228	0,12	0,03	22,41	1,81	0,16	8,78	10,49	0,33	3,12
412	244127,743	7510930,822	711,4	0,01706	0,34123	0,03	0,02	69,25	2,38	0,15	6,44	11,15	0,31	2,80
413	244136,817	7510923,771	710,2	0,01687	0,33735	0,07	0,03	36,64	2,08	0,16	7,69	11,43	0,33	2,89
414	244136,981	7510913,913	708,9	0,0158	0,31597	0,08	0,03	32,29	2,03	0,16	7,73	9,69	0,32	3,30
415	244143,376	7510907,039	711	0,01515	0,30309	0,06	0,02	41,72	1,77	0,15	8,46	9,70	0,31	3,17
416	244145,894	7510897,995	711,6	0,01533	0,30668	0,04	0,02	60,09	1,79	0,15	8,10	9,83	0,30	3,08
417	244149,24	7510888,744	710,4	0,01549	0,30978	< 0,00000		-	2,10	0,16	7,73	9,91	0,33	3,32
418	244132,395	7510911,067	710,7	0,01458	0,29152	< 0,00000		-	2,04	0,15	7,10	9,30	0,30	3,17
419	244142,729	7510902,596	709,3	0,01401	0,28017	0,08	0,02	27,97	1,49	0,14	9,54	8,85	0,29	3,28
420	244145,733	7510889,129	712,7	0,01363	0,2725	0,13	0,02	17,48	1,82	0,13	7,41	7,97	0,27	3,37
421	244143,902	7510875,36	712,9	0,01395	0,27898	0,09	0,02	25,92	1,44	0,14	9,66	9,21	0,29	3,12
422	244142,109	7510865,58	711,5	0,01432	0,28646	0,07	0,02	30,99	1,52	0,14	9,29	9,22	0,29	3,17
423	244137,883	7510859,637	711,9	0,01404	0,28075	0,06	0,02	39,96	1,60	0,14	9,02	8,88	0,30	3,33
424	244132,569	7510851,018	712,7	0,0136	0,27193	0,07	0,02	32,09	1,69	0,14	8,37	8,25	0,29	3,47
425	244131,889	7510842,364	712,2	0,01431	0,28629	0,08	0,02	28,71	1,58	0,14	8,80	9,83	0,29	2,92
426	244131,748	7510832,279	710,9	0,01489	0,29787	< 0,00000		-	1,86	0,15	7,88	9,91	0,30	3,03
427	244129,947	7510822,942	712,4	0,01417	0,28344	0,04	0,02	57,57	1,95	0,14	7,09	8,76	0,28	3,17
428	244121,407	7510816,374	710,5	0,01404	0,28079	0,06	0,02	39,01	1,43	0,14	9,81	9,37	0,29	3,11
429	244115,184	7510812,947	712,4	0,0139	0,27806	< 0,00000		-	2,07	0,14	7,00	7,79	0,29	3,73
430	244104,142	7510814,425	712,4	0,01372	0,27436	0,05	0,02	47,11	2,06	0,15	7,12	7,47	0,29	3,91
431	244096,307	7510808,866	711,0	0,01458	0,29168	< 0,00000		-	2,09	0,15	7,33	9,23	0,31	3,37
432	244085,705	7510808,69	708,1	0,01428	0,2857	0,04	0,02	53,58	1,76	0,14	8,04	9,07	0,29	3,17
433	244077,145	7510809,545	711,2	0,01417	0,28349	< 0,00000		-	1,92	0,14	7,37	9,33	0,29	3,11
434	244068,541	7510806,853	712,5	0,01427	0,28542	0,07	0,02	35,47	1,51	0,15	9,63	9,35	0,30	3,21
435	244058,255	7510806,239	711,5	0,01382	0,27634	0,06	0,02	37,79	1,53	0,13	8,51	9,13	0,27	2,93
436	244055,86	7510814,066	711,1	0,01383	0,27659	0,10	0,02	25,13	1,62	0,15	9,02	8,85	0,30	3,39
437	244054,035	7510824,783	711,9	0,01303	0,26056	0,11	0,02	19,50	1,28	0,13	9,85	8,12	0,26	3,23
438	244050,391	7510833,365	713,0	0,01327	0,26544	0,07	0,02	33,65	1,74	0,14	8,22	7,98	0,29	3,63
439	244046,314	7510843,269	711,3	0,01351	0,27023	0,03	0,02	68,46	1,97	0,14	7,02	7,69	0,28	3,60
440	244042,976	7510852,077	709,7	0,01426	0,28512	0,06	0,02	36,25	1,80	0,14	7,81	8,76	0,29	3,28
441	244040,847	7510862,457	703,9	0,01323	0,26464	0,07	0,02	30,55	1,64	0,13	8,09	7,86	0,27	3,40
442	244042,209	7510873,448	713,0	0,01296	0,25919	0,08	0,02	28,98	1,91	0,14	7,31	6,94	0,27	3,95
443	244041,733	7510883,523	707,5	0,01503	0,30053	0,09	0,02	26,73	1,89	0,14	7,62	9,09	0,29	3,24
444	244044,675	7510892,325	711,3	0,0142	0,28406	0,11	0,02	21,07	1,55	0,14	9,28	9,29	0,30	3,20
445	244046,091	7510900,104	710,2	0,01538	0,30753	0,10	0,02	24,05	1,86	0,15	7,85	9,76	0,30	3,04
446	244048,303	7510909,448	709,2	0,01448	0,2896	0,07	0,02	35,61	2,10	0,15	7,22	8,51	0,30	3,57

447	244057,707	7510913,593	707,0	0,01436	0,28716	0,10	0,03	24,63	1,50	0,15	10,22	8,91	0,31	3,53
448	244067,829	7510917,861	707,4	0,01339	0,26775	0,04	0,02	62,58	1,72	0,15	8,55	7,86	0,30	3,78
449	244078,01	7510918,584	709,2	0,01388	0,27762	0,09	0,02	25,46	1,66	0,15	8,87	8,59	0,30	3,46
450	244087,493	7510917,966	705,9	0,01325	0,26498	< 0,00000		-	1,93	0,13	6,84	7,64	0,27	3,50
451	244098,841	7510916,603	706,8	0,01404	0,28078	0,07	0,02	30,21	1,91	0,14	7,17	7,83	0,27	3,49
452	244108,715	7510917,211	708,8	0,01565	0,31295	0,07	0,02	35,59	1,55	0,14	9,12	10,45	0,29	2,81
453	244116,985	7510915,243	709,7	0,01494	0,29881	0,11	0,02	22,16	1,96	0,14	7,39	8,78	0,29	3,31
454	244124,142	7510912,038	709,7	0,01529	0,30582	0,16	0,03	17,02	1,59	0,16	9,86	9,94	0,32	3,25
455	244128,258	7510899,808	705,4	0,01419	0,28374	0,09	0,02	25,45	1,72	0,14	7,92	8,91	0,28	3,10
456	244128,363	7510893,494	705,9	0,01461	0,29216	0,07	0,02	34,82	2,06	0,14	6,94	8,79	0,29	3,27
457	244130,03	7510886,098	712,4	0,01448	0,28961	0,07	0,02	34,32	1,90	0,14	7,45	9,18	0,29	3,13
458	244127,409	7510876,526	714,2	0,01477	0,29537	0,14	0,02	16,39	1,39	0,14	9,94	10,19	0,29	2,81
459	244126,421	7510867,867	712,1	0,0139	0,278	0,12	0,02	20,13	1,71	0,14	8,40	8,72	0,29	3,37
460	244124,189	7510859,631	712,4	0,01369	0,27384	0,10	0,02	23,71	1,32	0,14	10,34	9,09	0,29	3,14
461	244125,882	7510850,685	711,2	0,01373	0,27458	0,07	0,02	30,85	1,70	0,13	7,78	8,47	0,27	3,16
462	244127,577	7510841,628	710,4	0,01403	0,28051	0,04	0,02	46,93	1,57	0,13	8,34	9,06	0,27	2,97
463	244128,592	7510830,122	710,4	0,01481	0,29615	0,05	0,02	49,90	2,04	0,15	7,36	9,33	0,30	3,25
464	244117,238	7510825,612	711,2	0,01493	0,2986	0,08	0,02	31,47	1,84	0,15	8,39	9,60	0,31	3,27
465	244106,758	7510818,125	711,5	0,01402	0,28046	0,05	0,02	44,59	1,78	0,15	8,31	8,69	0,30	3,45
466	244095,469	7510815,943	708,2	0,01424	0,28489	0,09	0,02	25,25	1,69	0,14	8,57	8,90	0,30	3,33
467	244083,269	7510818,953	711,1	0,0132	0,26398	0,05	0,02	42,72	1,62	0,14	8,86	8,05	0,29	3,58
468	244075,647	7510825,364	709,9	0,01427	0,28537	0,15	0,03	16,99	1,62	0,15	9,34	8,09	0,30	3,77
469	244066,877	7510832,642	711,6	0,01416	0,28316	0,09	0,02	24,77	1,62	0,14	8,43	8,39	0,28	3,30
470	244058,946	7510839,047	705,4	0,01512	0,30249	0,10	0,03	24,82	1,91	0,15	8,01	8,91	0,31	3,48
471	244057,243	7510848,547	709,2	0,01292	0,25834	0,09	0,02	25,83	1,53	0,13	8,67	7,12	0,27	3,80
472	244059,449	7510858,334	709,5	0,01326	0,26529	0,13	0,02	17,25	1,48	0,13	8,73	7,61	0,26	3,45
473	244061,215	7510869,775	708,5	0,01354	0,27072	< 0,00000		-	1,70	0,14	8,27	8,29	0,29	3,47
474	244066,073	7510881,047	708,5	0,01334	0,26675	0,08	0,02	30,06	1,69	0,14	8,27	7,46	0,28	3,74
475	244068,681	7510891,394	710,3	0,01358	0,2717	0,05	0,02	41,18	1,85	0,14	7,57	7,92	0,28	3,53
476	244075,965	7510899,16	711,6	0,01395	0,27904	0,03	0,02	64,94	1,73	0,13	7,59	8,90	0,27	3,01
477	244085,756	7510904,752	708,9	0,01394	0,27883	0,10	0,02	22,45	1,67	0,13	8,03	8,55	0,27	3,19
478	244095,935	7510905,586	708,2	0,01443	0,28861	0,07	0,02	32,63	1,87	0,13	7,18	8,89	0,27	3,08
479	244110,469	7510904,609	710,9	0,01482	0,29649	0,08	0,02	30,04	1,82	0,15	8,06	9,57	0,30	3,15
480	244115,404	7510892,614	711,1	0,01481	0,29617	0,08	0,02	29,41	1,78	0,14	8,00	9,94	0,29	2,95
481	244119,456	7510884,261	715,9	0,01464	0,29279	0,08	0,02	27,88	1,80	0,13	7,37	9,41	0,27	2,91
482	244116,438	7510873,795	713,5	0,01488	0,29763	0,12	0,02	20,17	1,40	0,14	10,25	10,11	0,30	2,98
483	244117,87	7510861,964	708,2	0,01369	0,27377	0,12	0,02	18,24	1,38	0,13	9,29	8,60	0,26	3,06
484	244110,496	7510853,421	709,9	0,01442	0,28843	< 0,00000		-	1,79	0,13	7,53	9,19	0,28	3,01
485	244105,592	7510844,919	709,1	0,0149	0,29806	0,03	0,02	88,91	1,84	0,15	7,95	9,82	0,30	3,06
486	244094,641	7510840,97	708,6	0,01514	0,30282	0,07	0,02	34,89	1,83	0,14	7,74	9,87	0,29	2,95
487	244085,031	7510849,231	710,4	0,01442	0,28843	0,03	0,02	78,23	1,99	0,15	7,40	8,76	0,30	3,41
488	244077,892	7510857,532	711,7	0,01497	0,29943	0,07	0,02	30,47	1,97	0,14	6,91	9,65	0,28	2,86
489	244078,416	7510869,397	710,2	0,0151	0,30199	0,05	0,02	43,61	1,75	0,14	7,91	10,16	0,29	2,82
490	244082,968	7510880,441	707,5	0,01414	0,28274	0,07	0,02	32,31	1,44	0,14	9,76	9,45	0,29	3,10
491	244086,745	7510888,592	711,1	0,01341	0,26826	0,08	0,02	26,97	1,71	0,14	8,03	7,77	0,28	3,56

492	244095,678	7510896,275	712,1	0,01419	0,28379	< 0,00000		-	1,91	0,15	7,84	9,20	0,30	3,30
493	244105,784	7510901,539	710,8	0,01444	0,28877	0,04	0,02	47,11	1,78	0,13	7,20	9,41	0,26	2,80
494	244115,303	7510898,706	710,9	0,01444	0,28886	0,09	0,02	24,14	1,98	0,14	7,17	8,83	0,28	3,22
495	244098,963	7510890,679	710,3	0,01497	0,2994	0,06	0,02	40,89	2,05	0,15	7,41	8,95	0,31	3,44
496	244095,914	7510882,097	708,8	0,01449	0,28985	0,09	0,02	27,81	1,61	0,15	9,07	9,55	0,30	3,17
497	244100,728	7510877,412	708,2	0,0148	0,29591	0,05	0,02	52,90	1,97	0,15	7,57	9,06	0,30	3,33
498	244107,531	7510870,767	710,3	0,01438	0,28756	0,06	0,02	41,10	1,90	0,14	7,41	9,15	0,29	3,15
499	244115,383	7510869,124	711,4	0,0137	0,27405	0,05	0,02	39,52	1,93	0,13	6,94	8,15	0,27	3,31
500	244112,048	7510877,711	709,9	0,01525	0,30503	0,13	0,02	18,89	1,83	0,14	7,80	9,21	0,29	3,15
501	244106,944	7510881,283	714,2	0,01504	0,30089	< 0,00000		-	1,65	0,15	8,98	9,94	0,31	3,07
502	244096,897	7510872,474	709,4	0,01516	0,30315	0,09	0,03	27,69	1,91	0,16	8,12	9,03	0,31	3,47
503	244102,452	7510866,583	710,0	0,0146	0,29206	0,11	0,02	22,28	1,53	0,15	9,57	9,64	0,30	3,15
504	244103,812	7510859,071	709,9	0,01503	0,30068	0,08	0,02	28,28	1,68	0,14	8,56	9,70	0,30	3,05
505	244030,79	7510786,172	713,6	0,01372	0,27445	0,07	0,02	33,59	1,67	0,15	8,99	8,64	0,31	3,55
506	244023,49	7510797,906	714,6	0,01398	0,27968	0,08	0,02	29,15	1,78	0,15	8,16	9,27	0,30	3,21
507	244017,413	7510810,436	713,4	0,0135	0,27	0,09	0,02	25,22	1,57	0,14	8,62	9,04	0,28	3,06

APÊNDICE II - Dados gamaespectrométricos da segunda campanha de aquisição (01/09/2021)

ID	Lat UTM	Long UTM	Elev. (m)	Dose µR	Dose rate µR/hr	K (%)	Desvio Padrão	CV (%)	U ppm	Desvio Padrão	CV (%)	Th ppm	Desvio Padrão	CV (%)
1	244072,584	7510941,540	711,00	0,01586	0,31726	0,05	0,03	60,04	2,22	0,18	7,91	10,24	0,36	3,48
2	244088,623	7510942,914	709,40	0,01653	0,33054	0,10	0,03	25,63	2,03	0,16	7,74	11,02	0,32	2,93
3	244103,548	7510943,162	709,10	0,01643	0,32864	0,11	0,03	23,03	2,40	0,16	6,55	10,29	0,32	3,07
4	244117,356	7510942,505	710,00	0,01651	0,3302	0,07	0,02	36,84	2,53	0,16	6,24	10,16	0,32	3,13
5	244132,213	7510940,647	710,50	0,01617	0,32349	0,12	0,03	20,43	2,14	0,15	7,19	10,55	0,31	2,99
6	244143,381	7510931,525	710,30	0,01641	0,3283	0,12	0,03	22,10	1,99	0,16	8,14	10,93	0,33	3,02
7	244154,546	7510922,625	713,10	0,01573	0,31465	0,05	0,02	47,12	2,35	0,16	6,63	9,82	0,31	3,20
8	244160,613	7510910,649	710,20	0,01587	0,31734	0,07	0,02	37,05	2,48	0,16	6,37	9,65	0,32	3,31
9	244165,586	7510896,439	710,70	0,01579	0,3159	0,16	0,02	15,73	1,83	0,15	8,13	10,37	0,30	2,94
10	244167,361	7510882,508	709,50	0,01506	0,30128	0,05	0,02	45,58	2,30	0,15	6,52	9,31	0,30	3,24
11	244166,904	7510866,656	710,10	0,01501	0,30019	0,02	0,02	99,55	2,25	0,14	6,33	9,36	0,29	3,07
12	244166,298	7510853,572	710,60	0,01542	0,30836	0,09	0,02	28,37	1,93	0,15	7,73	10,03	0,31	3,05
13	244167,776	7510838,971	709,40	0,01509	0,30187	0,08	0,02	29,78	1,85	0,14	7,78	9,86	0,30	3,00
14	244165,622	7510826,083	711,20	0,01609	0,32178	0,05	0,02	48,42	2,29	0,14	6,31	10,26	0,29	2,85
15	244159,891	7510811,584	712,70	0,01591	0,31811	0,12	0,02	21,35	2,17	0,15	7,08	10,05	0,31	3,08
16	244148,326	7510801,199	713,00	0,01616	0,32321	0,03	0,03	85,30	2,28	0,17	7,47	10,35	0,34	3,33
17	244141,059	7510792,436	712,40	0,01595	0,31905	0,10	0,02	23,40	2,25	0,15	6,61	9,94	0,30	3,02
18	244129,319	7510786,369	711,10	0,01527	0,30545	0,09	0,02	27,37	1,77	0,15	8,38	10,17	0,30	2,98
19	244115,694	7510782,264	709,50	0,01499	0,29974	0,13	0,02	17,48	1,75	0,14	7,93	9,91	0,29	2,88
20	244103,912	7510778,745	709,40	0,01499	0,29979	0,10	0,02	23,72	2,00	0,15	7,28	9,58	0,30	3,09
21	244090,236	7510777,631	709,90	0,01435	0,28696	0,06	0,02	43,37	2,17	0,15	7,03	8,81	0,31	3,47
22	244077,695	7510776,425	709,80	0,01559	0,31171	0,08	0,02	28,50	1,75	0,14	7,92	11,11	0,29	2,59
23	244066,266	7510776,457	711,20	0,01502	0,30049	0,12	0,02	19,00	1,72	0,14	8,06	10,21	0,29	2,81
24	244053,291	7510776,574	710,10	0,01514	0,30288	0,17	0,02	14,92	1,58	0,15	9,23	10,43	0,30	2,88
25	244044,902	7510785,741	710,00	0,0148	0,29595	0,06	0,02	37,29	2,04	0,14	7,06	9,31	0,29	3,14
26	244039,235	7510798,389	709,00	0,01417	0,28344	0,10	0,02	25,08	2,01	0,15	7,57	9,03	0,31	3,43
27	244034,719	7510809,948	710,90	0,01457	0,29143	0,10	0,02	24,04	2,09	0,15	7,04	9,16	0,29	3,21
28	244028,989	7510820,157	711,30	0,01505	0,30099	0,05	0,02	42,84	2,18	0,15	6,66	9,34	0,29	3,11
29	244022,109	7510831,454	711,10	0,01482	0,29636	0,06	0,02	37,58	1,94	0,15	7,57	9,68	0,30	3,09
30	244020,738	7510845,835	709,70	0,01556	0,31118	0,10	0,02	24,14	1,58	0,14	9,06	10,42	0,30	2,86
31	244019,701	7510858,671	710,10	0,0153	0,30591	0,05	0,02	50,92	1,90	0,15	8,10	10,13	0,32	3,12
32	244021,867	7510870,784	708,50	0,01551	0,31029	0,10	0,03	26,31	1,88	0,16	8,50	10,28	0,33	3,20
33	244022,477	7510883,646	711,80	0,01576	0,31528	0,10	0,02	23,49	2,30	0,15	6,56	9,64	0,30	3,15
34	244024,938	7510896,650	712,00	0,01587	0,31741	0,13	0,03	19,22	1,97	0,15	7,84	10,29	0,32	3,09
35	244025,566	7510908,405	712,00	0,01664	0,33282	0,13	0,03	20,47	1,85	0,17	9,02	10,92	0,34	3,15
36	244027,729	7510920,740	709,80	0,01593	0,31863	0,07	0,03	38,24	2,18	0,16	7,45	10,54	0,33	3,14
37	244031,459	7510931,771	711,70	0,01614	0,32286	0,11	0,02	22,26	2,18	0,15	6,71	10,32	0,30	2,88
38	244045,891	7510936,886	709,20	0,01528	0,30556	0,14	0,02	17,68	2,02	0,15	7,25	9,32	0,30	3,18
39	244058,087	7510940,302	710,50	0,01528	0,30565	0,10	0,03	24,08	2,31	0,16	6,71	8,61	0,31	3,58
40	244073,468	7510931,693	709,10	0,01455	0,29107	0,15	0,02	15,89	1,67	0,14	8,57	8,92	0,29	3,27
41	244087,255	7510932,255	708,80	0,01498	0,29966	0,07	0,02	34,20	2,08	0,15	7,02	9,19	0,29	3,21

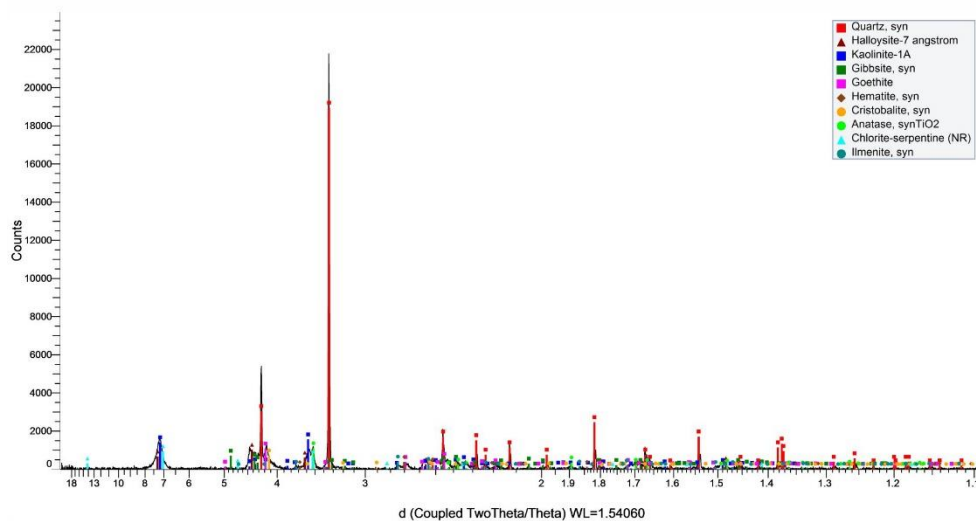
42	244100,986	7510930,045	710,00	0,01505	0,30097	0,00	0,00	-	1,94	0,15	7,59	9,78	0,30	3,07
43	244113,558	7510929,368	711,10	0,01611	0,32223	0,17	0,02	13,88	1,89	0,14	7,66	10,45	0,29	2,80
44	244127,826	7510925,838	710,60	0,01553	0,31065	0,09	0,02	28,49	1,99	0,15	7,59	10,21	0,31	3,02
45	244138,931	7510920,482	708,80	0,01623	0,32453	0,06	0,02	37,43	2,14	0,14	6,72	10,69	0,29	2,75
46	244147,352	7510909,432	707,70	0,01513	0,30259	0,08	0,02	29,89	1,75	0,14	7,97	10,23	0,29	2,81
47	244154,129	7510898,132	710,60	0,01542	0,30841	0,08	0,02	28,98	2,04	0,14	6,94	10,33	0,29	2,80
48	244154,749	7510885,622	710,40	0,01443	0,28866	0,12	0,02	20,82	1,58	0,15	9,35	9,76	0,30	3,10
49	244154,969	7510872,330	710,80	0,01454	0,29077	0,05	0,02	42,10	1,95	0,14	7,16	8,82	0,28	3,21
50	244153,661	7510858,127	709,60	0,0148	0,29598	0,04	0,02	64,18	1,72	0,15	8,51	10,23	0,30	2,97
51	244153,452	7510845,935	710,00	0,01536	0,30718	0,09	0,02	25,30	1,81	0,14	7,95	9,69	0,29	3,02
52	244151,320	7510831,718	709,10	0,01505	0,30108	0,00	0,00	-	1,74	0,15	8,40	10,11	0,30	3,00
53	244147,205	7510819,129	710,30	0,01508	0,30167	0,09	0,02	25,36	1,89	0,14	7,65	9,30	0,29	3,14
54	244139,148	7510808,248	708,90	0,01539	0,30778	0,15	0,02	15,77	1,38	0,14	10,00	10,87	0,29	2,68
55	244127,488	7510803,623	710,90	0,01498	0,29968	0,06	0,02	38,30	1,57	0,14	8,90	10,50	0,29	2,78
56	244116,140	7510798,781	711,50	0,01458	0,29161	0,06	0,02	38,53	1,96	0,15	7,64	9,39	0,30	3,23
57	244101,693	7510794,552	711,20	0,01462	0,29235	0,00	0,00	-	2,17	0,14	6,59	9,77	0,29	2,98
58	244090,369	7510788,270	713,10	0,01384	0,27678	0,06	0,02	38,59	1,53	0,14	9,42	9,35	0,30	3,19
59	244077,517	7510787,170	710,80	0,01422	0,28445	0,09	0,02	25,90	1,45	0,14	9,75	9,54	0,29	3,09
60	244064,189	7510783,735	711,80	0,01501	0,30023	0,06	0,02	38,72	1,91	0,15	7,80	9,85	0,30	3,10
61	244054,662	7510787,012	709,70	0,01461	0,29216	0,11	0,02	21,89	1,53	0,15	9,54	10,14	0,30	2,99
62	244052,863	7510802,383	711,30	0,01478	0,2956	0,10	0,02	24,90	1,55	0,15	9,46	9,56	0,30	3,18
63	244044,874	7510812,222	709,80	0,01522	0,30446	0,07	0,03	37,37	1,78	0,16	8,85	10,07	0,32	3,19
64	244039,922	7510825,213	709,10	0,01451	0,29025	0,04	0,02	60,90	2,00	0,15	7,45	9,26	0,30	3,27
65	244031,505	7510836,042	710,40	0,01529	0,3057	0,08	0,02	29,56	1,95	0,15	7,61	9,61	0,30	3,13
66	244031,246	7510851,661	709,30	0,01442	0,28838	0,11	0,02	20,73	1,37	0,14	10,08	10,17	0,29	2,82
67	244032,150	7510865,415	707,40	0,01406	0,28114	0,05	0,02	43,50	2,05	0,14	6,74	8,84	0,28	3,16
68	244035,116	7510878,981	708,80	0,01479	0,29571	0,15	0,03	17,38	1,66	0,15	9,27	9,71	0,32	3,26
69	244036,024	7510892,514	709,00	0,01513	0,30258	0,12	0,02	19,72	2,13	0,15	6,88	9,69	0,29	3,04
70	244038,968	7510907,409	707,60	0,0156	0,31197	0,11	0,03	22,74	2,04	0,16	7,65	10,39	0,32	3,07
71	244044,213	7510920,127	709,90	0,0155	0,31001	0,08	0,03	31,81	2,48	0,16	6,56	8,94	0,32	3,63
72	244055,519	7510927,517	708,30	0,01492	0,29844	0,12	0,03	22,06	2,23	0,16	7,14	8,98	0,32	3,53
73	244066,491	7510930,248	707,30	0,01488	0,29757	0,14	0,02	16,30	1,92	0,14	7,22	9,95	0,28	2,83
74	244076,402	7510922,435	710,20	0,01406	0,2812	0,14	0,03	18,30	1,63	0,15	9,12	8,75	0,30	3,46
75	244088,943	7510923,641	710,00	0,01465	0,29301	0,09	0,02	25,50	1,79	0,14	7,87	9,19	0,29	3,13
76	244103,061	7510922,878	709,50	0,01483	0,29665	0,12	0,02	19,79	1,67	0,14	8,56	9,81	0,29	2,99
77	244114,886	7510923,850	709,10	0,0158	0,31597	0,07	0,02	36,62	2,05	0,16	7,57	10,67	0,32	2,97
78	244125,945	7510921,264	710,30	0,01557	0,31136	0,06	0,03	40,04	2,14	0,16	7,38	10,34	0,32	3,09
79	244134,742	7510912,325	710,30	0,01505	0,30105	0,08	0,02	32,34	1,60	0,15	9,53	10,54	0,32	3,01
80	244141,185	7510902,571	708,00	0,01514	0,30274	0,11	0,02	22,78	2,29	0,15	6,61	9,07	0,30	3,34
81	244142,535	7510889,519	709,40	0,01465	0,29301	0,18	0,03	14,42	1,85	0,15	8,24	8,57	0,30	3,56
82	244143,601	7510874,911	708,90	0,01479	0,29584	0,05	0,03	48,51	1,83	0,16	8,89	9,36	0,33	3,56
83	244139,533	7510859,443	708,50	0,01474	0,29471	0,10	0,02	24,36	1,84	0,15	8,17	9,34	0,30	3,26
84	244142,129	7510845,747	707,10	0,0148	0,29603	0,00	0,00	-	1,78	0,14	7,93	9,69	0,29	3,00
85	244137,198	7510832,702	707,50	0,01411	0,28227	0,09	0,02	27,98	1,33	0,15	11,01	9,32	0,30	3,27
86	244129,158	7510820,824	706,00	0,01449	0,28989	0,10	0,02	24,90	1,58	0,15	9,52	8,85	0,31	3,49

87	244117,143	7510812,758	705,70	0,01411	0,28227	0,05	0,02	47,26	1,49	0,14	9,42	9,45	0,29	3,08
88	244102,246	7510810,848	708,40	0,01436	0,2872	0,07	0,02	30,07	1,46	0,14	9,25	9,52	0,28	2,97
89	244087,313	7510811,043	707,70	0,01438	0,28758	0,03	0,02	70,47	1,55	0,14	9,17	9,69	0,30	3,08
90	244075,026	7510813,166	709,60	0,01471	0,29419	0,05	0,02	44,68	1,62	0,14	8,48	9,83	0,29	2,92
91	244063,159	7510820,946	707,60	0,01388	0,27763	0,04	0,02	62,82	1,36	0,14	10,18	9,62	0,29	3,02
92	244056,244	7510834,348	709,00	0,01459	0,29179	0,09	0,03	28,71	1,64	0,15	9,41	9,41	0,32	3,36
93	244049,375	7510844,982	709,60	0,01566	0,31312	0,07	0,03	36,21	1,69	0,16	9,22	10,40	0,32	3,09
94	244048,808	7510860,484	708,70	0,01463	0,29252	0,07	0,02	30,79	1,72	0,14	8,02	9,37	0,28	3,01
95	244046,920	7510874,967	710,00	0,01462	0,2925	0,12	0,03	20,74	2,01	0,15	7,49	8,32	0,30	3,61
96	244047,493	7510890,045	707,80	0,01524	0,30472	0,13	0,02	18,86	2,01	0,14	7,11	9,30	0,29	3,12
97	244044,894	7510903,962	708,70	0,01544	0,30889	0,06	0,02	37,22	1,98	0,14	7,24	10,18	0,29	2,88
98	244050,544	7510917,130	711,40	0,01439	0,28777	0,19	0,03	14,63	1,40	0,16	11,47	9,30	0,33	3,57
99	244061,421	7510925,510	710,60	0,01462	0,2924	0,12	0,02	21,23	1,97	0,15	7,61	8,55	0,30	3,54
100	244076,828	7510921,556	711,60	0,01407	0,28143	0,10	0,02	23,25	1,54	0,14	8,79	8,90	0,28	3,11
101	244091,353	7510921,132	710,50	0,01456	0,29121	0,09	0,02	27,34	1,75	0,15	8,55	9,70	0,31	3,17
102	244108,316	7510916,428	712,20	0,01562	0,31238	0,16	0,03	15,92	1,56	0,15	9,52	10,41	0,31	2,95
103	244117,147	7510905,495	712,30	0,01562	0,3124	0,06	0,02	40,07	2,11	0,14	6,64	10,06	0,28	2,83
104	244121,307	7510890,607	710,90	0,01527	0,30547	0,10	0,02	24,28	1,77	0,14	8,14	10,32	0,30	2,88
105	244123,075	7510877,119	710,50	0,01551	0,31025	0,16	0,02	15,50	1,66	0,15	8,87	10,12	0,30	3,01
106	244118,690	7510862,199	709,40	0,01401	0,2802	0,06	0,02	33,91	1,68	0,13	7,77	9,29	0,27	2,93
107	244109,007	7510850,072	711,40	0,01495	0,29891	0,10	0,02	23,47	1,84	0,14	7,49	9,78	0,28	2,88
108	244096,549	7510843,882	711,90	0,01555	0,31095	0,05	0,03	45,98	1,93	0,16	8,05	10,44	0,32	3,05
109	244083,188	7510842,441	712,30	0,01432	0,28632	0,07	0,02	34,32	1,70	0,14	8,26	9,31	0,29	3,06
110	244071,740	7510849,785	714,10	0,01393	0,27854	0,07	0,02	35,55	1,61	0,14	8,96	8,43	0,30	3,52
111	244064,862	7510860,972	713,30	0,01455	0,29105	0,12	0,03	21,44	1,55	0,15	9,64	8,53	0,31	3,59
112	244065,014	7510876,597	715,10	0,01431	0,28613	0,08	0,02	28,30	1,23	0,14	11,55	9,92	0,30	3,02
113	244065,852	7510894,339	714,90	0,01456	0,2911	0,05	0,02	48,93	1,57	0,14	9,06	9,93	0,30	2,99
114	244083,405	7510903,716	712,40	0,01504	0,30075	0,09	0,03	29,43	1,88	0,16	8,36	9,68	0,32	3,30
115	244099,066	7510903,090	715,30	0,01538	0,30762	0,11	0,02	23,00	1,79	0,15	8,26	9,93	0,30	3,06
116	244111,748	7510895,766	713,70	0,01555	0,31105	0,00	0,00	-	1,69	0,15	8,68	10,71	0,31	2,88
117	244122,239	7510884,085	715,00	0,01463	0,29255	0,15	0,02	15,84	1,37	0,14	10,10	9,46	0,29	3,04
118	244118,581	7510868,734	714,50	0,01386	0,27716	0,03	0,02	79,84	1,78	0,15	8,20	8,87	0,30	3,36
119	244106,566	7510854,463	714,20	0,01523	0,30452	0,06	0,02	39,05	1,71	0,15	8,78	10,82	0,31	2,89
120	244092,121	7510850,124	711,10	0,01533	0,30669	0,00	0,00	-	1,81	0,14	7,79	11,07	0,29	2,64
121	244079,886	7510855,239	713,70	0,01524	0,30485	0,12	0,03	22,39	1,84	0,17	9,06	9,56	0,34	3,53
122	244072,221	7510864,197	712,10	0,01431	0,28611	0,12	0,02	20,74	1,45	0,14	9,89	9,30	0,30	3,21
123	244072,387	7510879,047	708,80	0,0146	0,29209	0,07	0,02	35,09	1,51	0,14	9,55	10,00	0,30	3,00
124	244073,397	7510892,581	710,10	0,01501	0,30015	0,08	0,03	32,22	2,05	0,16	7,92	9,15	0,33	3,58
125	244087,510	7510892,150	710,60	0,01503	0,30054	0,04	0,02	55,85	1,65	0,15	8,95	9,79	0,30	3,11
126	244102,558	7510884,977	713,90	0,01491	0,29822	0,06	0,02	37,04	1,62	0,14	8,52	10,31	0,29	2,79
127	244098,495	7510869,287	712,40	0,01499	0,2999	0,06	0,02	40,59	1,44	0,14	9,89	10,44	0,30	2,89
128	244081,878	7510877,875	714,00	0,01502	0,30041	0,07	0,02	31,40	1,73	0,14	8,27	9,40	0,29	3,12
129	244091,195	7510881,021	713,40	0,01542	0,30834	0,07	0,03	35,95	1,37	0,16	11,89	10,57	0,34	3,23
130	244009,761	7510818,618	712,30	0,01509	0,30188	< 0,00000		-	2,15	0,15	6,77	9,61	0,30	3,08
131	244010,013	7510828,262	714,50	0,01514	0,30285	0,13	0,03	19,52	1,91	0,15	8,07	9,89	0,32	3,20

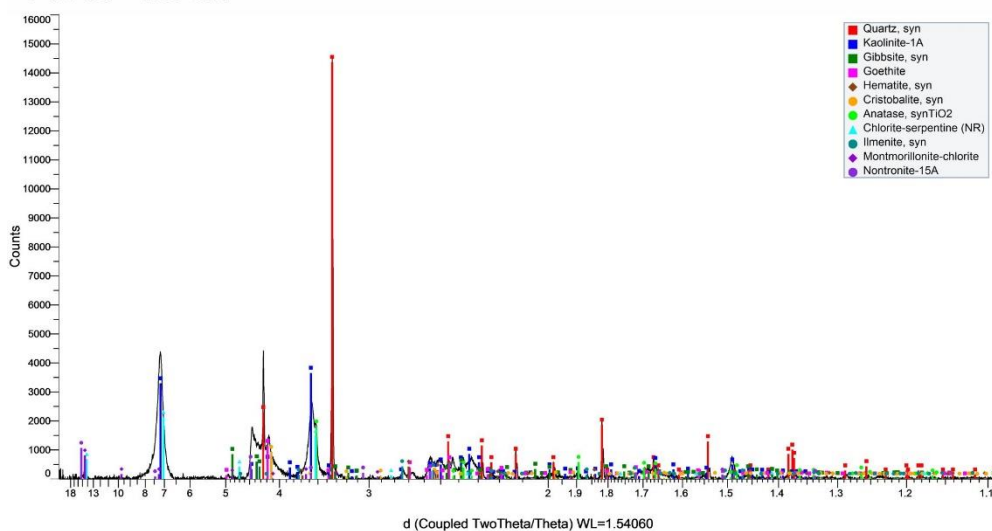
132	244010,582	7510843,561	712,20	0,01505	0,30094	0,12	0,03	20,63	1,83	0,15	8,26	9,32	0,31	3,28
133	244010,372	7510856,189	709,90	0,01503	0,30059	0,09	0,02	27,45	2,02	0,15	7,53	9,24	0,31	3,33
134	244011,712	7510868,510	710,70	0,01477	0,29549	0,04	0,02	53,25	1,92	0,15	7,59	9,22	0,30	3,22
135	244010,653	7510882,674	709,90	0,01506	0,30129	0,00	0,00	-	1,85	0,15	8,29	10,12	0,32	3,12
136	244012,101	7510894,664	709,30	0,01579	0,31584	0,08	0,02	29,26	2,22	0,15	6,78	9,66	0,30	3,14
137	244013,444	7510906,764	709,90	0,01625	0,32508	0,08	0,02	29,57	2,07	0,14	6,92	10,44	0,29	2,81
138	244014,806	7510917,755	712,10	0,01701	0,34016	0,08	0,03	35,24	2,17	0,17	7,85	10,64	0,35	3,28
139	244015,032	7510928,949	714,00	0,01557	0,31135	0,15	0,02	16,30	1,58	0,15	9,20	10,08	0,30	2,99
140	244016,379	7510940,827	714,80	0,01419	0,28374	0,06	0,02	40,28	1,48	0,15	10,32	9,61	0,32	3,34
141	244017,002	7510952,914	716,30	0,01537	0,30737	0,07	0,02	33,99	2,01	0,15	7,61	9,62	0,31	3,23
142	244013,182	7510947,311	714,50	0,01448	0,28969	0,03	0,02	76,07	1,92	0,15	7,82	9,07	0,31	3,38
143	244012,967	7510935,452	716,60	0,01502	0,30042	0,12	0,02	19,79	1,89	0,15	7,71	9,42	0,30	3,15
144	244011,606	7510924,461	718,10	0,0174	0,34807	0,12	0,03	23,02	2,36	0,16	6,96	11,36	0,33	2,94
145	244010,988	7510912,041	719,40	0,01542	0,30842	0,10	0,03	25,00	1,82	0,15	8,49	9,65	0,31	3,26
146	244010,380	7510899,068	719,70	0,01547	0,30937	0,07	0,02	36,79	1,91	0,15	8,01	10,68	0,31	2,94
147	244009,030	7510887,411	715,90	0,01582	0,31634	0,12	0,03	22,50	2,07	0,16	7,75	9,89	0,33	3,29
148	244009,229	7510875,449	715,60	0,01469	0,29378	0,04	0,02	54,60	1,93	0,15	7,63	9,63	0,30	3,14
149	244009,450	7510862,156	716,70	0,01478	0,29551	0,10	0,02	24,14	1,79	0,15	8,22	9,45	0,30	3,19
150	244008,095	7510850,722	713,50	0,01503	0,3006	0,09	0,02	27,22	1,90	0,15	7,96	9,48	0,31	3,24
151	244003,320	7510853,080	710,70	0,01503	0,30054	0,11	0,03	23,84	1,71	0,15	8,86	10,01	0,31	3,13
152	244002,264	7510867,023	711,70	0,01441	0,28819	0,12	0,02	21,16	1,55	0,15	9,48	9,45	0,30	3,19
153	244003,692	7510880,232	709,80	0,01425	0,28501	0,08	0,02	28,64	1,68	0,14	8,57	9,35	0,30	3,17
154	244004,622	7510892,435	710,00	0,01599	0,31987	0,12	0,03	21,37	1,76	0,16	9,03	10,09	0,33	3,22
155	244005,199	7510907,291	710,10	0,01579	0,31581	0,11	0,02	20,18	1,97	0,13	6,81	10,36	0,28	2,66
156	244005,408	7510919,482	708,80	0,01569	0,31386	0,14	0,03	18,63	2,04	0,16	7,72	9,41	0,32	3,36
157	244006,317	7510932,904	711,80	0,01553	0,31066	0,13	0,03	20,13	1,99	0,15	7,70	9,71	0,31	3,19

APÊNDICE III - Difratomogramas das amostras de solo

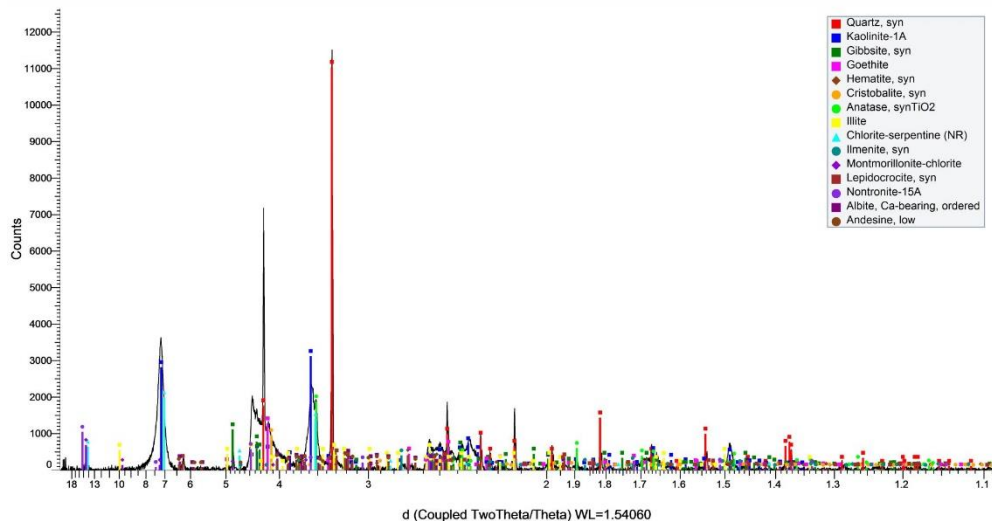
P01 0 - 60 cm



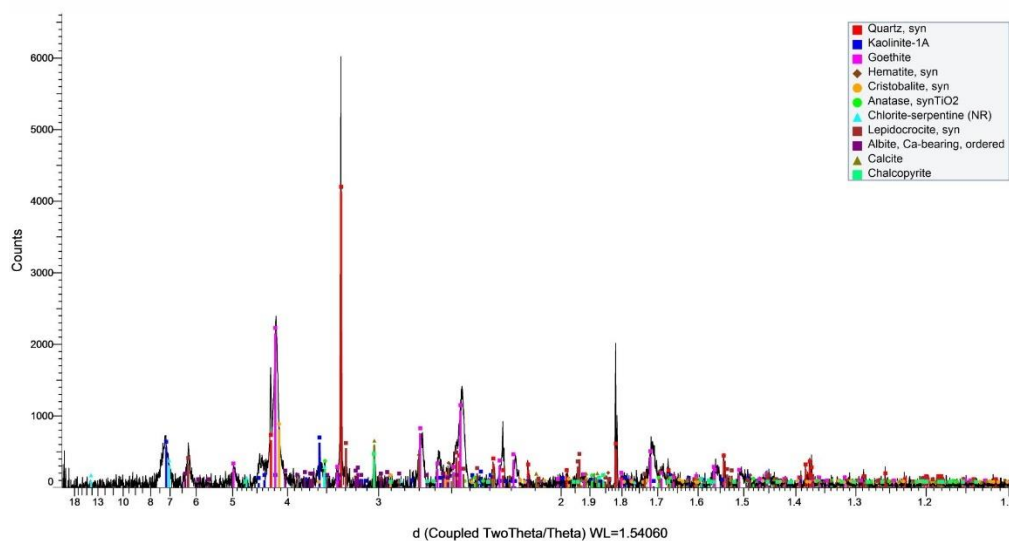
P01 60 - 100 cm



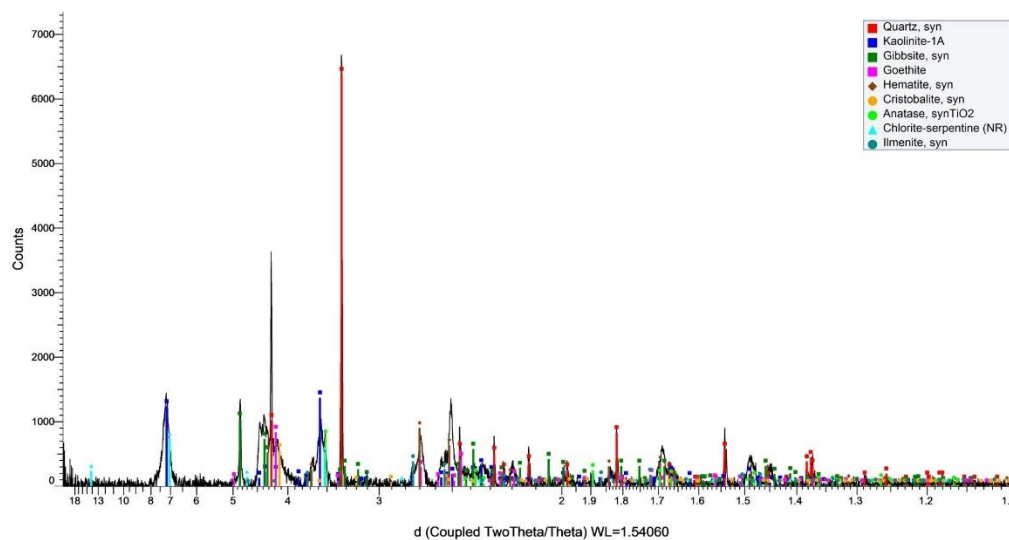
P01 100 - 180 cm



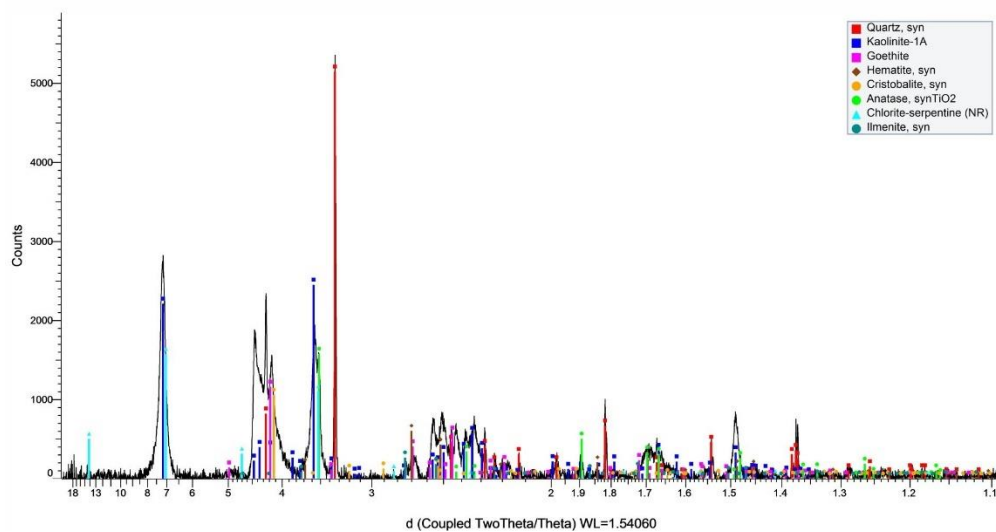
P01 180 - 220 cm



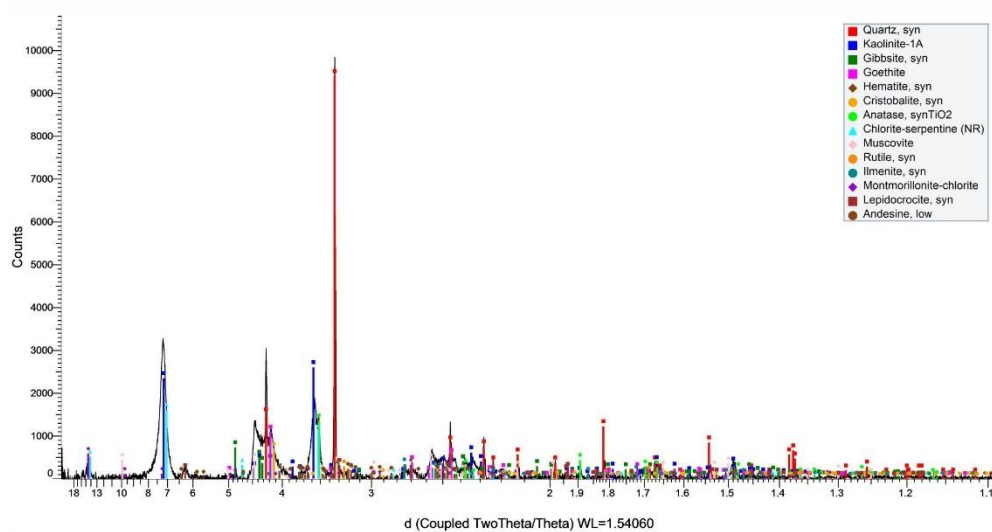
P02 0 - 40 cm



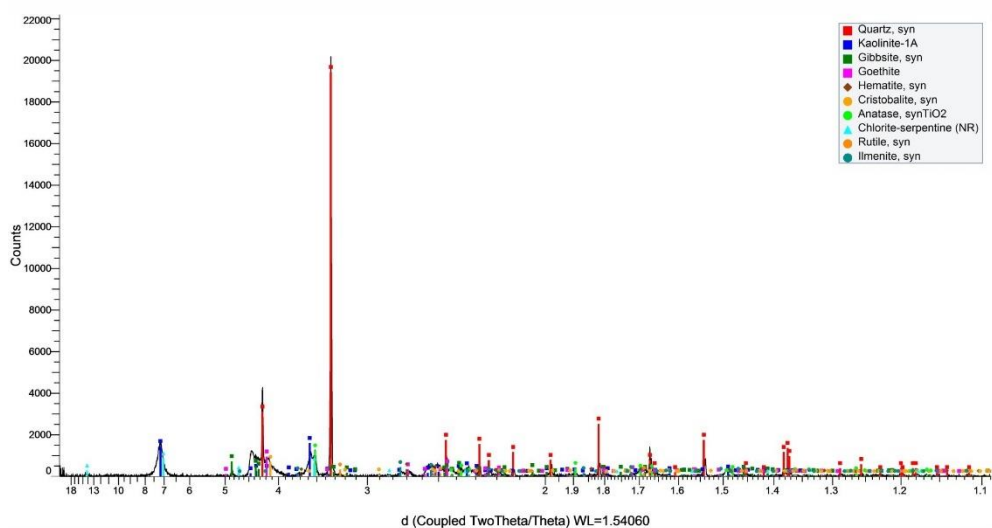
P02 50 - 140 cm



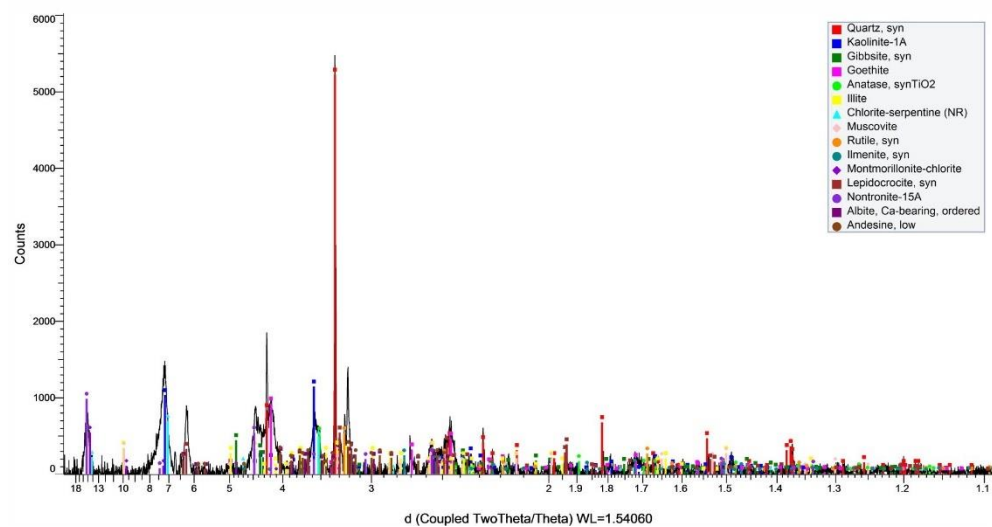
P02 180 - 280 cm



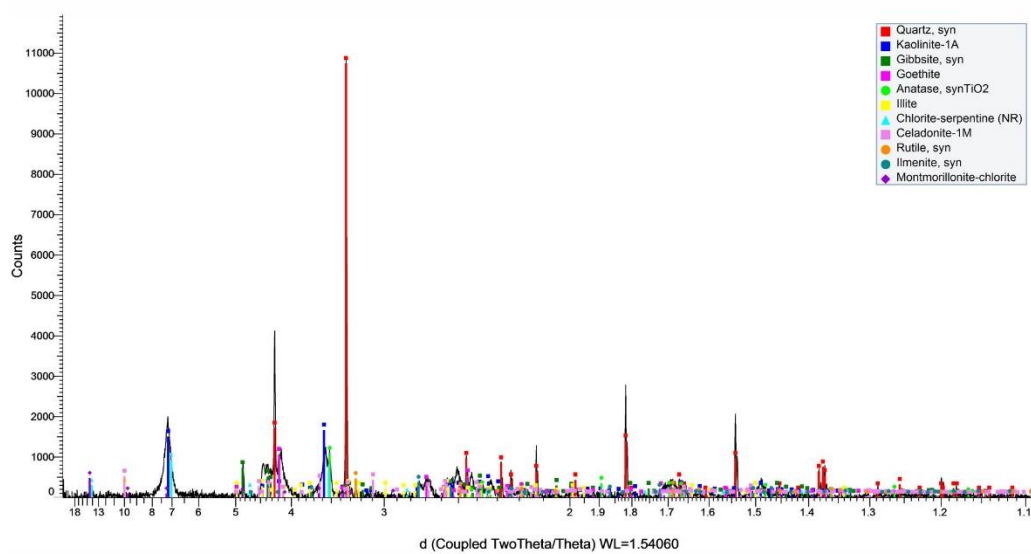
P04 0 - 40 cm



P04 200 - 340 cm



P05 0 - 20 cm



P05 60 - 80 cm

