

# RESSALVA

Atendendo solicitação do autor,  
o texto completo desta tese será  
disponibilizado somente a partir  
de 13/04/2025.



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

---

**IMAGEAMENTO SUPERFICIAL E SUBSUPERFICIAL PARA A  
CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA DE ÁREAS ÚMIDAS  
ISOLADAS DA DEPRESSÃO PERIFÉRICA PAULISTA**

**Lucas Moreira Furlan**

---

Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Campus de Rio Claro

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

LUCAS MOREIRA FURLAN

**IMAGEAMENTO SUPERFICIAL E SUBSUPERFICIAL PARA A  
CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA DE ÁREAS ÚMIDAS  
ISOLADAS DA DEPRESSÃO PERIFÉRICA PAULISTA**

*Tese 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.*

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Vânia Silvia Rosolen

Rio Claro – SP  
2023

F985i Furlan, Lucas Moreira  
Imageamento superficial e subsuperficial para a caracterização hidrodinâmica de áreas úmidas isoladas da Depressão Periférica Paulista / Lucas Moreira Furlan. -- Rio Claro, 2023  
127 p.

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

1. Sensoriamento Remoto. 2. Drone. 3. Satélite. 4. Eletorresistividade. 5. Geotecnologias. 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<sup>1</sup>**

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) representam um compromisso global para promover a prosperidade humana em harmonia com a natureza. Os ODS visam erradicar a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que todas as pessoas possam desfrutar de paz e prosperidade até 2030. Entre os 17 objetivos definidos pela ONU, este trabalho contempla os ODS 6, 13, 14, 15 e 17.

O ODS 6, Água potável e saneamento, é abordado neste trabalho através da análise direta das dinâmicas de disponibilidade hídrica em áreas úmidas. As áreas úmidas são importantes para a manutenção dos recursos hídricos, pois ajudam a recarregar aquíferos, regular o fluxo de água e manter a qualidade da água. Além disso, as áreas úmidas oferecem serviços ecossistêmicos vitais, como a purificação da água e a proteção contra enchentes.

O ODS 13, Ação contra a mudança global do clima, é abordado neste trabalho por meio de análises históricas e sazonais das áreas úmidas. As áreas úmidas têm um papel fundamental na mitigação e adaptação às mudanças climáticas, pois podem armazenar grandes quantidades de carbono e fornecer uma barreira natural contra eventos climáticos extremos.

Os ODS 14 e 15, Vida na água e Vida terrestre, são abordados neste trabalho por estudar os ecossistemas que se encontram na interface terrestre-aquática. As áreas úmidas são habitats essenciais para diversas espécies de animais e plantas, além de fornecerem recursos naturais importantes para as comunidades locais. A conservação desses ecossistemas é fundamental para garantir a sobrevivência de muitas espécies e manter a diversidade biológica.

O ODS 17, Parcerias e meios de implementação, é abordado neste trabalho com o objetivo de fornecer dados qualitativos e quantitativos para diferentes partes interessadas na gestão, monitoramento e preservação das áreas úmidas. A colaboração entre governos, organizações não governamentais, empresas e comunidades locais é fundamental para garantir a sustentabilidade das áreas úmidas.

---

<sup>1</sup> De acordo com a Portaria UNESP 117-2022 e Instrução AT-PROPG N°02 (22/12/2022), passa a ser recomendado que todas as dissertações e teses, defendidas a partir dessa data apresentem uma descrição do impacto esperado relacionado aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

## **Potential impact of this research**

The Sustainable Development Goals (SDGs) represent a global commitment to promote human prosperity in harmony with nature. The SDGs aim to eradicate poverty, protect the environment and climate, and ensure that everyone can enjoy peace and prosperity by 2030. Among the 17 goals defined by the UN, this work focuses on SDGs 6, 13, 14, 15, and 17.

SDG 6, Clean Water and Sanitation, is addressed in this work through direct analysis of the dynamics of water availability in wetlands. Wetlands are important for maintaining water resources as they help recharge aquifers, regulate water flow, and maintain water quality. In addition, wetlands provide vital ecosystem services such as water purification and flood protection.

SDG 13, Climate Action, is addressed in this work through historical and seasonal analysis of wetlands. Wetlands play a critical role in climate change mitigation and adaptation as they can store large amounts of carbon and provide a natural barrier against extreme weather events.

SDGs 14 and 15, Life Below Water and Life on Land, are addressed in this work by studying ecosystems at the land-water interface. Wetlands are essential habitats for various animal and plant species and provide important natural resources for local communities. The conservation of these ecosystems is crucial to ensure the survival of many species and maintain biological diversity.

SDG 17, Partnerships for the Goals, is addressed in this work with the aim of providing qualitative and quantitative data to different stakeholders in wetland management, monitoring, and preservation. Collaboration between governments, non-governmental organizations, companies, and local communities is essential to ensure the sustainability of wetlands.

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

LUCAS MOREIRA FURLAN

IMAGEAMENTO SUPERFICIAL E SUBSUPERFICIAL PARA A  
CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA DE ÁREAS ÚMIDAS  
ISOLADAS DA DEPRESSÃO PERIFÉRICA PAULISTA

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

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

Profa. Dra. RENATA CRISTINA BOVI  
FCA / UNESP/Botucatu (SP)

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

Prof. Dr. MANUEL EDUARDO FERREIRA  
IESA / UFG/Goiânia (GO)

Prof. Dr. JEPHERSON CORREIA SALES  
ICHS / UFR/Rondonópolis (MT)

Conceito: Aprovado.

Rio Claro/SP, 13 de abril de 2023.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Também contou com apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq. Por fim, esta pesquisa faz parte do processo nº 2020/03207-9, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Agradeço à Universidade Estadual Paulista, minha *alma mater* desde a graduação.

Agradecimentos além-palavras à professora Dr<sup>a</sup>. Vânia Rosolen pela orientação que transpassou a tese e se transformou em uma amizade valiosa. Sou grato por sua percepção e integridade científicas, que me ensinaram muito sobre como crescer pessoal e profissionalmente. Sua confiança em minhas ideias, mesmo quando eram pequenas, e seu estímulo constante ajudaram-nas a crescer de forma exponencial. Gigante parte do profissional que sou hoje é fruto desta parceria.

Ao professor Dr. César Augusto Moreira, por todos os valiosos ensinamentos e parceria durante esses anos.

Ao professor Dr. Manuel Eduardo Ferreira, por toda a contribuição em meu aprendizado.

Ao prestigioso geólogo e amigo, Matheus Casagrande, pela parceria semanal. Muito do trabalho se enriqueceu em nossas conversas.

Aos amigos que também habitaram, mesmo que brevemente, as áreas úmidas: Dr. Jepherson Sales, Dra. Renata Bovi, Dra. Fernanda Teles e Me. Deise Junqueira pelos muitos avanços construídos em conjunto.

Aos amigos que deram apoio metodológico neste trabalho, Paulo Guilherme de Alencar, João Paulo Maimoni, Giorgio Sartorato, e especialmente ao querido Allan da Silva Tomazella (*in memoriam*).

Não menos importante, a todos que viabilizaram a execução de todas as etapas deste projeto.



## RESUMO

Áreas úmidas geograficamente isoladas (AUGI; *Geographically Isolated Wetlands* na bibliografia internacional) são feições geomorfológicas caracterizadas por depressões fechadas e representam formas de relevo onde as encostas circundam a área de acúmulo de água superficial. Grande número de AUGI's estão distribuídas por toda a Depressão Periférica Paulista (Estado de São Paulo, Brasil) e são geralmente localizadas em colinas suaves, facilmente reconhecidas na paisagem por suas características geomorfológicas típicas. Devido à falta de legislações específicas e de estudos científicos que justifiquem a proteção das AUGI's, é necessário integrar o monitoramento de longo prazo combinado a um conjunto de dados qualitativos e quantitativos em múltiplas escalas espaciais e temporais. Este estudo investigou a hidrodinâmica superficial e subsuperficial de AUGI's na Bacia do Rio Corumbataí, por meio de técnicas de imageamento não invasivas. Dados de sensoriamento remoto de múltiplas fontes, como satélites e dados de alta resolução espacial de veículo aéreo não tripulados, foram usados para estudar a superfície, enquanto o método geofísico da Eletrorresistividade e a condutividade hidráulica *in situ* foram utilizadas para acessar a subsuperfície rasa e profunda. Posteriormente, as análises foram validadas com dados climatológicos de precipitação e evapotranspiração. Foram identificados AUGI's com diferentes hidroperíodos na localidade, sazonais e perene. No centro das AUGI's ocorre o acúmulo de água superficial e sua interação com a água de solo, que pode posteriormente infiltrar de forma lenta para porções mais profundas (aquíferos). As AUGI's são altamente sensíveis ao uso e ocupação do solo, pois estão localizadas em regiões de agricultura consolidada, portanto, é essencial conduzir e aplicar monitoramentos históricos e sazonais de alta resolução espaço temporal. Sobre a gênese dos ecossistemas, foi observada uma forte correlação entre o contexto geológico, hidrogeológico e características estruturais. Dois complexos de áreas úmidas foram identificados: o primeiro, com gênese e evolução controladas principalmente por fatores geomórficos, e o segundo principalmente controlado por características estruturais. A contribuição quantitativa e qualitativa das AUGI's com o ciclo hidrogeológico reitera a necessidade de estudos sistemáticos de identificação, caracterização, classificação, monitoramento e gestão sustentável.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto; drone; satélite; Eletrorresistividade; condutividade hidráulica; geotecnologias.

## ABSTRACT

Geographically isolated wetlands (GIW) are geomorphological features characterized by closed depressions and represent landforms where slopes surround areas of surface water accumulation. A large number of GIWs are distributed throughout the São Paulo peripheral depression (São Paulo state, Brazil) and are usually located on smooth hills, easily recognized in the landscape by their typical geomorphological characteristics. Managing GIWs is a challenge because it requires integrating long-term monitoring combined with a set of qualitative and quantitative data at multiple spatial and temporal scales. This study investigated the surface and subsurface hydrodynamics of GIWs in the Corumbataí river basin using non-invasive imaging techniques. Remote sensing data from multiple sources such as satellites and high-resolution spatial data from unmanned aerial vehicles were used to study the surface, while Electrical Resistivity and hydraulic conductivity *in situ* were used to access the shallow and deep subsurface. Subsequently, the analyses were integrated with climatological data on precipitation and evapotranspiration. GIWs with different hydropatterns were identified in the locality, seasonal and perennial. In the center of the GIWs, there is the accumulation of surface water and its interaction with soil water, which can subsequently infiltrate slowly into deeper portions (aquifers). GIWs are highly sensitive to land use and occupation because they are located in agricultural border regions. Therefore, it is essential to conduct and apply historical and seasonal high-resolution spatio-temporal monitoring. Regarding the genesis of ecosystems, a strong correlation was observed between the geological, hydrogeological context, and structural characteristics. Two wetland complexes were identified: the first, with genesis and evolution mainly controlled by geomorphic factors, and the second mainly controlled by structural characteristics. The quantitative and qualitative contribution of GIWs to the hydrogeological cycle reiterates the need for systematic studies of identification, characterization, classification, monitoring, and sustainable management.

**Keywords:** Remote Sensing; drone; satellite; Electrical Resistivity Tomography; hydraulic conductivity; geotechnologies.

## LISTA DE FIGURAS

### INTRODUÇÃO

**Figura 1.1** – Localização da Bacia do Paraná, com destaque para o estado de São Paulo (geomorfologia e distribuição dos biomas). Imagem de satélite com municípios que integram a Bacia do Rio Corumbataí e localização das áreas úmidas identificadas e aprofundadas neste estudo: AUGI Norte, Central e Sul.....21

**Figura 1.2** – Bacia do Rio Corumbataí. A) Geologia; B) Solos e C) Aquíferos.....23

### MATERIAIS E MÉTODOS

**Figura 2.1** – Esquema dos métodos e técnicas aplicados em diferentes escalas.....27

**Figura 2.2** - Condutividade Metálica (a) e Condutividade Eletrolítica (b).....34

**Figura 2.3** - Fluxo de corrente num condutor linear de comprimento L, resistência R e área de seção A.....35

**Figura 2.4** - Medição da resistividade por meio de um arranjo linear de 4 eletrodos, com os eletrodos M e N posicionados entre os eletrodos A e B.....36

**Figura 2.5** - Disposição dos pares eletrodos em arranjo Schlumberger.....37

**Figura 2.6** – Mapa da AUGI Central, com as linhas de aquisição de dados de Eletrorresistividade e os pontos de condutividade hidráulica.....38

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### CAPITULO I

**Figura 3.1** – AUGI Norte, Sul e Central. Pixel time series do *MapBiomas Água*, com a coberturas do período de 1985 a 2022. Área Norte e Sul não possuem água identificada no período. Central com escala de cores que representa a frequência relativa de anos com presença de água no intervalo de tempo indicado.....52

**Figure 1** -Localization of the geomorphological compartments in the São Paulo State, Brazil, overlaid with the distribution of the Cerrado and Atlantic Forest ecoregions (i.e., biomes). The zoom-in the study area (Corumbataí River Basin DEM [44]) with wetlands identified by Junqueira [45] Furlan et al. [46]. A and B are the location of the two studied wetlands. ....53

**Figure 2** - Multi-scale process used during the development of the different stages of the study, contemplating satellites, UAV, and Electrical Resistivity Tomography workflows and applications during the study.....54

**Figure 3** - 1975-2020 band composition images of the Landsat series and CBERS-04A satellite. Pixel-based supervised classification in wetland A and B (zoom-in) - the wetlands chosen to be classified and monitored. The graph “Area of the wetland A” displays the result of calculations of the waterlogged area for each year-dataset, based on the supervised classifications.....58

**Figure 4** - One-year (August 2019 – July 2020) systematic acquisition of Wetland A (A) and Wetland B (B) UAV-orthomosaics.....59

**Figure 5** - October-2019 orthomosaics, digital elevation models and elevation profiles (a-b) of the two wetlands A and B. (A) Wetland with perennial flooding and no tree vegetation, perimeter of 1485.1 meters; B) Wetland with temporary flooding and tree vegetation on its limits, perimeter of 972.3 meters. Wetland A is approximately 34% bigger than B.....60

**Figure 6** – (A) The polygons extracted from Wetland A delimit the spatial pattern that reflects the wetland's characteristics with different RGB pixel responses related to seasonal hydro-periods. The images show a zoom-in view of a border portion of Wetland A for October 2019 and February 2020; (B) The polygons extracted from Wetland B delimit the spatial pattern that reflects the wetland's characteristics with different RGB pixel responses related to seasonal hydro-periods. The images show a zoom-in view of a border portion of Wetland B for October 2019 and February 2020.....61

**Figure 7** -(w-x; y-z) 2D Inversion resistivity models, acquired based on Schlumberger array.....64

**Figure 8** - 3D subsurface slices - visualization models, slices of the 3D blocks, resulted of lateral interpolation of 2D inversion models. Depth of 5, 15, 25 and 35 meters.....65

## ***CAPITULO II***

**Figura II.1** – A) Mapa com locais de aquisição das linhas de Eletrorresistividade e dos pontos de medição da condutividade hidráulica; B) Mapa de condutividade hidráulica; C) Modelos de inversão 2D (Linha 2 e 27), com representação do uso e ocupação do solo.....75

**Figura II.2** – Modelos de inversão 2D das linhas 1 a 6. Linha tracejada indica limite entre as zonas insaturadas (cores quentes) e saturadas (cores frias).....76

**Figura II.3** – Modelos de inversão 2D das linhas 7 a 11. Linha tracejada indica limite entre as zonas insaturadas (cores quentes) e saturadas (cores frias) .....77

**Figura II.4** – Modelos de inversão 2D das linhas 12 a 17. Linha tracejada indica limite entre as zonas insaturadas (cores quentes) e saturadas (cores frias) .....78

**Figura II.5** – Modelos de inversão 2D das linhas 18 a 23. Linha tracejada indica limite entre as zonas insaturadas (cores quentes) e saturadas (cores frias) .....79

**Figura II.6** – Modelos de inversão 2D das linhas 24 a 27. Linha tracejada indica limite entre as zonas insaturadas (cores quentes) e saturadas (cores frias).....81

**Figura II.7** – Modelos de inversão 2D das linhas 24 a 27. Linha tracejada indica limite entre as zonas insaturadas (cores quentes) e saturadas (cores frias).....82

**Figura II.8** – Modelos de inversão 2D das linhas 24 a 27. Linha tracejada indica limite entre as zonas insaturadas (cores quentes) e saturadas (cores frias) .....83

## ***CAPITULO III***

**Figure 1** - Localization of the São Paulo State with a zoom-in of the studied wetland and the land-use in the surroundings.....88

<b>Figure 2</b> - 12 months orthomosaics (August 2019 to July 2020) of the wetland, built from UAV data. The orthomosaics are displayed in three hydroperiods.....	89
<b>Figure 3</b> - Graph of the monthly precipitation (mm/mo) and the monthly evapotranspiration (mm/mo) (August 2019 to July 2020) .....	89
<b>Figure 4</b> - Processing based on (a) High- resolution DEM (+ 5 cm/pixel): (b) Stream network and the drainage areas for each stream segment (4758 features); (c) DEM pro- file with the terrain slope representation and wetland area-indication; (d) and (e) zoom-in the orthomosaics of October images, with the network stream overlay.....	90
<b>Figure 5</b> - Flooding simulations generated for pro- gressive increases of 0.2 m in the water level (wl), with a minimum wl of 556.60 m and a maximum wl of 558.20 m.....	91
<b>Figure 6</b> - Real flooding areas during October 2019 (a) and February 2020 (c); zoom-in a northeast border portion of each month (b) and (d).....	92

#### ***CAPÍTULO IV***

<b>Figure 1</b> - Geomorphological and biome compartmentalization of the state of São Paulo. Location of the Corumbataí River Basin and of the studied wetlands (a-q) .....	97
<b>Figure 2</b> - (A) Slope map with the Embrapa classification (1-6). (B) Geological Map. (C) Soil map. (D) Hydrogeological map with the main aquifers and the unconfined Rio Claro Aquifer (shallow aquifer). (E) Fracture level of the bedrock/aquifer.....	99
<b>Figure 3</b> - Visual modeling of the three distinct scenarios generated from the AHP multi-criteria analysis, indicating the zones with the respectively probability of occurrence of wetland in the CRB.....	102
<b>Figure 4</b> - Heatmap graph (Pearson correlation) of the variables (factors).....	103
<b>Figure 5</b> - Bands composition generated by the open-code interface Marigold. Examples of the spectral response for 3 wetlands (m, n, o): (i) True Color Composition (R-G-B); (ii) ASTER; swir1/red; (iii) ASTER; (green*red *100)/blue.....	104
<b>Figure 6</b> - The polygons for wetland-geomorphic elements (a-q). The corresponding maturity indices, DL and CI, are also shown for each of the elements.....	104

#### **OS HIDROPERÍODOS E A HIDRODINÂMICA DAS ÁREAS ÚMIDAS ISOLADAS DA DEPRESSÃO PERIFÉRICA PAULISTA**

<b>Figura 4.1</b> – Modelo esquemático da hidrodinâmica superficial e subsuperficial para a AUGI Central.....	113
<b>Figura 4.1</b> – Modelo esquemático da hidrodinâmica superficial e subsuperficial para a AUGI Norte e Sul.....	114

## LISTA DE TABELAS

### MÉTODOS E MEIOS

<b>Tabela 2.1</b> – Características técnicas de aquisição e processamento de imagens multi-satélites utilizadas na análise.....	30
<b>Tabela 2.2</b> – Características técnicas de aquisição e processamento do conjunto de dados VANT utilizados nas análises.....	33
<b>Tabela 2.3</b> - Escala de Julgamento AHP.....	44
<b>Tabela 2.4</b> - Exemplo da distribuição dos valores na matriz de julgamento para 4 fatores.....	45
<b>Tabela 2.5</b> - Índice Randômico (RI) em função da ordem (n) da matriz de julgamento.....	46

### CAPÍTULO I

<b>Table 1</b> - Technical characteristics of acquisition and processing of the satellite images dataset used in the analysis.....	53
<b>Table 2</b> - Wetland A and B photogrammetric calculations performed.....	61
<b>Table 3</b> - Precipitation (P), Evapotranspiration (ET) and Water Balance (WB).....	63

### CAPÍTULO III

<b>Table 1</b> - Main parameters of UAV data acquisition and processing.....	85
--	----

### CAPÍTULO IV

<b>Table 1</b> - Saaty's Scale of importance in the pairwise comparison.....	96
<b>Table 2</b> - Random Index (RI).....	97
<b>Table 3</b> - Calculation of relative importance weightage for Scenario 1.....	97
<b>Table 4</b> - Calculation of relative importance weightage for Scenario 2.....	97
<b>Table 5</b> - Calculation of relative importance weightage for Scenario 3.....	98
<b>Table 6</b> - Percentage of wetlands in each of the probability zones.....	103

# SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	16
1.1	Hipótese.....	19
1.2	Objetivos .....	20
1.2.1	Objetivo geral.....	20
1.2.2	Objetivos específicos.....	20
1.3	Área de estudo.....	21
1.3.1	A Bacia do Rio Corumbataí .....	22
1.3.2	Contexto geológico local.....	22
1.3.3	Contexto geomorfológico local .....	24
1.3.4	Contexto hidrogeológico local .....	25
1.3.5	Contexto climático .....	26
2.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	27
2.1	Dados de sensoriamento remoto orbital .....	28
2.1.1	MapBiomas Water.....	28
2.1.2	Aquisição e processamento de dados de satélite .....	29
2.1.3	Índices morfométricos.....	31
2.2	Aquisição e processamento de dados de Veículo Aéreo Não Tripulado.....	32
2.3	Método da Eletroresistividade .....	34
2.3.1	Aquisição e processamento dos dados de 2D e 3D .....	38
2.4	Dados climatológicos – Balanço hídrico.....	39
2.5	Condutividade hidráulica ( <i>K<sub>sat</sub></i> ) .....	40
2.5.1	Medição da condutividade hidráulica in situ.....	41
2.6	Análise multicritério – Processo Analítico Hierárquico.....	42
2.6.1	Criação do Banco de Dados .....	43
2.6.2	Normalização dos Fatores .....	43
2.6.3	Atribuição de Pesos.....	44
3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	48
	CAPÍTULO I - IMAGEAMENTO E HIDRODINÂMICA SUPERFICIAL.....	48
	CAPÍTULO II - HIDRODINÂMICA SUBSUPERFICIAL E A ARQUITETURA DE INFILTRAÇÃO..	73
	II.1 Introdução.....	73
	II.2 A arquitetura de infiltração.....	74
	II.3 Considerações.....	84
	CAPÍTULO III - SENSIBILIDADE AMBIENTAL DAS ÁREAS ÚMIDAS ISOLADAS .....	85

CAPÍTULO IV - A GÊNESE DAS ÁREAS ÚMIDAS ISOLADAS E SUA RELAÇÃO COM A PAISAGEM .....	94
4. OS HIDROPERÍODOS E A HIDRODINÂMICA DAS ÁREAS ÚMIDAS ISOLADAS DA DEPRESSÃO PERIFÉRICA PAULISTA.....	112
5. ÁREAS ÚMIDAS ISOLADAS DA DEPRESSÃO PERIFÉRICA PAULISTA: CONTRIBUIÇÕES, CONSIDERAÇÕES GERAIS E NOVAS PERSPECTIVAS DE ESTUDO.....	115
REFERÊNCIAS .....	118



## APRESENTAÇÃO

Essa tese foi organizada em capítulos que compreendem os resultados e discussões apresentados na forma de artigos – já publicados ou a publicar. As seções estão dispostas da seguinte forma:

**Introdução** apresenta as questões iniciais que motivaram e mobilizaram este estudo, bem como as hipóteses, objetivos e a contextualização da área de estudo. **Materiais e Métodos** traz uma abordagem sistemática dos embasamentos metodológicos, técnicas e processamentos aplicados ao longo da pesquisa, que são apresentados em maior detalhe em cada capítulo.

**Capítulo I** versa sobre resultados e discussões acerca do imageamento superficial e análise da hidrodinâmica de duas áreas úmidas isoladas da Depressão Periférica Paulista, submetido após revisão por pares, na revista *Remote Sensing*, intitulado “*Multisource Remote Sensing and Geophysical Data to Unveil Surface and Subsurface Hydrodynamics of Small Natural Wetlands: An Undervalued Ecosystem at the Atlantic Forest-Cerrado Interface, Brazil*”.

**Capítulo II** versa sobre os resultados e discussões sobre o imageamento de subsuperfície e a arquitetura de interação de águas subterrâneas de uma área úmida.

**Capítulo III** versa sobre os resultados e discussões acerca do monitoramento ambiental e sazonal de uma área úmida, publicado no artigo “*Environmental monitoring and hydrological simulations of a natural wetland based on high-resolution unmanned aerial vehicle data (Paulista Peripheral Depression, Brazil)*”, na revista *Environmental Challenges*.

**Capítulo IV** versa sobre os resultados e discussões acerca da gênese das áreas úmidas isoladas e a influência dos fatores geomorfologia, geologia, pedologia, hidrologia e hidrogeologia. O artigo foi submetido, após revisão por pares, na revista *International Journal of Geo-Information*, intitulado “*Brazilian Small Inland Wetlands: Spatial Dependence-distribution Based on Multi-criteria Analysis (GIS-AHP technique) and Geomorphometric Indices Assessed by Remote Sensing*”.

**Os hidroperíodos e a hidrodinâmica das áreas úmidas isoladas da Depressão Periférica Paulista** apresenta uma integração dos capítulos anteriores e **Contribuições, considerações gerais e novas perspectivas de estudo**, apresenta as considerações finais de forma a integrar todas as discussões e apontar as vantagens e limitações dos métodos utilizados, bem como indicar novos potenciais direcionamentos de estudos.

## 1. INTRODUÇÃO

As áreas úmidas naturais de água doce recobrem cerca de 7 milhões de km<sup>2</sup> em todo o mundo. Tem importância reconhecida por ser um ecossistema que desempenha um papel fundamental nos ciclos hídricos locais a globais, contribuindo com o armazenamento da água meteórica, recarga de diferentes níveis aquíferos, amortecimento de cheias e enchentes, vazão de drenagens, retenção de sedimentos, purificação da água, regulação do microclima, fornecimento de água potável para seres humanos e animais, estoque de carbono, entre outros (EULISS *et al.*, 2004; MELTON *et al.*, 2013; RUSSI *et al.*, 2013; JUNK *et al.*, 2014; ROSOLEN *et al.*, 2015; GANESAN *et al.*, 2016; FURLAN *et al.*, 2020; 2021b).

Embora sejam áreas de grande relevância, os ecossistemas mantidos por áreas úmidas foram e são degradados em todo o mundo, principalmente pelas crescentes atividades urbanas e rurais que impulsionam impactos ambientais (EULISS & MUSHET, 2004; PAPASTERGIADOU *et al.*, 2008; ROSOLEN *et al.*, 2015). No Brasil, aproximadamente 20% do território é coberto por áreas úmidas e esses ambientes desempenham uma variedade de funções ecossistêmicas (JUNK *et al.*, 2014). O território brasileiro atualmente possui 27 áreas designadas como Áreas Úmidas de Importância Internacional (Sítios Ramsar) (RAMSAR, 2022).

Este estudo aborda uma classe específica de áreas úmidas, designadas como áreas úmidas geograficamente isoladas (AUGI na abreviação e *Geographically Isolated Wetlands* na bibliografia internacional). As AUGI's são feições geomorfológicas caracterizadas por serem depressões fechadas com acúmulo de água superficial, circundadas por encostas (NORTON, 1986; TINER, 2003; KOŁODYŃSKA-GAWRYSIK & POESEN 2017). A AUGI natural pode ocorrer em muitos locais ao redor do mundo e sua gênese pode ser influenciada pelo contexto geológico local, características físicas e químicas do solo, geomorfologia regional e local e influência das águas subterrâneas, seja pela hidrodinâmica dos aquíferos ou pelo grau de erosão do solo, rochas, entre outros (GILLIJNS *et al.*, 2005; VANWALLEGHEM *et al.*, 2008; SAURO, 2019; NATIENNE *et al.*, 2011; KOŁODYŃSKA-GAWRYSIK & POESEN, 2017).

A funcionalidade e a sensibilidade ambiental das AUGI's são amplamente reconhecidas no bioma Cerrado, especialmente as funções ecossistêmicas associadas à interação das águas superficiais e subterrâneas na recarga dos aquíferos (JUNK *et al.*, 2014; ROSOLEN *et al.*, 2015; 2019; FURLAN *et al.*, 2020, 2021; LUKO-SULATO *et al.*, 2021). Sua formação, persistência, tamanho e funções, bem como a hidrologia da bacia e seus hidroperíodos, são amplamente

controlados pelo regime local de precipitação-evapotranspiração, cujas taxas podem ser substancialmente alteradas pela mudança climática global, especialmente pelo prolongamento dos períodos de seca (ACREMAN & MCCARTNEY, 1991; ANDERSON & LOCKABY, 2012; VAN DIJK *et al.*, 2013; MIDDLETON & SOUTER, 2016). Além disso, as pressões de uso da terra, principalmente pelos avanços da agricultura, têm levado a perdas, degradação e fragmentação das áreas úmidas, acentuando sua vulnerabilidade e tornando-as menos eficazes na manutenção da qualidade da água (CHANG *et al.*, 2021).

Um grande número de AUGI's estão distribuídas por toda a Depressão Periférica Paulista (Estado de São Paulo, Brasil). Estas áreas são geralmente localizadas em colinas suaves e são facilmente reconhecidas na paisagem por suas características geomorfológicas típicas, como sua forma circular-ovalada, com hidroperíodos bem marcados ligados à sazonalidade climática e sem conexão visível com drenagens (TINER, 2003). O conjunto de AUGI's de água doce ocorre em litologias (rochas sedimentares e magmáticas) e idades geológicas variáveis (idades Paleozóica e Mesozóica) e são subestimadas pela sociedade e governo quanto à sua importância ecológica e hídrica. Desde a década de 1970, a intensificação do uso da terra por conversão em áreas urbanas, minerações de argila e agricultura modificaram profundamente os ecossistemas naturais, inclusive as áreas úmidas (reconhecidas localmente como brejos, lagoas ou pântanos).

A gestão das AUGI's é um desafio diante da necessidade de integrar o monitoramento de longo prazo com dados qualitativos e quantitativos em múltiplas escalas espaciais e temporais. As abordagens metodológicas deste estudo são concentradas em técnicas de imageamento não-invasivas para a caracterização hídrica superficial e subsuperficial.

Nesse sentido, o uso de geotecnologias em imageamentos de superfície e subsuperfície geram informações de grande relevância ao estudo da dinâmica de paisagem e hidrodinâmica de pequenos ecossistemas (FURLAN *et al.*, 2021a, 2021b; ŚLEDŹ *et al.*, 2021). Dados superficiais de alta resolução espacial são versáteis e de baixo custo quando obtidos por meio de sensores embarcados em veículos aéreos não tripulados (VANT's). Ortomosaicos gerados a partir de dados de VANT e modelos de elevação digital (MDE) são ferramentas valiosas ao estudo geomorfológico e hidrológico (ŚLEDŹ *et al.*, 2021, LI *et al.*, 2010, OUÉDRAOGO *et al.*, 2014). Imagens de subsuperfície podem ser adquiridas através de métodos geofísicos. Notavelmente, o método geoeletrico de Eletrorresistividade é adequado para estudos hidrogeológicos, devido à alta variabilidade nas propriedades elétricas relacionadas a diferentes materiais e níveis de umidade ou

saturação de água em matrizes e horizontes heterogêneos de solo/rocha/rególito (LOWRIE, 2007; TARGA *et al.*, 2019; CASAGRANDE *et al.*, 2020).

A pouca agilidade do Brasil em cumprir as metas da Convenção Ramsar resulta na exposição das AUGI's aos impactos de atividades humanas (Junqueira, 2021). As AUGI's, em particular, são mais suscetíveis a danos do que outros sistemas úmidos, pois suas funções ecossistêmicas ainda são pouco estudadas e conhecidas, e, portanto, não possuem monitoramentos e legislações adequados. Por isso, existe uma crescente demanda pela classificação, caracterização e monitoramento ambiental sazonal e histórico das áreas úmidas isoladas. Isso se deve, principalmente, à necessidade de fortalecer as leis ambientais e desenvolver estudos que aumentem a compreensão das funções ecossistêmicas e hidrodinâmicas desses ambientes, tanto em escala local quanto regional.

Diante do exposto, o objetivo geral deste estudo foi investigar a hidrodinâmica superficial e subsuperficial de áreas úmidas isoladas na Depressão Periférica Paulista (Bacia do Rio Corumbataí), por meio de técnicas de imageamento não invasivas de superfície e de subsuperfície associadas com medidas de condutividade hidráulica e análise multicritério. Foram utilizadas múltiplas fontes de dados de sensoriamento remoto, como satélites e VANT, para analisar a hidrodinâmica superficial, e dados de Eletrorresistividade e condutividade hidráulica *in situ* para caracterizar a subsuperfície. Além disso, os resultados foram validados com dados climatológicos de precipitação e evapotranspiração.

A AUGI atua como um local de interação entre água superficial e a água de solo (aquífero raso), que pode, eventualmente, infiltrar de forma lenta para porções mais profundas – e atingir o nível aquífero profundo, que pode ser caracterizado como um aquífero devido à alta disponibilidade de água, mas baixas velocidades de condutividade hidráulica. O estudo também evidenciou que há uma forte correlação entre o contexto geológico, hidrogeológico e características estruturais na gênese dos ecossistemas. Foi possível identificar dois complexos de áreas úmidas, o primeiro controlado principalmente por fatores geomórficos e o segundo, por características estruturais.

Por fim, a contribuição das AUGI's para o ciclo hidrogeológico reitera a necessidade de estudos sistemáticos de identificação, caracterização, classificação, monitoramento e gestão sustentável dessas áreas.

## **5. ÁREAS ÚMIDAS ISOLADAS DA DEPRESSÃO PERIFÉRICA PAULISTA: CONTRIBUIÇÕES, CONSIDERAÇÕES GERAIS E NOVAS PERSPECTIVAS DE ESTUDO.**

A presente pesquisa classificou as áreas úmidas isoladas da Depressão Periférica Paulista como áreas úmidas geograficamente isoladas (AUGI's). Apesar de apresentarem feições geomorfológicas similares, possuem hidroperíodos e, conseqüentemente, hidrodinâmicas superficiais e subsuperficiais muito variáveis. A aplicação de sensoriamento remoto de múltiplas fontes é essencial nas diferentes etapas de caracterização de dinâmica superficial. Dados de satélite contribuíram para a definição da série histórica de alagamento, enquanto os dados suborbitais de alta resolução espacial (ao longo de um ano) contribuíram para o entendimento de detalhe sazonal dos hidroperíodos. Combinadas, ambas as técnicas, conferem um caráter sistemático e amplo para as caracterizações hidrodinâmicas superficiais. O conjunto de dados climáticos foi de grande importância para dar coerência à caracterização do hidroperíodo e para validar os dados espectrais, o que possibilitou comparações entre precipitação, evapotranspiração e as respostas de imageamento superficial.

A aplicação da técnica de Eletrorresistividade permitiu entender a arquitetura de infiltração e a hidrodinâmica subsuperficial de uma área úmida. Foi observado que a área retém água superficial devido o substrato argiloso e a característica de aquitarde da Formação Corumbataí, de baixa condutividade hidráulica. Os períodos de estiagem e a evapotranspiração causam a redução do alagamento. A AUGI atua como um ponto de interação entre água superficial e subsuperficial, e contribui diretamente para manter a umidade do solo e alimentar drenagens próximas, bem como pode contribuir, mesmo que lentamente por meio de infiltração no aquitarde, na recarga do aquífero subjacente (aquífero Tubarão).

As AUGI's estão localizadas em regiões de agricultura consolidada, com intensa atividade há muitas décadas – principalmente cana-de-açúcar. Por isso, possuem alta sensibilidade ambiental devido às necessidades da aplicação de agroquímicos e fertilizantes nas áreas de cultivo, que muitas vezes são também as áreas de contribuição superficial e de escoamento de água meteórica para o centro das AUGI's. Devido ao tamanho destes ecossistemas, de apenas alguns hectares, a utilização de dados de alta resolução espacial se faz necessária para monitorar sutis alterações ou conversões inadequadas de uso e ocupação do solo. A AUGI Norte teve uma perda de área causada pela ação

humana de aproximadamente 12,27% entre outubro de 2019 e fevereiro de 2020. Também foi realizada a validação dos dados de alta resolução para a simulação de alagamento. A comparação entre a simulação de alagamento e o alagamento real apresentou uma variação de apenas de  $\pm 3,27\%$ , o que comprova as metodologias aqui aplicadas extremamente eficazes e com grande potencialidade de reaplicação em pequenos ecossistemas.

Os resultados deste estudo forneceram dados fundamentais sobre a caracterização e funcionamento das AUGI's e para discutir a gênese destes ecossistemas. Reconhecer a gênese das áreas úmidas envolve a abordar diversos e complexos fatores do meio físico, a aplicação do método multicritério proporcionou o entendimento sistematizado dos diferentes fatores ambientais e sua distribuição espacial. Foram identificados os fatores que têm maior influência nas correlações entre as áreas úmidas e as zonas de probabilidade de ocorrência das mesmas. Os resultados indicam uma forte correlação entre o contexto geológico, hidrogeológico e características estruturais das localidades em que se encontram as AUGI's. Dois complexos de áreas úmidas foram identificados: o primeiro, com gênese e evolução controladas principalmente por fatores geomórficos, com destaque para as correlações entre contexto geológico e hidrogeológico; e o segundo, principalmente controlado por características estruturais, com maior influência do nível de fraturamentos do substrato rochoso e do contexto hidrogeológico. Neste sentido, o método Multicritério por meio da técnica *Processo Analítico Hierárquico*, é eficaz na categorização de fatores que influenciam a gênese de ecossistemas. O desafio deste método é que, para que ele funcione, é necessário inserir uma quantidade de dados muito robusta, ou seja, o objeto de estudo precisa estar em fase avançada de conhecimento.

A partir deste estudo, além das contribuições técnico-científicas propostas inicialmente em seus objetivos, também é de relevância destacar a importância social e para a sustentabilidade do desenvolvimento econômico regional, fortemente dependente da agricultura, além do intenso crescimento urbano e industrial, que exercem pressão dos múltiplos usos da água. É importante sua ampla divulgação para a sociedade em geral, em especial as comunidades locais que vivem em regiões próximas às AUGI's, superficiários, gestores e demais partes interessadas. Uma forma de viabilizar essas conexões é através de projetos de governança que construam estratégias para uso sustentável destes ecossistemas. Ter como premissa que a importância de um ecossistema é senso comum não é procedente, por isso, a integração ativa de conhecimentos gerados por meio de alta tecnologia necessita ser difundida, para possibilitar de forma participativa o monitoramento,

preservação e gestão das áreas úmidas. Muitas vezes, embora já comprovado cientificamente, as partes interessadas não têm acesso à informação, e a negligência dos diferentes atores pode ser reflexo de uma dificuldade de acesso ao conhecimento especializado, e não de uma negligência proposital. Desta forma são propostas medidas protetivas na região das AUGI's, como a criação de legislações específicas que visem a criação de matas ciliares e a restrição de uso intensivo de agroquímicos e fertilizantes nas áreas de contribuição hídrica direta das AUGI's.

Apesar das técnicas aplicadas proporcionarem o entendimento da dinâmica de subsuperfície, a arquitetura profunda foi caracterizada inteiramente por dados indiretos. Desta forma, a eventual integração com dados de medidas diretas, físicas e químicas de subsuperfície, pode fornecer maiores detalhes acerca da hidrodinâmica e de sua integração com a paisagem local e regional. São recomendados como estudos futuros a análise de isótopos destas águas, a fim de traçar de forma mais assertiva os caminhos de fluxo e as contribuições ecossistêmicas a nível regional. Além disso, são recomendados estudos sistematizados em toda a Depressão Periférica, para que seja possível quantificar as AUGI's e mensurar sua contribuição ecossistêmica regional. Estes estudos devem ser voltados para a obtenção de métricas comparáveis em diferentes áreas, visando o delineamento rápido e tomadas de decisões ágeis pelas partes interessadas. Por fim, também são recomendados estudos que visem a criação de estratégias de difusão social do conhecimento acerca destes ecossistemas, como a inserção das AUGI's em projetos de governança ambiental.

Isoladamente, a quantificação de água superficial e caracterização dos processos hidrodinâmicos podem parecer numérica e significativamente pequenos, mas existem muitas AUGI's na Bacia do Rio Corumbataí, o que torna a contribuição deste ecossistema muito relevante para a manutenção hidrológica regional. Apesar de estarem isoladas geograficamente, em subsuperfície estão amplamente interconectadas com a dinâmica das paisagens.

## REFERÊNCIAS

- ABEM, A. I. *Terrameter LS Instruction Manual*. ABEM Instrument Sundbyberg, 2012. 122p.
- ACHIRO, J. *O Subgrupo Irati (Neopermiano) da Bacia do Paraná*. 1996. 182 f. Tese (Doutorado em Geologia). Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, IG/USP, 1996.
- ACREMAN, M. C.; MOUNTFORD, J. O. Wetland management. In *Handbook of Catchment Management* (19-50). Wiley-Blackwell, 2009.
- ALMEIDA, F. F. M. *Geological foundations of São Paulo relief*. São Paulo: Geographic and Geological Institute. Geology of the State of São Paulo, p. 167-263, 1964.
- ANDERSON, C. J.; LOCKABY, B. G. Seasonal patterns of river connectivity and saltwater intrusion in tidal freshwater forested wetlands. *River Research and Applications*, v. 28, n. 7, p. 814-826. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1002/rra.1489>.
- ARONOW, S. *Shoreline Development Ratio, Beaches and Coastal Geology*. Springer US, Boston, MA, pp. 754–755, 1982.
- BARKER, R. D. The offset system of electrical resistivity sounding and its use with a multicore cable. *Geophysical prospecting*, v. 29, n. 1, p. 128-143, 1981.
- CARRAZZA, L. P.; MOREIRA, C. A.; HELENE, L. P. I. Gully cavity identification through electrical resistivity tomography. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 34, n. 2, p. 241-250, 2016.
- 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*, v. 5, 100233, 2021.
- 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 Applied Geophysics* 177, p. 703–721, 2020. DOI: 10.1007/s00024-019-02351-9
- CAZENAVE, A.; MILLY, P.C.D.; DOUVILLE, H.; BENVENISTE, J.; KOSUTH, P.; LETTENMAIER, D.P. Space techniques used to measure change in terrestrial waters. *Eos Trans. AGU* 2004, 85, 59.
- CEPAGRI. Clima dos municípios paulistas. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br>> Acesso em: Set. de 2020.
- CHABOT, D.; HODGSON, A. J.; HODGSON, J. C.; ANDERSON, K. ‘Drone’: technically correct, popularly accepted, socially acceptable: Different fields use different terms, but by changing its title, this journal is advocating for the discontinuation of ‘unmanned’ and recognition



of ‘drone’ as an umbrella term for all robotic vehicles. *Drone Systems and Applications*. 10(1), 399-405. 2022.

CHANG, H.; MAKIDO, Y.; FOSTER, E. *Effects of land use change, wetland fragmentation, and best management practices on total suspended sediment concentrations in an urbanizing Oregon watershed*. *Journal of Environmental Management*, v. 282, p. 111962, 2021, 2021.

CLEARY, R. W. Águas subterrâneas. In: *Engenharia Hidrológica*. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ. Coleção ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos. vol. 2, cap. 5, p. 292-404, 1989.

COLLISCHONN, C.; DE LIMA, E.M.; RUIZ, L.F.C.; ARAUJO, T.D.; MATSUOKA, M.T. Posicionamento GNSS: Comparação entre coordenadas oficiais de estações da RBMC e as obtidas por PPP e posicionamento relativo e ajustamento. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto—SBSR*; INPE: João Pessoa, Brazil, 2015.

CÔRTEZ, A. R. P. *et al.* Geoelectrical prospecting for a copper-sulfide mineralization in the Camaquã sedimentary basin, Southern Brazil. *Geofísica internacional*, v. 55, n. 3, p. 165-174, 2016.

COSCIA, I.; LINDE, N.; GREENHALGH, S.; VOGT, T.; GREEN, A. Estimating travel times and groundwater flow patterns using 3D time-lapse crosshole ERT imaging of electrical resistivity fluctuations induced by infiltrating river water. *Geophysics*, 77, 239–250. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1190/geo2011-0328.1>

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Domínio Geológico Litoestratográfico do Estado de São Paulo na escala 1:750.000.- São Paulo, 2006.

CPRM- Serviço Geológico do Brasil. Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo: escala 1:1.000.000 - São Paulo, 2006

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. *Hidrología subterránea*. vol. 1, pp. 1005-1091. Barcelona: Omega, 1983

DAEE, IPT, CPRM. *Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo escala 1:1.000.000: nota explicativa*. São Paulo, 2005.

DANDOIS, J. P.; OLANO, M.; ELLIS, E. C. Optimal altitude, overlap, and weather conditions for computer vision UAV estimates of forest structure. *Remote Sensing*, 7(10), 13895-13920, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs71013895>

DE SOUZA, T. de A.; DE ANDRADE, R.V.; LUPINACCI, C. M. Análise Geomorfológica da Transição Cuestas-Depressão Periférica: A Alta Bacia do Rio Passa Cinco (SP) como estudo de caso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 02, p. 465-486, 2020.

DEGROOT-HEDLIN, C; CONSTABLE, S. Occam’s inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data. *Geophysics*, v. 55, n. 12, p. 1613-1624, 1990.

DESCARTES LABS. *Descartes Labs Platform and Marigold Interface*. Disponível em: <https://www.descarteslabs.com/>.

ETIENNE, D.; RUFFALDI, P.; GOEPP, S.; RITZ, F.; GEORGES-LEROY, M.; POLLIER, B.; DAMBRINE, E. The origin of closed depressions in Northeastern France: A new assessment. *Geomorphology*, v. 126, n 1-2, p.121-131, 2011.

EULISS, N.H.; LABAUGH, J.W. , FREDRICKSON, L.H. , MUSHET, D.M. , LAUBHAN, M.K. , SWAN-SON, G.A. , NELSON, R.D. The wetland continuum: a conceptual framework for interpreting biological studies. *Wetlands*, v. 24, n. 2, p. 448–458, 2004.

EULISS, N.H.; MUSHET, D.M. Impacts of water development on aquatic macroinvertebrates, amphibians, and plants in wetlands of a semi-arid landscape. *Aquat. Ecosyst. Health*. v. 7, n. 1, pp. 73–84, 2004.

FAMIGLIETTI, J.S.; CAZENAVE, A.; EICKER, A.; REAGER, J.T.; RODELL, M.; VELICOGNA, I. Satellites provide the big picture. *Science*, v. 349, p. 684–685, 2015.

FRIES, A.; SILVA, K.; PUCHA-COFREP, F.; OÑATE-VALDIVIESO, F.; OCHOA-CUEVA, P. Water balance and soil moisture deficit of different vegetation units under semiarid conditions in the andes of southern Ecuador. *Climate*. v. 8, n. 2, 30, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/cli8020030>.

FURLAN, L.M.; ROSOLEN, V.; MOREIRA, C.A.; BUENO, G.T.; FERREIRA, M.E. *The interactive pedological-hydrological processes and environmental sensitivity of a tropical isolated wetland in the Brazilian Cerrado*. SN Appl. Sci. v. 3, n. 2, p. 1–15, 2021.

FURLAN, L.M.; ROSOLEN, V.; SALES, J.; MOREIRA, C.; 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. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 8 (3), p. 224–244, 2020.

GANESAN, G.; RAINWATER, K.; GITZ, D.; HALL, N.; ZARTMAN, R.; HUDNALL, W.; SMITH, L. Comparison of Infiltration Flux in Playa Lakes in Grassland and Cropland Basins, Southern High Plains of Texas. *Texas Water Journal*. v. 7, n 1, p. 25–39, 2016.

GASTMANS, D. *Hidrogeologia e Hidroquímica do Sistema Aquífero Guarani na porção ocidental da Bacia Sedimentar do Paraná*. 2007. 194 f. Tese (Doutorado em xxx) – Programa de Pós-Graduação Geociências e Meio Ambiente, UNESP, 2007.

GILLIJNS, K.; POESEN, J.; DECKERS, J. On the characteristics and origin of closed depressions in loess-derived soils in Europe—a case study from central Belgium. *Catena*, v. 60, n.1, p. 43-58, 2005.

GEOTOMO SOFTWARE. Res2Dinv (v.3.54) for 98/ME/2000/NT/XP. Geoelectrical imaging 2D and 3D. 2003.

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*, v. 242, p. 11-20, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.02.021>

GRAVELIUS, H. *Grundrißder gesamten Gewässerkunde*, Band I: Flußkunde. (Copendium of Hydrology, vol. 1., Rivers [in German]), Göschen, Berlin, Germany, 1914.

GRIFFITHS, D. H.; BARKER, R. D. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *Journal of Applied Geophysics*, v. 29, n. 3-4, p. 211- 226, 1993.

HAYASHI, M.; VAN DER KAMP, G.; ROSENBERRY, D. O. Hydrology of prairie wetlands: understanding the integrated surface-water and groundwater processes. *Wetlands*, v. 36, n. 2, p. 237-254, 2016.

HELENE, L. P. I.; MOREIRA, C. A.; CARRAZZA, L. P. Applied geophysics on a soil contaminated site by chromium of a tannery in Motuca (SP). *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 34, n. 3, p. 309-317, 2016.

HERMAN, R. An introduction to electrical resistivity in geophysics. *American Journal of Physics*, v. 69, n. 9, p. 943-952, 2001.

HU, T.; LIU, J.; ZHENG, G.; ZHANG, D.; HUANG, K. Evaluation of historical and future wetland degradation using remote sensing imagery and land use modeling. *Land Degradation & Development*, v. 31, n 1, p. 65-80, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.3429>.

HUTCHINSON, G. E. *A treatise on limnology, vol. 1. Geography, Physics and Chemistry*. Wiley, 1957.

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

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT - Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo - escala 1:1.000.000. São Paulo. Divisão de Minas e Geologia Aplicada. 2v. (IPT, Série Monografias, 6), 1981.

JUNK, W.J.; PIEDADE, M.T.F.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; KANDUS, P.; LACERDA, L.D.; SCHÖN- GART, J. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquatic*, v. 24, p. 5–22, 2014.

JUNQUEIRA, D. A. *Princípios da governança ambiental na gestão de recursos hídricos com foco em áreas úmidas (AU's) na Depressão Periférica Paulista*, 2021.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. *An introduction to geophysical exploration*. John Wiley & Sons, 2002.

KELLER, G.V.; FRISCHKNECHT, F.C. *Electrical methods in geophysical prospecting*. Pergamon Press, Inc., Oxford, 1966.

KNODEL, K.; LANGE, G.; VOIFT, H.-J. *Environmental Geology – Handbook of Field Methods and Case Studies*. Germany: Springer, 2007, 1357p.

KOEPPEN, W. *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra* (No. QC861 K6), 1948.

KOFFLER, N.F. Carta de declividade da Bacia do Rio Corumbataí para análise digital (SIG). *Geografia*, v. 19, n.2, p. 197:182, 1994.

KOŁODYŃSKA-GAWRYSIAK, R; POESEN, J. Closed depressions in the European loess belt– Natural or anthropogenic origin?. *Geomorphology*, v. 288, p. 111-128, 2017.

KONTGIS, C.; WARREN, M. S.; SKILLMAN, S. W.; CHARTRAND, R.; MOODY, D. I. Leveraging Sentinel-1 time-series data for mapping agricultural land cover and land use in the tropics. In *2017 9th International Workshop on the Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images (MultiTemp)*, p. 1-4. IEEE, June, 2017.

LANDIM, P. M. B. O Grupo Passa Dois (P) na Bacia do Rio Corumbataí (SP). *Boletim. Divisão Geologia e Mineralogia/DNPM*, São Paulo, v. 252, 1970.

LAVINA, E. L. C.; FACCINI, U. F.; RIBEIRO, H. J. S. A. Formação Pirambóia (PermoTriássico) no Estado do Rio Grande do Sul. *Acta Geologica Leopoldensia*, v. 31, n. 1, p. 179–197, 1993.

LEIBOWITZ, S. G. Geographically isolated wetlands: why we should keep the term. *Wetlands*, v. 35, n. 5, p. 997-1003, 2015.

LI, N.; ZHOU, D.; DUAN, F.; WANG, S.; CUI, Y. (2010, June). Application of unmanned airship image system and processing techniques for identifying of fresh water wetlands at a community scale. In *2010 18th International Conference on Geoinformatics*, p. 1-5. June, 2010. IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/GEOINFORMATICS.2010.5567533>.

LOKE, M.H. *Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys*, 2004

LOWRIE, W. *Fundamentals of Geophysics*. Segunda edição. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 381p.

LOWRIE, W.; FICHTNER, A. *Fundamentals of geophysics*. Cambridge university press, 2020.

LUKO-SULATO, K.; ROSA, V.A.; FURLAN, L.M.; ROSOLEN, V. Concentration of essential and toxic elements as a function of the depth of the soil and the presence of fulvic acids in a wetland in Cerrado, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, v.193, n. 4, p.1-14, 2021.

LUPINACCI, C. M.; DE SOUZA, T. de A. Terraços fluviais como indicadores da dinâmica geomorfológica no Quaternário: estudo de caso na depressão periférica paulista. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 20, n. 2, 2019.

LYON, J. G.; LOPEZ, R. D.; LYON, L. K.; LOPEZ, D. K. *Wetland landscape characterization: GIS, remote sensing and image analysis*. CRC Press, 2001.

MELO, M. S. *A Formação Rio Claro e depósitos associados: sedimentação neoceno-zóica da Depressão Periférica Paulista*. 1995. 144 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-graduação. USP, 1995.

MELTON, J.R. ; WANIA, R.; HODSON, E.L.; POULTER, B.; RINGEVAL, B.; SPAHNI, R.; KAPLAN, J.O. Present state of global wetland extent and wetland methane modelling: conclusions from a model inter-comparison project (WETCHIMP). *Biogeosciences*, v. 10, n. 2 p. 753–788, 2013.

MESQUITA, M. da G. B. de F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. *Ciência Rural*, v. 34, p. 963-969, 2004.

MIDDLETON, B. A.; SOUTER, N. J. Functional integrity of freshwater forested wetlands, hydrologic alteration, and climate change. *Ecosystem Health and Sustainability*, v.2, n 1., 2016. e01200. DOI: <https://doi.org/10.1002/ehs2.1200>

MILANI, E. J. *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e o seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gonswana Sul-ocidental*. 1997. 255 f. Tese de Doutorado - Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação, 1997.

MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v. 15, n 2, p.265-287, 2007.

MOREIRA, C. A. *et al.* Electrical resistivity tomography (ERT) applied in the detection of inorganic contaminants in suspended aquifer in Leme city (Brazil). *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 35, n. 3, 2017.

MOREIRA, C. A. *et al.* Geoelectric Modeling Of Supergenic Manganese Occurrence In Heliadora Region, Southern Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 34, n. 3, p. 299-308, 2016.

MOREIRA, C. A. *et al.* Geoelectrical prospection of disseminated sulfide mineral occurrences in Camaquã sedimentary basin, Rio Grande do Sul state, Brazil. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 30, n. 2, 2012.

MOREIRA, C. A. *et al.* Geophysical modeling in gold deposit through DC Resistivity and Induced Polarization methods. *REM-International Engineering Journal*, v. 69, n. 3, p. 293-299, 2016.

MOREIRA, C. A. *et al.* Reassessment of Copper Mineral Occurrence Through Electrical Tomography and Pseudo 3D Modeling in Camaquã Sedimentary Basin, Southern Brazil. *Pure and Applied Geophysics*, p. 1-14, 2018.

MOREIRA, C. A.; ROSOLEN, V.; FURLAN, L. M.; BOVI, R. C.; MASQUELIN, H. Hydraulic conductivity and geophysics (ERT) to assess the aquifer recharge capacity of an inland wetland in the Brazilian Savanna. *Environmental Challenges*, v. 5, 100274, 2021.

MORGENSTERN, A.; GROSSE, G.; GÜNTHER, F.; FEDOROVA, I.; SCHIRRMESTER, L. Spatial analyses of thermokarst lakes and basins in Yedoma landscapes of the Lena Delta. *Cryosphere Discuss*, v. 5, p. 1495–1545, 2011.

MUSSETT, A. E.; KHAN, M. A. *Looking into the earth: an introduction to geological geophysics*. Nova Iorque: Cambridge University Press, 2000, 470 p.

OUÉDRAOGO, M. M., DEGRÉ, A., DEBOUCHE, C.; LISEIN, J. The evaluation of unmanned aerial system-based photogrammetry and terrestrial laser scanning to generate DEMs of agricultural watersheds. *Geomorphology*, v. 214, p. 339-355, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.02.016>

PAPA, F.; PRIGENT, C.; DURAND, F.; ROSSOW, W. B. Wetland dynamics using a suite of satellite observations: A case study of application and evaluation for the Indian Subcontinent. *Geophysical Research Letters*, v. 33, n.8, 2006.

PAPA, Fabrice; FRAPPART, Frédéric. Surface water storage in rivers and wetlands derived from satellite observations: a review of current advances and future opportunities for hydrological sciences. *Remote Sensing*, v. 13, n. 20, p. 4162, 2021.

PAPASTERGIADOU, E.S.; RETALIS, A. ; APOSTOLAKIS, A.; GEORGIADIS, T. Environmental monitoring of spatio-temporal changes using remote sensing and GIS in a Mediter- ranean wetland of Northern Greece. *Water Resources Management*, v. 22, p. 579–594 , 2008.

PCJ. *Relatório da situação dos recursos hídricos 2018: UGRHI 5 bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí*. Piracicaba: Fundação Agência das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí, 2018.

PENTEADO, M. M. *Geomorfologia do setor centro-ocidental da Depressão Periférica Paulista*. São Paulo: Instituto de Geografia/Universidade de São Paulo, 1976.

PETRI, S.; COIMBRA, A. M. Estruturas sedimentares das Formações Irati e Estrada Nova (Permiano) e sua contribuição para elucidação dos seus paleoambientes geradores, Brasil. *Actas*, v. 2, p. 353-371, 1982.

PINHEIRO, M. R.; QUEIROZ NETO, J. P. Neotectônica e evolução do relevo da região da Serra de São Pedro e do baixo Rio Piracicaba/Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 16, n. 4, p. 593-613, 2015. DOI: 10.20502/rbg.v16i4.668

PINHEIRO, M. R.; QUEIROZ NETO, J. P. Reflexões sobre a gênese da Serra Geral e da Depressão Periférica Paulista: o exemplo da Região da Serra de São Pedro e do baixo Piracicaba, SP. *Revista do Instituto Geológico*, v.3 5, n. 1, p. 47-59, 2014. DOI: 10.5935/0100-929X.20140004

RADAMBRASIL. Folhas SF23/24 Rio de Janeiro/Vitória, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, 1983.

RAMSAR. Country profiles, Brazil. Disponível em: <<https://www.ramsar.org/wetland/brazil>>. Acesso em: 20 jan. 2023.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. In situ measurement of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the  $\alpha$ -parameter using the Guelph permeameter. *Soil Science*, v. 140, n. 4, p. 292-302, 1985.

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 Science*, v. 136, n. 4, p. 250, 1983.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E.; CLOTHIER, B. E. The constant head well permeameter: effects of unsaturated flow. *Soil Science*, v.139, n.2, p.172-180, 1985.

RITZEMA, H. P. Determining the Saturated Hydraulic Conductivity (Oosterbaan RJ and Nijland HJ) In: HP Ritzema (Ed) *Drainage Principles and Applications*. p. 283-294, ILRI Publ, 16. 2006.

ROSA, F. T. G.; MOREIRA, C. A.; ROSOLEN, V.; CASAGRANDE, M.; BOVI, R. C.; FURLAN, L. M.; DOS SANTOS, S. F. Detection of aquifer recharge zones in isolated wetlands: comparative analysis among electrical resistivity tomography arrays. *Pure and Applied Geophysics*, 179(4), 1275-1294. 2022.

ROSOLEN, V.; DE OLIVEIRA, D.A.; BUENO, G.T. Vereda and Murundu wetlands and changes in Brazilian environmental laws: challenges to conservation. *Wetl. Ecol. Manag.*, v. 23, p. 285–292, 2015.

ROSOLEN, V.; BUENO, G. T.; MUTEMA, M.; MOREIRA, C. A.; JUNIOR, I. R. F.; NOGUEIRA, G.; CHAPLOT, V. (2019). On the link between soil hydromorphy and geomorphological development in the Cerrado (Brazil) wetlands. *Catena*, v. 176, p. 197-208, 2019.

ROSSI, M. *Mapa pedológico do estado de São Paulo: revisado e ampliado*. São Paulo: Instituto Florestal, 2017.

ROSSI, M. *Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado*. São Paulo: Instituto Florestal, v. 1, p. 118, 2017.

RUSSI, D.; TEN BRINK, P.; FARMER, A.; BADURA, T.; COATES, D.; FÖRSTER, J., ... DAVIDSON, N. (2013). The economics of ecosystems and biodiversity for water and wetlands. *IEEP, London and Brussels*, 78, 118p. 2013.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990.

SAATY, T. L. *Método de Análise Hierárquica*. Tradução de Wainer da Silveira e Silva, McGraw-Hill, Makron, São Paulo, SP, 1991.

SAATY, T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw Hill, 1980.

SANTAROSA, L. V.; GASTMANS, D.; SÁNCHEZ-MURILLO, R.; SANTOS, V. D.; BATISTA, L. V.; BETANCUR, S. B. Stable isotopes reveal groundwater to river connectivity in a mesoscale subtropical watershed. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, p. 1-18. 2021.

SAURO, U. Closed depressions in karst areas. In: *Encyclopedia of caves*. Academic Press, 2019. p. 285-300.

SCHNEIDER, R.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. D.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In *Congresso brasileiro de Geologia*. v. 28, p. 41-65. 1974.

SIAGAS. Disponível em:  
[http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe\\_poco.php?ponto=3500004099](http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe_poco.php?ponto=3500004099).

SINGH, M.; SINHA, R. Distribution, diversity, and geomorphic evolution of floodplain wetlands and wetland complexes in the Ganga plains of north Bihar, India. *351*, 106960, *Geomorphology* 2020.

ŚLEDŹ, S.; EWERTOWSKI, M.; PIEKARCZYK, J. Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) surveys and Structure from Motion photogrammetry in glacial and periglacial geomorphology. *Geomorphology*, 107620, 2021. DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107620>

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B. Aspectos regionais da estratigrafia da Bacia do Paraná no seu flanco nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, Aracaju. Anais... Aracaju: Sociedade Brasileira de Geologia, v. 1, p. 243-256. 1973.

SOIL MOISTURE CORP. *Guelph Permeameter: Operating Instructions*. Santa Bárbara, 1991.

STIBINGER, J. Examples of determining the hydraulic conductivity of soils. *Theory and applications of selected basic methods*, 2014.

TARGA, D.A.; MOREIRA, C.A.; CAMARERO, P.L.; CASAGRANDE, M.F.S.; ALBERTI, H.L.C. Structural analysis and geophysical survey for hydrogeological diagnosis in uranium



mine, Poços de Caldas (Brazil). *SN Applied Sciences* 1, 299, 2019. DOI: 10.1007/s42452-019-0309-7.

TELFORD, W. M. *et al. Applied geophysics. Cambridge university press*, 1990.

TINER, R. W. Geographically isolated wetlands of the United States. *Wetlands*, v. 23, n. 3, p. 494-516, 2003.

VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, GO. *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, p. 1-8. 2005.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F.; ALBUQUERQUE, P. C. G. Topodata: desenvolvimento da primeira versão do banco de dados geomorfométricos locais em cobertura nacional. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal, RN. *Anais...*, São José dos Campos, SP : INPE, 2009.

VAN DIJK, A. I.; BECK, H. E.; CROSBIE, R. S.; DE JEU, R. A.; LIU, Y. Y.; PODGER, G. M.; VINEY, N. R. The Millennium Drought in southeast Australia (2001–2009): Natural and human causes and implications for water resources, ecosystems, economy, and society. *Water Resources Research*, v. 49, n.2, p. 1040-1057, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1002/wrcr.20123>.

VANWALLEGHEM, T.; VAN DEN EECKHAUT, M.; POESEN, J.; GOVERS, G.; DECKERS, J. Spatial analysis of factors controlling the presence of closed depressions and gullies under forest: Application of rare event logistic regression. *Geomorphology*, v. 95, n. 3-4, p. 504-517, 2008.

VELOSO, D. I. K.; MOREIRA, C. A.; CÔRTEZ, A. R. P. Integration Of Geoelectrical Methods In The Diagnostic Ofa Diesel Contaminated Site In Santa Ernestina (SP). *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 33, n. 4, p. 667-676, 2016.

VEPRASKAS, M. J.; CRAFT, C. B. (Ed.). *Wetland soils: genesis, hydrology, landscapes, and classification*. CRC press, 2016.

VERPOORTER, C.; KUTSER, T.; TRANVIK, L. Automated mapping of water bodies using Landsat multispectral data. *Limnol. Oceanogr. Methods*, v. 10, n. 12, p. 1037–1050, 2012.

VIEIRA, L. B. *et al.* Geophysical modeling of the manganese deposit for Induced Polarization method in Itapira (Brazil). *Geofísica internacional*, v. 55, n. 2, p. 107-117, 2016.

VIEIRA, P. C. Hipótese sobre a origem da Depressão Periférica Paulista. *Revista do Instituto Geológico*, v. 3, n. 2, p. 61-67, 1982. DOI: 10.5935/0100-929X.19820008

ZAINE, J. E. *Mapeamento geológico–geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)*. Aleph, 2000.

ZAINE, J. E. *Geologia da Formação Rio Claro na folha Rio Claro*. São Paulo, 1995.