

## AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE ÁREA ÚMIDA LOCALIZADA NA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ (SP) - BRASIL

### WATER QUALITY ASSESSMENT OF WETLAND LOCATED IN THE CORUMBATAÍ RIVER BASIN (SP) – BRAZIL

André Luís REIS BACHA<sup>1</sup>, Diego de Souza SARDINHA<sup>2</sup>, Vânia Silvia ROSOLEN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Programa de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente. Câmpus de Rio Claro. Av. 24-A, 1515. Rio Claro – SP.

E-mails: alrbacha@gmail.com; vaniarosolen@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Alfenas, Instituto de Ciência e Tecnologia. Câmpus de Poços de Caldas. Rodovia José Aurélio Vilela, 11999 – Cidade Universitária. Poços de Caldas - MG. E-mail: diegosouzasardinha@gmail.com

Introdução  
Área de estudo e uso do solo  
Materiais e métodos  
  Instalação dos poços  
  Campanha de amostragem  
  Caracterização hidroquímica e dados climatológicos  
Resultados e Discussões  
  Dados climáticos e nível freático  
  Parâmetros físicos e químicos  
  Parâmetros hidroquímicos  
  Relações hidroquímicas e análise dos componentes principais (PCA)  
Conclusões  
Agradecimentos  
Referências

**RESUMO** – Depressões topográficas isoladas localizadas em interflúvios que acumulam água da chuva e possuem nível freático elevado são ambientes de elevada relevância hidrológica e hidroquímica. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a hidroquímica de uma área úmida geograficamente isolada (AUGI) circundada por cultivo de cana-de-açúcar, localizada na Bacia do Rio Corumbataí, por meio de análise laboratorial. Foram instalados quatro poços (P) de monitoramento na AUGI, coletados bimensalmente amostras de água e mensurados o nível freático e os parâmetros físicos e químicos (in situ). As águas apresentaram elevados valores de Ce e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> mesmo nos períodos de chuva. Foram encontradas concentrações de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, especialmente no P4 em setembro/2021. Estes elementos não pertencem aos constituintes essenciais dos minerais da Formação Rio Claro, que sustenta a AUGI, podendo ser encontrados na constituição de fertilizantes (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>) e condicionadores do solo (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), alguns associados aos cátions K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> ou como desagregadores de grânulos de fertilizantes (NaHCO<sub>3</sub>). A análise de PCA indicou que P2 e P4 são, possivelmente, os mais impactados e a água da chuva pode ser o principal elemento de controle químico das águas da AUGI.

**Palavras-chave:** Depressões topográficas isoladas. Hidroquímica. Uso e ocupação da terra.

**ABSTRACT** – Isolated topographic depressions located in interfluves that accumulate rainwater and have a high water table are environments of high hydrological and hydrochemical relevance. The objective of this research was to evaluate the hydrochemistry of a geographically isolated wetland (GIW) surrounded by sugarcane crops, located in the Corumbataí River Basin, through laboratory analysis. Four monitoring wells (P) were installed in the GIW, water samples were collected bimonthly and the water table and physical and chemical parameters were measured (in situ). The waters presented high values of Ce and HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> even during rainy periods. Concentrations of PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> were found, especially in P4 in September/2021. These elements do not belong to the essential constituents of the minerals of the Rio Claro Formation, which supports the GIW, and can be found in the composition of fertilizers (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>) and soil conditioners (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), some associated with the cations K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> or as disintegrants of fertilizer granules (NaHCO<sub>3</sub>). The PCA analysis indicated that P2 and P4 are possibly the most impacted and rainwater may be the main element of chemical control of the GIW waters.

**Keywords:** Isolated topographic depressions. Hydrochemistry. Land use and occupation.

## INTRODUÇÃO

As áreas úmidas (AUs) são ecossistemas de interface terrestre e aquática localizadas no interior dos continentes (AUs interiores) ou nas faixas costeiras (AUs costeiras). Internacionalmente, são conhecidas como *natural wetlands*, sendo que no Brasil mais de 90% das AUs estão distribuídas no interior do país, em áreas onde o relevo favorece o acúmulo de água proveniente das precipitações.

A hidrologia e a cobertura vegetal dessas formações refletem a diversidade climática e botânica do território brasileiro, influenciando na sua terminologia popular (pântano, lagoa, vargem, vereda, dentre outros) (Cunha et al., 2015).

As áreas úmidas geograficamente isoladas (AUGIs) são AUs formadas em depressões topográficas circundadas por topografias mais

elevadas e não possuem conexão visível com outros corpos hídricos superficiais. O seu isolamento se refere a uma perspectiva geográfica, mas não ecológica ou hidrológica, pois estas formações apresentam conectividade com a paisagem, seja por meio de fluxos subsuperficiais de água, por meio da evapotranspiração ou também pelas interações entre os elementos da biota (Tiner et al., 2002; Tiner, 2003).

As AUGIs atuam como reservatórios que recebem grandes volumes de água de chuva, seja diretamente ou através do escoamento superficial e subsuperficial, realizando um amortecimento hidrológico local, onde a água acumulada é liberada gradualmente por infiltração ou evapotranspiração, no decorrer do tempo (Janse et al., 2019). Além de reter um importante volume de água, as AUGIs influenciam na regulação do microclima, na retenção do carbono, no suporte às espécies da fauna, e no auxílio às comunidades locais (Cohen et al., 2016).

A conversão do uso da terra é o principal fator de pressão exercido sobre as AUGIs, tornando-as vulneráveis ao constante aporte de insumos químicos (e.g. fosfato, nitratos, sulfatos) provenientes da intensa atividade agrícola (Smolders et al., 2010). A capacidade que uma AUGI tem em reter poluentes, sedimentos e nutrientes depende, pelo menos parcialmente, do grau de exposição em que ela se encontra diante dos fluxos hidro-

lógicos, biogeoquímicos e biológicos oriundos de paisagens agrícolas, florestais ou urbanas (Marton et al., 2015). De acordo com Fischer & Acreman (2004), a capacidade de retenção e processamento de nutrientes e contaminantes realizados em uma AUGI pode ficar comprometida com o aumento da descarga desses elementos provenientes da paisagem circundante. Nichols (1983) observou que, com baixo volume de carga, as AUs têm a capacidade de remover grande parte do fósforo recebido, e continuar a fazê-lo por muitos anos. No entanto, à medida que o volume de carga aumenta, a eficiência da remoção de fósforo diminui rapidamente.

Na bacia do Rio Corumbataí, localizada na Depressão Periférica Paulista (Estado de São Paulo), encontram-se várias AUGIs cujos volumes de água são influenciados pela sazonalidade climática. Muitas destas AUGIs estão inseridas em matriz antrópica de intensa atividade agrícola (cana-de-açúcar) e de mineração (argila), além de estarem situadas numa região de forte pressão sobre os recursos hídricos.

Por serem ambientes que acumulam águas pluviais, essas formações passam a estar vulneráveis à conversão indiscriminada do uso do solo. Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa é avaliar a hidroquímica de uma AUGI localizada em área de cultivo de cana-de-açúcar, através da coleta de amostras de água e análise laboratorial.

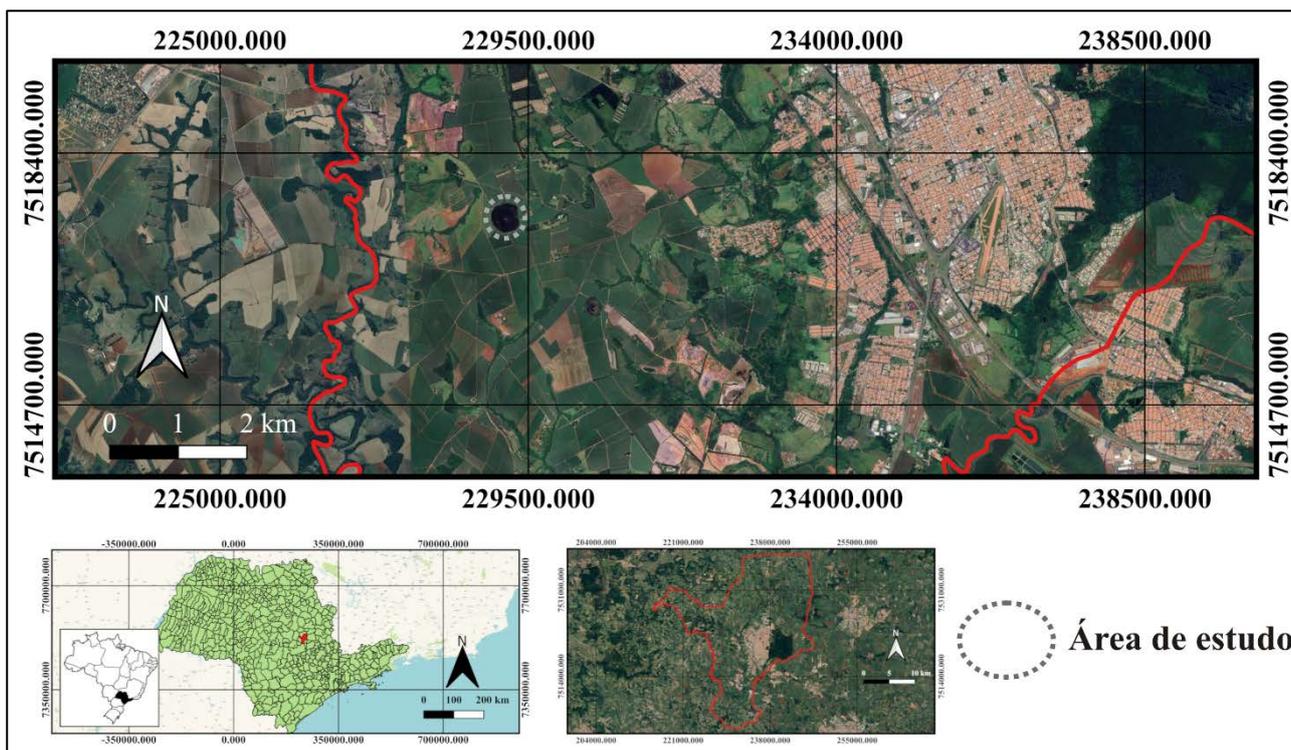
## ÁREA DE ESTUDO E USO DO SOLO

A AUGI deste estudo está localizada na bacia do Rio Corumbataí, na região centro-oeste do Estado de São Paulo (Brasil), na zona rural (Campo do Cocho) do município de Rio Claro (Figura 1). Encontra-se na longitude UTM 229.169 (47°37'52" W) e na latitude UTM 7.517.418 (22°25'41" S).

Na bacia do Rio Corumbataí as AUGIs estão presentes sobre várias litologias. Dominam as litologias pertencentes ao Grupo Tubarão (formações Itararé e Tatuí) do período Carbonífero, Grupo Passa Dois (formações Irati e Corumbataí) do período Permiano, Grupo São Bento (arenitos das formações Piramboia e Botucatu e basaltos da Formação Serra Geral) dos períodos Jurássico e Cretáceo. No topo encontra-se a Formação Rio Claro composta por arenitos do período Neógeno, além de depósitos continentais e aluviais do período Quaternário (Zaine, 1994). Na área de estudo, a AUGI encontra-se sobre a Formação Rio Claro, sendo

esta composta por arenitos, arenitos conglomeráticos, arenitos argilosos, e argilitos avermelhados ou brancos (Björnberg & Landim, 1966; CEAPLA, 2001). Segundo Ferreira (2005), o arenito que representa a Formação Rio Claro é composto por grãos de quartzo, goethita, caulinita, gibsitita, mica, hematita, evidências de sepiolita, proporções ínfimas de feldspatos e interestratificados esmectíticos.

A bacia do Rio Corumbataí está inserida na província da Depressão Periférica, sendo que uma pequena parte da bacia se encontra na província das Cuestas Basálticas (Zaine, 1994). Trata-se de uma unidade morfoestrutural que ocupa áreas altimétricas entre 500 e 650 metros, com predomínio de colinas de topo amplo, tabulares e convexos, declividades baixas a moderada cobertas por uma densa rede de drenagem, de padrão dendrítico e condicionadas por fraturas e corpos intrusivos (Penteado, 1976; Ross & Moroz, 1997)



**Figura 1** - Localização da área de estudo (Adaptado de Google Earth, 2024).

A bacia do Rio Corumbataí está inserida na província da Depressão Periférica, sendo que uma pequena parte da bacia se encontra na província das Cuestas Basálticas (Zaine, 1994). Trata-se de uma unidade morfoestrutural que ocupa áreas altimétricas entre 500 e 650 metros, com predomínio de colinas de topo amplo, tabulares e convexas, declividades baixas a moderada cobertas por uma densa rede de drenagem, de padrão dendrítico e condicionadas por fraturas e corpos intrusivos (Penteado, 1976; Ross & Moroz, 1997).

A zona rural do Campo do Cocho é representada por colinas tabuliformes, com interflúvios extensos e aplainados, sem divisor de águas ou linhas de cumeada bem definidas, sendo comum a presença de AUs ligadas às cabeceiras ou AUs isoladas em topos planos (Penteado-Orellana, 1981). A AU estudada está localizada em altitude de 619 metros, constituindo uma depressão topográfica interfluvial que possibilita acumular água de chuva e receber o aporte de água superficial e subsuperficial do seu entorno. Dessa forma, seu regime de alagamento e extensão da área alagável variam de acordo com o volume de chuva no período hidrológico.

O clima regional foi classificado por Ab' Saber (1956) como Cwa (clima tropical úmido), e por Penteado (1966) como Aw (clima tropical chuvoso com chuvas no verão). Monteiro (1973) considera o clima da região como sendo caracte-

terizado por uma moderada precipitação, e controlado pelas correntes de circulação tropical atlântica, tropical continental e polar atlântica. Em relação à distribuição sazonal das chuvas, a estação seca se inicia em abril e termina em setembro, enquanto a estação chuvosa tem início em outubro e perdura até março.

Com relação à precipitação na região de Rio Claro, tendo por base os dados da série histórica de 30 anos (1991 a 2022), o ano com maior volume de chuva foi 2011, com pluviosidade de 1.897 mm, e o menor volume foi em 2014, com 891 mm de chuva. Para a temperatura, considerando o período de 2011 a 2022, a maior média foi em janeiro de 2015, com 26,3 °C, e a menor em julho de 2021, com 15,3 °C (CEAPLA, 2023).

Quanto a hidrografia, a bacia do Rio Corumbataí está localizada na porção centro-oeste do Estado de São Paulo, e faz parte do grupo da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 5, sendo esta composta pela bacia do PCJ (Piracicaba, Capivari e Jundiá). A bacia do Rio Corumbataí é uma sub-bacia do Rio Piracicaba, estando localizada na sua margem direita e sendo formada por três afluentes principais: rio Passa Cinco, rio Cabeça, e Ribeirão Claro (Koffler, 1994). A AUGI do Cocho encontra-se no interflúvio entre os rios Cabeça e Corumbataí.

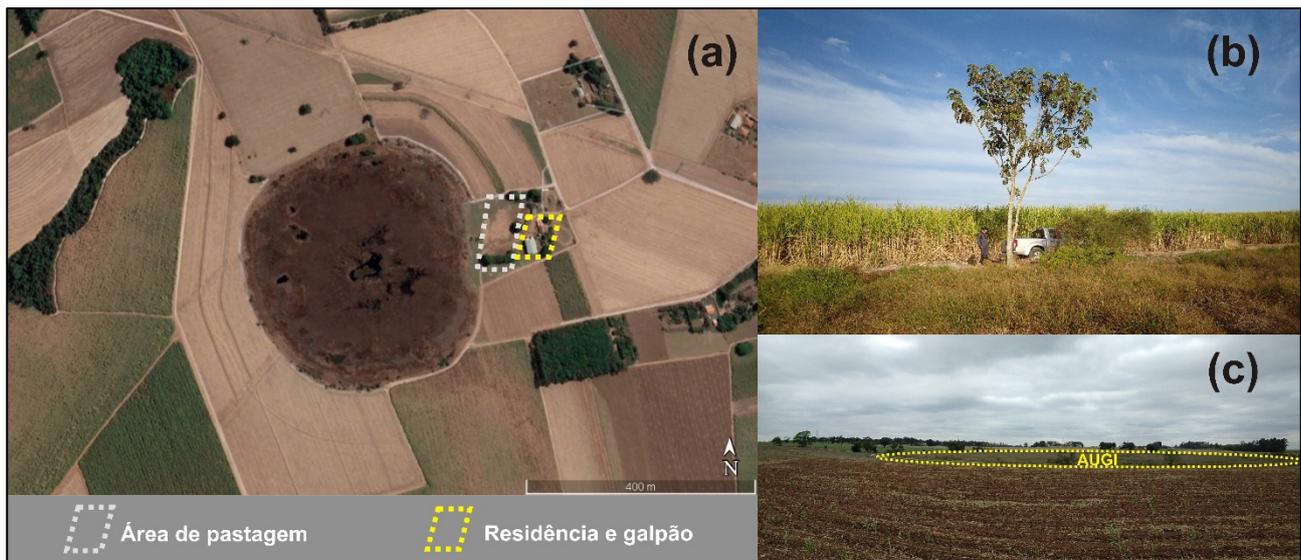
A cobertura pedológica da região é formada por latossolos vermelho-amarelos de textura média e com profundidades de até 12 metros.

Estes solos ocorrem nos topos dos grandes interflúvios tabuliformes e correspondem ao solo de alteração da Formação Rio Claro. Além dos latossolos, são encontrados também solos hidromórficos (Prado et al., 1981). Com relação à vegetação predominante, a bacia do Rio Corumbataí está inserida numa área de transição entre os biomas Mata Atlântica e Cerrado.

A área de estudo está inserida numa região economicamente desenvolvida do Estado de São Paulo, com atividades industriais e agrícolas dinamizadas. A zona rural é formada por extensas

áreas de pastagens e pelo predomínio da monocultura de cana-de-açúcar. De acordo com Junqueira (2021), na bacia do Rio Corumbataí as lavouras e as atividades de mineração invadem as AUs pelas suas bordas, gerando perda gradual (cumulative loss) do espaço ocupado e expondo estes ecossistemas à contaminação oriunda das atividades agrícolas.

O entorno da AUGI é topograficamente mais elevado e encontra-se ocupado por cultivo de cana-de-açúcar, residência, galpão e área de pastagem. (Figura 2).



**Figura 2** - a) Entorno da AUGI preparado para nova lavoura (satélite Google Earth, agosto 2021). b) Lavoura de cana no entorno imediato da AUGI (foto tomada de dentro da AUGI, em maio de 2022). c) Entorno topograficamente mais elevado da AUGI (esta delimitada em amarelo), com o solo preparado para nova safra (foto tomada em setembro de 2022).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Instalação dos poços

Os trabalhos de campo para instalação dos poços de monitoramento e coleta de água foram realizados em 21 de julho de 2021. Foram perfurados quatro pontos (P1, P2, P3 e P4) na borda da AUGI, com uso de trado manual e tomadas suas coordenadas (Tabela 1).

A profundidade máxima atingida nos quatro poços foi de 160 cm, sendo o processo interrom-

pido devido a presença de material rochoso consolidado.

Para a instalação dos poços foram utilizados canos de PVC de 50 mm de diâmetro com dois metros de comprimento. Nas duas extremidades foram utilizados tampões de PVC, e numa das extremidades foram feitos vários furos de aproximadamente 2 mm de diâmetro, para a captação da água.

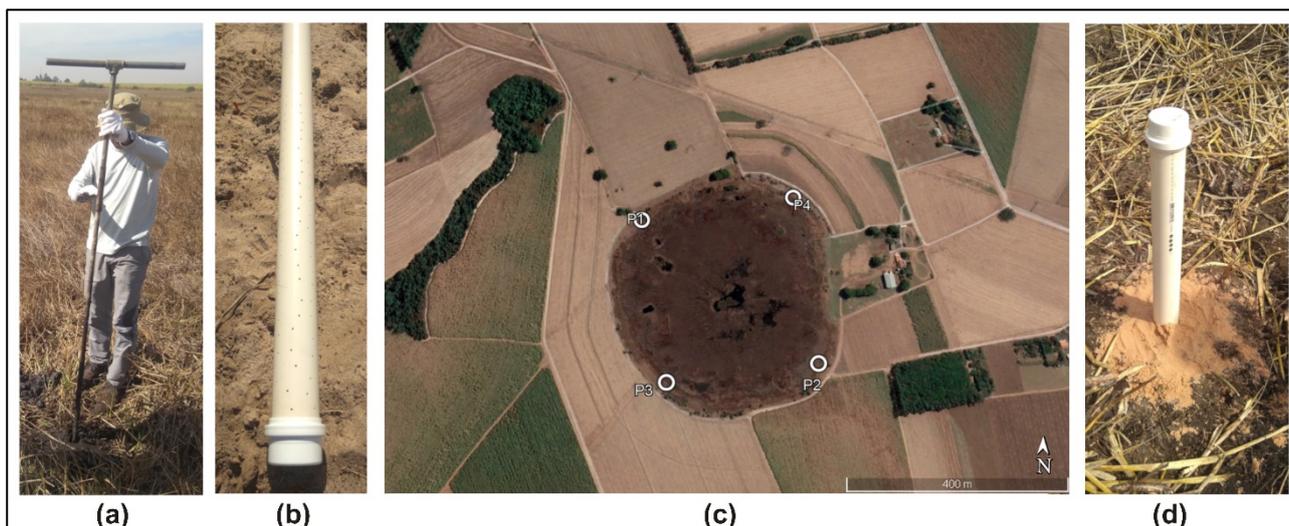
**Tabela 1** - Dados de localização dos poços de amostragem.

Poço	Latitude (S)	Longitude (W)	Cota (m)	Quadrante
P1	22°25'35.43"	47°37'57.84"	619	Noroeste
P2	22°25'44.30"	47°37'45.98"	619	Sudeste
P3	22°25'45.69"	47°37'55.94"	620	Sudoeste
P4	22°25'33.68"	47°37'47.46"	619	Nordeste

A extremidade contendo os furos foi recoberta por tecido permeável, a fim de se evitar a entrada de partículas sólidas. Os canos foram alocados nas perfurações e selados com bentonita, com o

propósito de se evitar a infiltração da água oriunda do escoamento superficial (Figura 3)

Dois dias após a instalação dos quatro poços, foi realizada a retirada da água do seu interior



**Figura 3** - a) Abertura dos poços com trado manual. b) Furos de 2 mm e tampão colocado na extremidade do tubo de PVC. c) Localização dos poços instalados no entorno da AUGI. Satélite Google Earth, agosto/2021. d) Poço selado

(purga) para fins de limpeza e verificação da sua funcionalidade. A partir daí, os poços passaram a ser purgados no dia anterior ao da coleta das amostras. Tal procedimento visou obter uma água com uma hidroquímica representativa.

#### Campanha de amostragem

Durante as campanhas de amostragem, a medida do nível freático foi realizada no dia anterior ao da coleta das amostras de água, utilizando uma

trena metálica. Após o procedimento, a água do poço era purgada. No dia seguinte, era efetuado a mensuração dos parâmetros físicos e químicos e coletada amostras através de um amostrador bailer de 96 cm de comprimento e 40 mm de diâmetro, alçado por fio de nylon de 3 mm, que permitia o acesso ao poço (Figura 4). Para cada poço foi utilizado um bailer, para não haver mistura entre as águas.



**Figura 4** - a) Equipamento de mensuração *in situ* dos parâmetros físicos e químicos. b) Amostrador bailer contendo amostra de água retirada do poço durante a campanha.

Os parâmetros físicos e químicos mensurados *in situ* foram realizados empregando um medidor multiparâmetro Pro2030 (YSI), previamente calibrado em laboratório para condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos, com solução padrão de KCl (1,0 mmol/L) de condutividade elétrica conhecida (147  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 25°C) e oxigênio

dissolvido em solução de sulfito de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) < 0,1 mg/L de  $\text{O}_2$ . Os limites de detecção são: -5 a 55°C  $\pm$  0,3°C para temperatura; 0 a 20 mg/L  $\pm$  0,2 mg/L para oxigênio dissolvido; 0 a 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$   $\pm$  1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para condutividade elétrica; 0 a 100 g/L  $\pm$  0,1 g/L para sólidos totais dissolvidos. Para o pH, foi utilizado o pHmetro

portátil Kasvi K39-0014PA, calibrado em laboratório para pH 4,00 ( $4,01 \pm 0,01$  a  $25 \pm 0,2$  °C) e 7,00 ( $7,01 \pm 0,01$  a  $25 \pm 0,2$  °C) de 0 a 14 unidades de pH  $\pm 0,1$ .

As campanhas de coleta de água tiveram uma frequência bimensal abrangendo os meses de setembro/2021, novembro/2021, janeiro/2022, março/2022, e maio/2022, compreendendo assim, os períodos de estiagem e chuva. O processo de amostragem foi realizado utilizando luva látex para evitar contato direto com o bailer e a água coletada. O bailer ao ser retirado do poço tinha sua água despejada em vasilhame de polietileno opaco branco, previamente lavado com água deionizada, ácido clorídrico (0,1 M) e três enxagues com água deionizada. Os frascos foram rinsados com água do poço e, após a coleta, acondicionados em caixa térmica contendo gelo ( $\sim 4^\circ\text{C}$ ).

### **Caracterização hidroquímica e dados climatológicos**

Ao final da campanha, as amostras eram transportadas dentro de recipiente térmico contendo gelo para o Laboratório de Ecossistemas Aquáticos e Solos (LEAS) no campus de Poços de Caldas (MG) da Universidade Federal de Alfenas (MG), para análise dos teores de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  e  $\text{Cl}^-$ , seguindo as orientações da ABNT/NBR9898 (ABNT, 1987).

Ao chegarem no laboratório, as amostras foram armazenadas em refrigerador até o momento da sua análise química.

As amostras foram filtradas utilizando micro-filtro de fibra de vidro, modelo GF-1 de 47 mm de diâmetro e  $0,7 \mu\text{m}$  de abertura acoplado entre um sistema kitassato e bomba a vácuo. A alcalinidade ( $\text{HCO}_3^-$ ) foi determinada pelo método titulométrico, titulação com ácido sulfúrico 0,02 N para a faixa de concentração entre 1,0 e  $500 \pm 1,7$  % (APHA, 2017). As concentrações de  $\text{CO}_3^{2-}$  foram realizadas através da subtração de  $\text{H}^+$  em  $\text{HCO}_3^-$ .

Para cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) foi utilizado o método argentométrico ou método de Mohr com titulação em solução padrão de nitrato de prata 0,0141M para a faixa de concentração entre 0,0 e

$100 \pm 1,7$  % (APHA, 2017).

Os teores de sódio e potássio foram determinados por Fotômetro de Chama MOD. 910 MS (padrão de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  de 20 e 100 ppm) resolução de  $1,0 \text{ ppm} \pm 0,1 \text{ ppm}$  (Analyser, 2010).

As análises de cálcio e magnésio (método colorimétrico calmagita 0,0 a 4,00 mg/L,  $\text{Ca}^{2+} \pm 0,09 \text{ mg/L}$  e  $\text{Mg}^{2+} \pm 0,08 \text{ mg/L}$  com  $\text{CaCO}_3$ ), nitrato  $\text{NO}_3^-$  (método de redução de cádmio 0 a  $5,0 \pm 0,2 \text{ mg/L}$ ), fosfato  $\text{PO}_4^{3-}$  (método do ácido ascórbico de 0 a  $2,5 \pm 0,05 \text{ mg/L}$ ), sulfato  $\text{SO}_4^{2-}$  (método sulfaver4 0 a  $70 \text{ mg/L} \pm 0,5 \text{ mg/L}$ ) foram quantificados por espectrofotômetro modelo DR 890 da Hach Company (Hach, 2013). Para os resultados acima da faixa de concentração, foram realizadas técnicas de diluição de amostras (Hach, 2013). Para a  $\text{SiO}_2$ , foi aplicado o método do silício molibdato de 1,0 a  $100 \text{ mg/L} \pm 0,1 \text{ mg/L}$ , realizado no espectrofotômetro modelo DR 2800 da Hach Company (Hach, 2007).

Após a mensuração do  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$ , foi efetuado o cálculo para a determinação da dureza total, que representa a soma de todos os íons de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  presentes na água, conforme a Equação (1).

$$DT = Ca.2,5 + 4,1.Mg \quad (1)$$

Os dados climatológicos (precipitação, evapotranspiração, temperatura) foram produzidos pela Estação Meteorológica do Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA/IGCE/UNESP). Para o cálculo da evapotranspiração e do balanço hídrico, foram considerados os dados dos anos de 2021 e 2022. A evapotranspiração foi calculada através da soma dos valores diários, obtendo assim, os valores para cada mês do ano. Já o balanço hídrico foi obtido por meio da subtração do valor da precipitação mensal acumulada com o valor da evapotranspiração mensal acumulada.

Os dados hidroquímicos foram analisados por meio de planilha de cálculo e do software livre Qualigraf 2014, enquanto a análise dos componentes principais (PCA) foi realizada através do software livre Past4.03. A edição das imagens foi realizada no programa QGIS 3.34.6.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **Dados climáticos e nível freático**

De acordo com os dados climáticos fornecidos pelo CEAPLA (2023), no município de Rio Claro, o volume total de chuva em 2021 foi de 1158,3 mm, e em 2022, 1492,1 mm. Para o

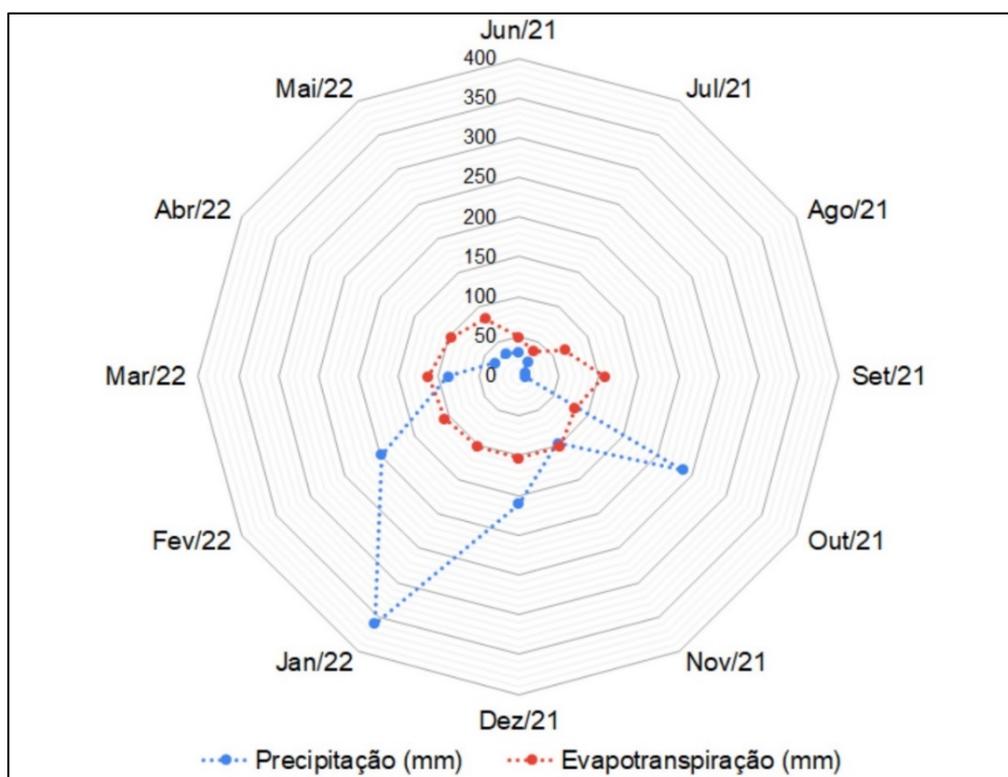
período da campanha de amostragem (Tabela 2), os meses de outubro/21, dezembro/21, janeiro/22, e fevereiro/22 apresentaram as maiores precipitações, com destaque para outubro (236,1 mm) e janeiro (359,6 mm).

**Tabela 2** - Dados climáticos da região de Rio Claro. Fonte: CEAPLA (2023).

<b>Dados climáticos para o período da campanha de amostragem (ano 2021-2022)</b>				
Mês/ano	Temp. média (° C)	Precipitação (mm/mês)	Evapotranspiração (mm/mês)	Balanco Hídrico (mm)
<b>Jun/21</b>	17,40	30,50	49,00	-18,50
<b>Jul/21</b>	15,30	21,40	36,00	-14,60
<b>Ago/21</b>	19,70	9,00	66,20	-57,20
<b>Set/21</b>	24,00	7,40	106,60	-99,20
<b>Out/21</b>	21,40	236,10	80,80	155,30
<b>Nov/21</b>	23,60	97,50	102,30	-4,80
<b>Dez/21</b>	23,70	160,90	103,40	57,50
<b>Jan/22</b>	23,90	359,60	102,39	257,21
<b>Fev/22</b>	24,50	197,90	107,05	90,85
<b>Mar/22</b>	25,00	88,00	113,51	-25,51
<b>Abr/22</b>	22,50	33,70	97,59	-63,89
<b>Mai/22</b>	18,10	32,50	83,60	-51,10
<b>Total acumulado</b>		<b>1274,50</b>	<b>1048,44</b>	<b>226,06</b>

Os meses que ocorreram excedente hídrico (precipitação maior que evapotranspiração) foram outubro/2021, dezembro/2021, janeiro/2022 e fevereiro/2022. Já os meses onde prevaleceram o

déficit hídrico (evapotranspiração maior que precipitação) foram junho, julho, agosto, setembro e novembro de 2021, março, abril, e maio de 2022 (Figura 5).



**Figura 5** - Gráfico de precipitação/evapotranspiração do período de amostragem (Dados: CEAPLA, 2023).

Com relação à temperatura, a média mínima foi de 15,3° C em julho/2021, e a média máxima foi de 25° C em março/2022. Os meses que apresentaram as maiores médias nas temperaturas (setembro/2021, novembro/2021, dezembro/2021, janeiro/2022, fevereiro/2022 e março/2022) foram os mesmos meses que apresentaram os maiores volumes de evapotranspiração.

O nível freático variou em cada campanha de amostragem (Tabela 3). Por consequência dos

maiores volumes de chuva, o freático no poço P1 atingiu o nível topográfico da superfície durante a campanha de janeiro/2022. Em novembro/2021 e março/2022, o nível ficou, respectivamente, 0,16 m e 0,12 m abaixo da superfície topográfica. Em setembro/2021 e maio/2022, período de estiagem, o nível freático ficou abaixo da superfície em 1,04 m e 0,46 m, respectivamente, representando o resultado do balanço hídrico negativo acumulado nos meses anteriores (Tabela 2).

**Tabela 3** - Nível freático dos poços durante as campanhas de amostragens.

Campanha	P1	P2	P3	P4
	NF (m)	NF (m)	NF (m)	NF (m)
1ª (estiagem) 23/09/2021	1,04	0,98	1,10	1,22
2ª (chuva) 15/11/2021	0,16	0,28	(-) 0,27	(-) 0,17
3ª (chuva) 26/01/2022	*0,00	(-) 0,22	0,25	*0,00
4ª (chuva) 23/03/2022	0,12	(-) 0,25	0,26	(-) 0,05
5ª (estiagem) 27/05/2022	0,46	0,76	0,81	0,61
Média	0,36	0,31	0,43	0,32
Desvio Padrão	0,42	0,56	0,53	0,59

NF: Nível Freático; m: metros; \* nível freático ficou no limite da superfície topográfica; (-) água ficou acima da superfície topográfica.

No poço P2, a água ficou a 0,22 e 0,25 m acima da superfície em janeiro/2022 e março/2022, caracterizando o alagamento típico das AUs nos períodos de chuva. Em setembro/2021 (estiagem), o nível freático ficou a 0,98 m. Em P3, a água ficou a 0,27 m acima da superfície topográfica em novembro/2021 e a 1,10 m de profundidade em setembro/2021. Já P4 ficou encharcado em janeiro/2022, e com água acima da superfície em novembro/2021 (0,17 m) e março/2022 (0,05 m). Em setembro/2021 o nível freático foi o mais profundo, com 1,22 m de profundidade.

Os valores do desvio padrão (P1=0,42, P2=0,56, P3=0,53 e P4=0,59) mostram uma dispersão em relação à média (P1=0,36m, P2=0,31m, P3=0,43m e P4=0,32m), indicando variabilidade no nível freático dos poços. A sazonalidade do nível freático acompanha as condições climáticas, e estas exercem um importante papel na disponibilidade hídrica da AUGI do Cocho (Tabelas 2 e 3).

Esta condição também foi observada por Franco et al. (2024) em estudos realizados numa AUGI da zona rural do município de Cordeirópolis (SP), em poços com profundidade variando entre 1,90 m a 3,80 m. De acordo com Junk et al. (2014), as AUs interiores são muito variáveis no que diz respeito aos seus aspectos hidrológicos e as precipitações exercem grande influência nestes ecossistemas, onde o maior volume de precipitação durante a estação chuvosa leva a inundações periódicas de áreas planas interfluviais ou mesmo ao preenchimento periódico de água em depressões, resultando em formações encharcadas ou alagadas.

#### Parâmetros físicos e químicos

Os resultados dos parâmetros físicos e químicos analisados mostraram variação entre os períodos de estiagem e chuva, bem como diferenças de concentrações entre cada poço amostrado (Tabela 4).

**Tabela 4** - Parâmetros físicos e químicos medidos *in situ* durante as campanhas de amostragem.

Poço	Campanha	T (°C)	OD (mg/L)	Ce (µS/cm)	STD (mg/L)	pH
P1	1ª 23/09/2021 (estiagem)	19,7	0,30	33,20	24,00	5,3
	2ª 15/11/2021 (chuva)	21,8	2,00	31,60	21,80	4,9
	3ª 26/01/2022 (chuva)	22,5	0,30	30,90	14,60	5,1
	4ª 23/03/2022 (chuva)	23,1	0,20	38,00	17,80	5,0
	5ª 27/05/2022 (estiagem)	20,1	2,47	31,00	15,60	5,1
P2	1ª 23/09/2021 (estiagem)	20,0	0,40	43,80	31,50	5,5
	2ª 15/11/2021 (chuva)	21,2	0,40	39,30	27,60	5,1
	3ª 26/01/2022 (chuva)	26,4	0,30	165,20	72,40	5,2
	4ª 23/03/2022 (chuva)	23,3	0,60	48,00	22,30	5,4
	5ª 27/05/2022 (estiagem)	19,8	2,06	43,50	21,70	5,8
P3	1ª 23/09/2021 (estiagem)	20,8	1,10	47,20	34,60	6,0
	2ª 15/11/2021 (chuva)	20,3	1,70	23,00	16,40	5,1
	3ª 26/01/2022 (chuva)	21,3	0,90	80,30	38,90	4,3
	4ª 23/03/2022 (chuva)	22,6	0,40	32,20	15,20	5,3
	5ª 27/05/2022 (estiagem)	19,4	3,43	21,40	10,80	5,9
P4	1ª 23/09/2021 (estiagem)	20,3	1,10	75,10	55,00	4,8
	2ª 15/11/2021 (chuva)	21,6	1,50	143,10	100,20	4,8
	3ª 26/01/2022 (chuva)	23,0	0,60	54,50	25,50	5,3
	4ª 23/03/2022 (chuva)	22,9	1,90	63,40	29,80	5,2
	5ª 27/05/2022 (estiagem)	19,5	3,40	43,40	21,80	5,5

A temperatura ( $T$  °C) variou entre mínimo de 19,40 °C (poço P3, amostra de maio/22) e máximo de 26,40 °C (poço P2, amostra de janeiro/22). De acordo com a temperatura mensurada, as águas da AU podem ser classificadas, segundo Custódio & Llamas (1983), como hipotermal (< 25 °C), com exceção da amostra de janeiro/22 do poço P2, que se classificou como mesotermal (entre 25 °C e 35 °C).

As concentrações de oxigênio dissolvido (OD) foram mais elevadas em maio/22 (estiagem), apresentando valores de 2,47 mg/L P1, 2,06 mg/L P2, 3,43 mg/L P3 e 3,40 mg/L P4. Nos demais períodos amostrados, as concentrações variaram de 0,20 a 2,00 mg/L. O oxigênio dissolvido é um componente importante para a estabilização da matéria orgânica realizada pelas bactérias, e sua concentração tende a ser menor em águas subterrâneas (entre 0 e 5 mg/L), já que a maior parte do ar dissolvido é consumido na oxidação da matéria orgânica durante a percolação da água na zona de aeração (Feitosa et al., 2008).

A condutividade elétrica (Ce) apresentou uma menor variação em P1 em relação aos demais poços, com valor mínimo de 30,90  $\mu\text{S}/\text{cm}$  em janeiro/22 e valor máximo de 38,00  $\mu\text{S}/\text{cm}$  em março/22. Nos demais pontos de monitoramento, os valores variaram entre 165,20  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (P2) na amostragem de janeiro/22 e 21,40  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (P3) em maio/22. As concentrações de sólidos totais dissolvidos (STD) também apresentaram menores variações (14,60 mg/L a 24,00 mg/L) nas amostras de P1. Nos demais pontos, as variações foram de 10,80 mg/L em P3 (maio/22) e 100,20 mg/L em P4 (novembro/21). Os pontos amostrados apresentaram valores de pH ligeiramente ácidos, com mínimo de 4,3 e máximo de 6,0 em P3.

As concentrações dos parâmetros Ce, STD, e pH indicam uma maior heterogeneidade das condições da água nos poços P2, P3 e P4, enquanto que os parâmetros de Ce da água do poço P1 refletem condições mais homogêneas de variação entre os períodos de chuva e estiagem.

Oliva & Kiang (2002) realizaram estudos hidroquímicos das águas do aquífero da Formação Rio Claro, prospectando oito pontos de amostragem (4 nascentes e 4 poços de captação com profundidades entre 12 e 60 metros). A temperatura das águas variou de 20,55 °C a 21,30 °C em três poços. Um quarto poço (profundidade de 60 metros) apresentou temperatura de 29,60 °C. Nas nascentes, as temperaturas variaram de 24,60 °C

a 26,44 °C. Observa-se uma semelhança entre as temperaturas das águas dos quatro poços da AUGI para com as águas de alguns poços perfurados na Formação Rio Claro. Além disso, a temperatura da amostra de janeiro/22 no poço P2, cujo entorno encontrava-se alagado, apresentou valor análogo (26,40 °C) à temperatura de uma das amostras da nascente (26,44 °C) do trabalho de Oliva & Kiang (2002).

No trabalho de Santos & Gastmans (2016), os autores avaliaram a química das águas da chuva na cidade de Rio Claro (SP) no período de fevereiro de 2013 a fevereiro de 2014. O pH das águas variou entre 4,75 a 6,81 (levemente ácido), apresentando baixa condutividade, com o menor valor registrado em abril de 2013 (4,27  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e o maior valor em junho de 2013 (25,10  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), no período de estiagem. De acordo com os autores, a condutividade nas águas da chuva (cujos valores esperados oscilam entre 4,12 e 29,30  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) está relacionada com a distribuição da precipitação, ou seja, condutividades menores são observadas em quantidade de chuvas elevadas distribuídas em curto intervalo de tempo, ao passo que condutividades maiores são observadas em menores quantidades de chuva, num intervalo de tempo maior.

Na AUGI do Cocho, observou-se valores elevados de condutividade durante o período de chuva.

Porém, de acordo com Santos & Gastmans (2016), os valores de condutividade são menores em períodos em que as precipitações são mais frequentes. Assim, os valores elevados de condutividade nas águas da AUGI, no período de chuva, podem ter sido influenciados pelo escoamento superficial advindo do entorno. Com relação ao pH, as águas da AUGI encontram-se dentro da faixa de variação das águas da chuva.

No trabalho de Oliva & Kiang (2002), o pH variou de 4,15 a 6,18 para os poços perfurados, e de 5,10 a 5,20 para três das nascentes. A condutividade variou entre 0,10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (nascente) a 3,14  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (poço com profundidade de 25 metros).

As águas da AUGI encontram-se dentro da faixa de pH das águas do aquífero, porém, os valores de condutividade apresentados pelos poços P1, P2, P3 e P4 são mais elevados que os dos poços e nascentes da Formação Rio Claro.

Quirino (2019) realizou estudo hidroquímico em AUs localizadas em áreas antropizadas por atividades agrícolas, no município de Uberaba (MG), coletando amostras de água de AUs

associadas a córregos e nascentes durante o período de chuva (fevereiro) e amostras de água do nível freático (120 cm de profundidade) de duas AUs durante a estiagem (agosto). A condutividade mensurada no nível freático foi de 32,20 e de 47,3  $\mu\text{S/cm}$ . Para AUs associadas a córregos, a autora encontrou valores de até 92,47  $\mu\text{S/cm}$  durante o período de chuva.

Em um estudo realizado em veredas do Cerrado localizadas no Triângulo Mineiro, Nascimento et al. (2018) encontrou uma variação de 3,4 a 6,5 no pH da água, sendo que na maior parte do ano, os

valores ficaram entre 4,2 e 5,1.

Considerando a estatística integrada para os dados de todos os poços da AUGI (Tabela 5) e comparando com a média da Ce dos estudos de Santos & Gastmans (Ce 10,13  $\mu\text{S/cm}$ ,  $\pm$  6,03), Oliva & Kiang (Ce 1,26  $\mu\text{S/cm}$ ,  $\pm$  1,23), Quirino (Ce 27,65  $\mu\text{S/cm}$ ,  $\pm$  25,90) e Nascimento et al. (Ce 9  $\mu\text{S/cm}$ ), observa-se um valor médio maior de Ce neste estudo (Ce 54,40  $\mu\text{S/cm}$ ,  $\pm$  37,63). Sendo assim, o maior valor de Ce presente nas águas da AUGI sugere a influência do manejo do solo realizado no seu entorno.

**Tabela 5** - Análise estatística integrada dos poços P1, P2, P3 e P4.

	T (°C)	OD (mg/L)	Ce ( $\mu\text{S/cm}$ )	STD (mg/L)	pH
<b>Média</b>	21,48	1,25	54,40	30,88	5,23
<b>Desvio Padrão</b>	1,76	1,02	37,63	21,92	0,40
<b>Mediana</b>	21,25	1,00	43,45	23,15	5,20
<b>Mínimo</b>	19,40	0,20	21,40	10,80	4,30
<b>Máximo</b>	26,40	3,43	165,20	100,20	6,00
<b>Amplitude</b>	7,00	3,23	143,80	89,40	1,70

### Parâmetros hidroquímicos

As concentrações de cátions e ânions variaram entre cada poço e cada período amostrado (Tabela 6). Os cátions  $\text{Na}^+$  (70,50 mg/L),  $\text{K}^+$  (6,00 mg/L),  $\text{Ca}^{2+}$  (8,80 mg/L),  $\text{Mg}^{2+}$  (1,20 mg/L) e ânions  $\text{Cl}^-$  (43,02 mg/L),  $\text{SO}_4^{2-}$  (30,00 mg/L),  $\text{HCO}_3^-$  (61,02 mg/L),  $\text{PO}_4^{3-}$  (1,17 mg/L) e  $\text{NO}_3^-$  (16,50 mg/L)

apresentaram maiores concentrações no poço P4 em setembro/21 (estiagem). A dureza total (DT) da água ficou mais elevada também na amostra de setembro/21 do poço P4 (26,92 mg/L). As concentrações de  $\text{SiO}_2$  (sílica) foram maiores para o poço P2, apresentando valores superiores a 12,00 mg/L em todas as amostras.

**Tabela 6** - Resultados hidroquímicos.

Poço	Campanha	(mg/L)											
		$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{CO}_3^{2-}$	DT	$\text{SiO}_2$
P1	1ª 23/09/2021 (estiagem)	2,50	1,50	0,58	0,65	9,83	5,00	9,76	0,36	1,20	8,75	4,12	4,10
	2ª 15/11/2021 (chuva)	1,80	1,00	2,00	0,60	8,60	1,00	4,27	0,04	0,63	3,26	7,46	2,60
	3ª 26/01/2022 (chuva)	19,00	1,40	0,75	0,51	8,99	1,00	9,76	0,35	0,70	8,76	3,97	1,80
	4ª 23/03/2022 (chuva)	1,80	1,40	0,85	0,47	5,04	0,00	7,32	0,24	0,50	6,32	4,05	6,70
	5ª 27/05/2022 (estiagem)	1,40	1,20	0,80	0,42	11,88	1,00	13,42	0,17	0,90	12,41	3,72	6,20
P2	1ª 23/09/2021 (estiagem)	22,10	1,00	1,52	0,24	22,12	6,00	17,08	0,13	1,00	16,08	4,78	13,00
	2ª 15/11/2021 (chuva)	8,30	0,70	2,06	0,62	10,24	1,00	9,76	0,19	0,81	8,75	7,69	17,20
	3ª 26/01/2022 (chuva)	3,90	0,90	0,95	0,44	10,07	1,00	14,64	0,36	1,70	13,64	4,18	12,80
	4ª 23/03/2022 (chuva)	3,50	1,10	0,89	0,31	9,63	9,00	10,98	1,09	8,90	9,98	3,50	20,10
	5ª 27/05/2022 (estiagem)	1,70	0,70	1,23	0,47	9,4	2,00	9,76	0,56	2,70	8,75	5,00	22,80
P3	1ª 23/09/2021 (estiagem)	3,90	5,70	2,54	0,70	21,30	3,00	21,97	0,12	0,70	20,96	9,22	4,60
	2ª 15/11/2021 (chuva)	1,40	0,00	2,02	0,50	6,15	0,00	4,88	0,08	0,59	3,87	7,10	1,90
	3ª 26/01/2022 (chuva)	2,20	1,10	0,37	0,61	11,51	0,00	2,44	0,17	20,30	1,44	3,43	0,10
	4ª 23/03/2022 (chuva)	1,50	0,30	1,08	0,39	9,17	0,00	6,10	0,20	0,80	5,10	4,30	3,90
	5ª 27/05/2022 (estiagem)	1,50	0,20	1,76	0,37	7,92	0,00	7,32	0,35	3,10	6,31	5,92	10,90
P4	1ª 23/09/2021 (estiagem)	70,50	6,00	8,80	1,20	43,02	30,00	61,02	1,17	16,50	60,01	26,92	5,50
	2ª 15/11/2021 (chuva)	4,60	3,70	0,05	0,69	11,06	3,00	3,05	0,08	5,24	2,04	2,95	1,10
	3ª 26/01/2022 (chuva)	4,40	2,10	0,23	0,49	12,59	6,00	8,54	0,23	2,30	7,54	2,58	4,60
	4ª 23/03/2022 (chuva)	3,50	2,00	0,37	0,35	10,55	4,00	8,54	0,40	1,20	7,54	2,36	8,70
	5ª 27/05/2022 (estiagem)	3,00	1,60	0,60	0,63	6,93	4,00	6,10	0,23	0,60	5,09	4,08	8,90

O  $\text{Na}^+$  foi detectado nas amostras dos quatro poços em quantidades que variaram de 1,40 mg/L (P1 e P3) a 70,50 mg/L (P4) e trata-se de um dos

metais alcalinos mais abundantes e importantes nas águas subterrâneas, estando associado a minerais como feldspatos, plagioclásios, feldspa-

toides (nefelina e sodalita), anfibólitos e piroxênios (Custódio & Llamas, 1983). Na agricultura, o  $\text{Na}^+$  é utilizado como aditivo para fertilizantes, sendo aplicado na forma de  $\text{NaHCO}_3$  (bicarbonato de sódio), e desempenha o papel de desintegrante, auxiliando na desagregação de grânulos de fertilizantes na presença de umidade, fazendo com que estes adquiram a condição de pó (Brasil, 2020). O  $\text{HCO}_3^-$  apresentou as maiores concentrações nas amostras de setembro/21 nos poços P2, P3 e P4, em concordância com as maiores concentrações de  $\text{Na}^+$  também encontradas neste período amostrado, o que sugere uma origem antrópica do  $\text{Na}^+$  na água da AUGI.

O  $\text{Mg}^{+2}$  está presente nos minerais de clorita-serpentina, enquanto  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  podem ter ficado retidos na composição mineralógica das amostras de solos da AUGI, cuja mineralogia pode ser considerada análoga a da Formação Rio Claro. Porém, a variabilidade nas concentrações desses elementos nas amostras de água em cada campanha sugere aporte externo, e estes cátions são frequentemente utilizados como fertilizantes ( $\text{K}^+$ ) e condicionadores do solo ( $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) (Embrapa, 1995).

Em relação aos ânions  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , e  $\text{CO}_3^{2-}$ , estes não correspondem aos constituintes essenciais dos minerais da Formação Rio Claro e, possivelmente, da AUGI, e são elementos encontrados na constituição de fertilizantes ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ) e condicionadores do solo ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ), muitos deles associados aos cátions  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  (Embrapa, 1995; Rosolem & Nakagawa, 2001; Richardson & Vaithyanathan, 2009; Brasil, 2020).

Stradioto & Kiang (2010) realizaram estudos hidroquímicos em oito poços perfurados no aquífero da Formação Rio Claro, e três apresentaram altos teores de  $\text{Cl}^-$  (22,53 mg/L, 17,05 mg/L e 9,49 mg/L) e  $\text{NO}_3^-$  (107,21 mg/L, 56,01 mg/L e 20,30 mg/L). Os autores associaram essa condição hidroquímica a possíveis fontes de contaminação antrópica. Os demais poços apresentaram valores entre <0,08 a 1,22 mg/L para o

$\text{Cl}^-$  e valores entre < 0,05 a 3,21 mg/L para o  $\text{NO}_3^-$ . Para o  $\text{SO}_4^{2-}$ , os valores ficaram abaixo de 1,00 mg/L nas oito amostras.

Oliva & Kiang (2002) também constataram possível contaminação antrópica nas águas de uma nascente da Formação Rio Claro, que apresentou valores de 21,20 mg/L para o  $\text{Cl}^-$ , 29,05 mg/L para o  $\text{NO}_3^-$ , 60,82 mg/L para o  $\text{SO}_4^{2-}$ . Os demais poços verificados apresentaram valores baixos para  $\text{Cl}^-$  (<1,00 a 7,09 mg/L),  $\text{NO}_3^-$  (0,90 a 6,56 mg/L) e  $\text{SO}_4^{2-}$  (<1,00 mg/L). É importante ressaltar que as águas do aquífero da Formação Rio Claro possuem as mesmas características isotópicas de água de chuva dos períodos de alta pluviosidade (outubro a março) que ocorre na região de Rio Claro, tratando-se, portanto, de águas meteóricas que infiltram e se acumulam na formação (Stradioto & Kiang, 2010).

Santos & Gastmans (2016), observaram que as maiores concentrações de  $\text{HCO}_3^-$  nas águas de chuva do município de Rio Claro durante o período de fevereiro 2013 a fevereiro 2014, foram encontradas em duas amostras de junho (estiagem), com valores de 8,12 mg/L e 5,38 mg/L. No período chuvoso, os autores observaram menor concentração do referido ânion, por conta da diluição causada pela maior frequência dos eventos de precipitação. Nos poços da AUGI, as concentrações do ânion  $\text{HCO}_3^-$  apresentaram-se elevadas tanto no período de estiagem (e.g., poço P2, setembro/21, 17,08 mg/L) quanto no período de chuva (e.g., poço P2, janeiro/22, 14,64 mg/L), o que sugere que as contribuições para este ânion podem ter origem na interação água solo.

Na análise estatística integrada para os dados dos poços da AUGI (Tabela 7), verifica-se um desvio padrão elevado para todos os elementos em relação à suas médias. Tal fato é perceptível nos valores de amplitude, especialmente para os elementos  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  e  $\text{SiO}_2$ . Essa heterogeneidade pode estar relacionada a variações sazonais nos fluxos de entrada de nutrientes na AUGI.

**Tabela 7** - Análise estatística integrada dos poços P1, P2, P3 e P4.

	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{CO}_3^{2-}$	DT	$\text{SiO}_2$
	(mg/L)											
<b>Média</b>	8,13	1,68	1,47	0,53	12,30	3,85	11,84	0,33	3,52	10,83	5,87	7,88
<b>Desvio Padrão</b>	15,73	1,63	1,86	0,20	8,37	6,65	12,52	0,30	5,51	12,52	5,28	6,44
<b>Mediana</b>	3,25	1,15	0,92	0,50	9,95	1,50	9,15	0,23	1,10	8,15	4,15	5,85
<b>Mínimo</b>	1,40	0,00	0,05	0,24	5,04	0,00	2,44	0,04	0,50	1,44	2,36	0,10
<b>Máximo</b>	70,50	6,00	8,80	1,20	43,02	30,00	61,02	1,17	20,30	60,01	26,92	22,80
<b>Amplitude</b>	69,10	6,00	8,75	0,96	37,98	30,00	58,58	1,13	19,80	58,57	24,56	22,70

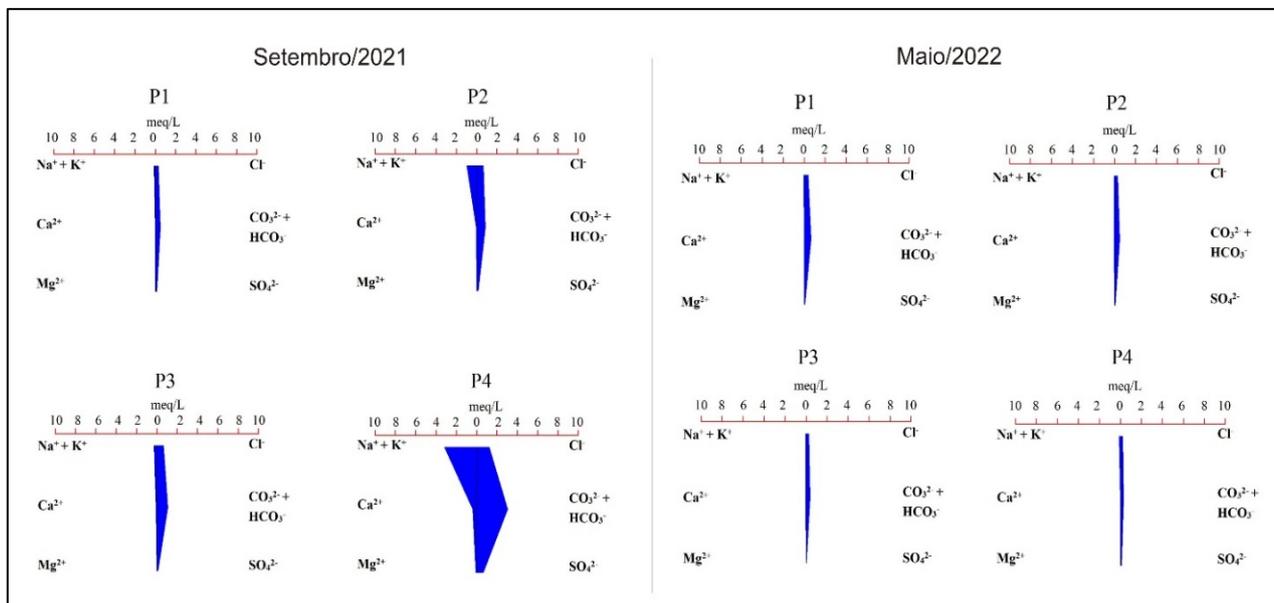
Quirino (2019) observou uma média para o  $\text{Ca}^{2+}$  de 1,00 mg/L ( $\pm 1,53$ ) e uma média para o  $\text{HCO}_3^-$  de 10,00 mg/L ( $\pm 6,62$ ), e atribuiu estes valores à possível influência geológica local (lentes carbonáticas do Membro Ponto Alta, Formação Marília) e também ao gás carbônico proveniente da oxidação da M.O. nas áreas hidromórficas. Além disso, as médias para os elementos  $\text{Na}^+$  (2,07 mg/L,  $\pm 1,94$ ),  $\text{Mg}^{2+}$  (0,32 mg/L,  $\pm 0,32$ ),  $\text{Cl}^-$  (4,41 mg/L,  $\pm 3,39$ ),  $\text{SO}_4^{2-}$  (0,50 mg/L,  $\pm 0,52$ ) e  $\text{NO}_3^-$  (0,41 mg/L,  $\pm 0,34$ ) foram menores em relação às médias da AUGI do Cocho.

A AUGI estudada por Franco et al. (2024) encontra-se assentada sobre diabásio, rocha constituída por minerais que, ao sofrerem alterações intempéricas, tendem a liberar íons solúveis de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ . O estudo realizou cinco campanhas de amostragem em quatro poços instalados nas bordas da AUGI e as médias para  $\text{Ca}^{2+}$  (0,50 mg/L,  $\pm 0,52$ ) foram menores que as médias encontradas na AUGI do Cocho (1,47 mg/L,  $\pm 1,86$ ), cuja mineralogia não contribui para a liberação do elemento. Já as médias para o  $\text{Cl}^-$  (12,35 mg/L,  $\pm 8,83$ ),  $\text{PO}_4^{3-}$  (0,23 mg/L,  $\pm 0,14$ ) e  $\text{Mg}^{2+}$  (0,60 mg/L,  $\pm 0,25$ ) foram similares às encontradas neste estudo

(12,30 mg/L  $\pm 8,37$ , 0,33 mg/L  $\pm 0,30$  e 0,53 mg/L  $\pm 0,20$ , respectivamente). Por outro lado, o  $\text{SO}_4^{2-}$  (19,75 mg/L,  $\pm 20,02$ ) apresentou concentração média superior à AUGI do Cocho (3,85 mg/L,  $\pm 6,65$ ), enquanto para o  $\text{NO}_3^-$  (1,04 mg/L,  $\pm 0,96$ ) os valores médios da AUGI Cocho foram superiores (3,52 mg/L,  $\pm 5,51$ ). Portanto, tanto a AUGI estudada por Franco et al. (2024), cujo entorno é comumente consorciado por culturas de cana-de-açúcar e soja, quanto a AUGI do Cocho, apresentam águas com condições químicas que podem estar refletindo as consequências das atividades agrícolas realizadas em suas proximidades.

### Relações hidroquímicas e análise dos componentes principais (PCA)

O diagrama de Stiff (1951) permite visualizar a variação espacial das características químicas das águas subterrâneas. As duas amostras coletadas no período de estiagem (Figura 6) mostram diferenças na distribuição entre ânions e cátions, sendo que na amostra de setembro/21, os poços P2, P3 e principalmente P4 apresentaram maiores concentrações de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ . Já a amostra de maio/22, a distribuição dos cátions e ânions são equivalentes às do período de chuva (Figura 7).



**Figura 6** - Diagrama Stiff (1951), amostras do período de estiagem.

Para o período de chuva, o poço P1 da amostra de janeiro/22 apresentou maior concentração de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{HCO}_3^-$ , porém, de forma geral, todos os poços não apresentaram distribuições discrepantes como ocorrido nas amostras de setembro/21. Observando a Figura 2(a) (imagem Google Earth, agosto 2021), o solo do entorno da AU encontrava-se arado e preparado para cultivo

de cana-de-açúcar, e o seu manejo pode ter refletido nas concentrações dos elementos químicos nas águas das amostras de setembro/21

Através do diagrama de Piper (1944) (Figura 8), é possível verificar que onze amostras (55% do total) estão classificadas como bicarbonatadas sódicas. Três amostras (novembro/21, março/22 e maio/22) do poço P3 e uma amostra (maio/22) do

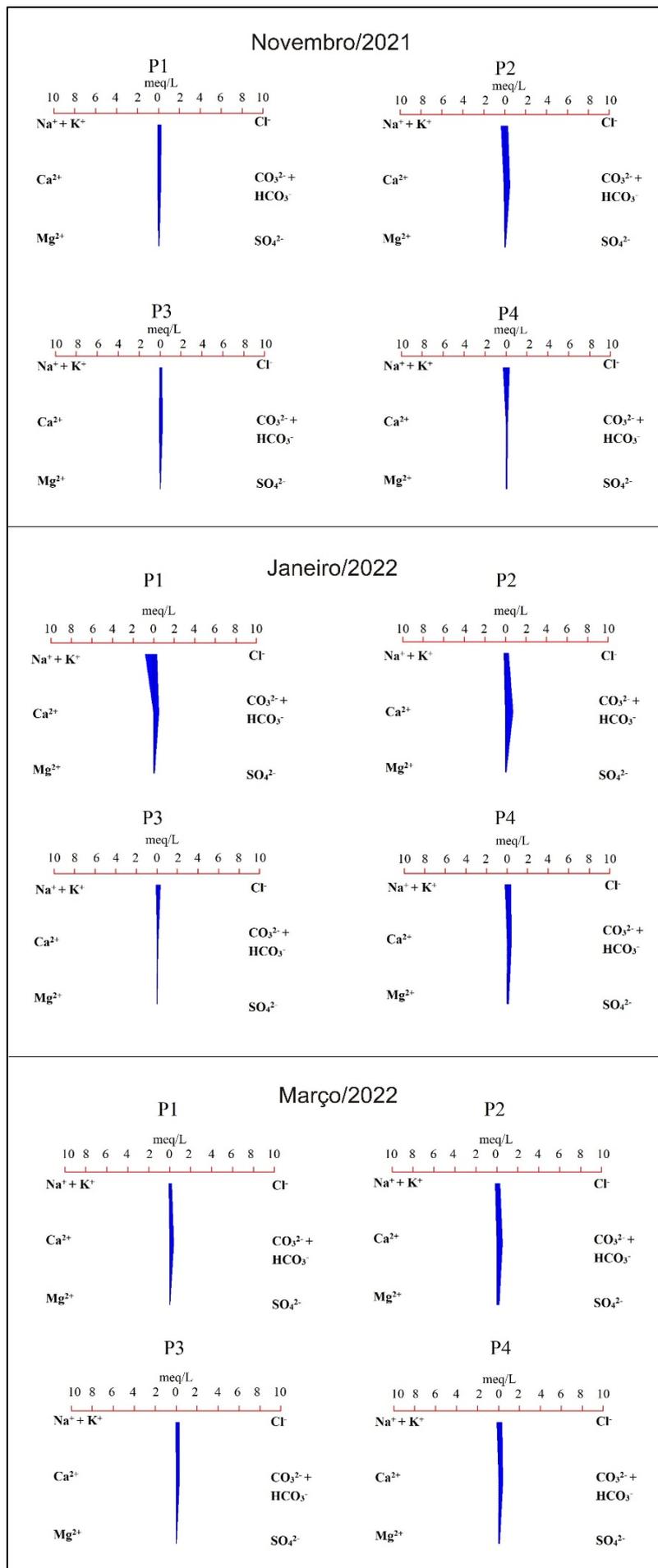
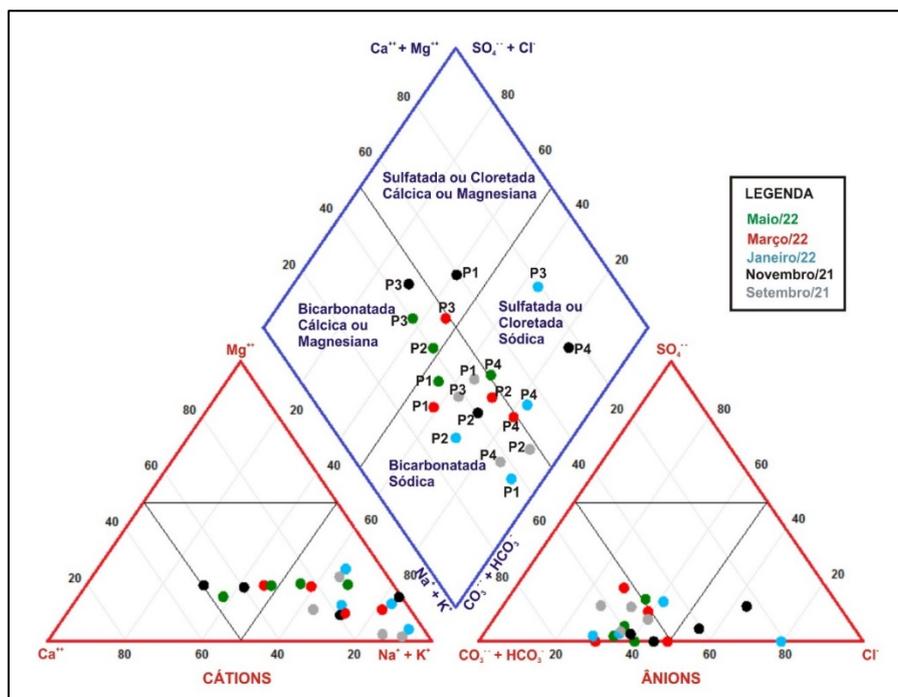


Figura 7 - Diagrama Stiff (1951), amostras do período de chuva.



**Figura 8** - Diagrama de Piper (1944) para as amostras analisadas.

poço P2 estão classificadas como bicarbonatadas mistas (cálcica ou magnésiana). Três amostras (novembro/21, janeiro/22 e maio/22) do poço P4 e uma amostra (janeiro/22) do poço P3 estão classificadas como sódicas mistas (sulfatada ou cloretada) e apenas uma amostra (novembro/21) do poço P1 classificou-se como sulfatada ou cloretada cálcica ou magnésiana.

Observa-se, que, apesar de 75% das amostras estarem classificadas como bicarbonatadas, 25% do total das amostras apresentou classificação diferente. Apenas as amostras de setembro/21 ficaram agrupadas em uma única classificação (bicarbonatada sódica), ao passo que em novembro/21, cada amostra classificou-se em um grupo distinto.

Stradioto & Kiang (2010), verificaram que as amostras de água subterrânea da Formação Rio Claro também se agruparam em classes distintas (cloretadas sódicas, bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas sódicas), sendo que três amostras classificadas como cloretadas sódicas apresentaram altos teores de cloreto e nitrato, podendo estes estarem associadas a fontes de contaminação antrópica.

A amostra de janeiro/22 para o poço P3 (sódica sulfetada ou cloretada) também apresentou maior concentração de  $\text{NO}_3^-$  (20,30 mg/L) e  $\text{Cl}^-$  (11,51 mg/L) o que pode ter influenciado na classificação da amostra deste poço. Além disso, das três amostras do poço P4 classificadas neste grupo, a de novembro/21 apresentou também concentração de  $\text{NO}_3^-$  (5,24 mg/L) e  $\text{Cl}^-$  (11,06 mg/L).

E com relação à única amostra classificada como sulfatada/cloretada cálcica/magnésiana (P1, novembro/21), as maiores concentrações de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Ca}^{2+}$  e a menor concentração de  $\text{HCO}_3^-$  podem ter influenciado na classificação da amostra.

Considerando as variações nas concentrações de sódio, potássio, cálcio e magnésio para os períodos amostrados, é possível observar pelo diagrama Razão de Adsorção de Sódio (RAS), proposto por Richards (1954), que apenas as amostras de novembro/21 para o poço P4, e de janeiro/22 para o poço P2 apresentaram risco baixo de adsorção de sódio, enquanto que todas as demais amostras apresentaram risco nulo, indicando que estes dois poços refletem mais a antropização do entorno da AUGI (Figura 9). Na AUGI estudada por Franco et al. (2024), as amostras apresentaram risco de sódio nulo ou baixo durante as campanhas de amostragem, com exceção de um dos poços que, nas últimas três campanhas, apresentou risco de sódio médio.

Por meio do diagrama de Gibbs (1970), é possível verificar que a precipitação provavelmente influencia na composição química das águas subterrâneas da AUGI (Figura 10). O diagrama é baseado nos valores de STD e na relação da concentração de  $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$  e de  $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ . Portanto, considerando a precipitação como o principal elemento de controle da composição química da água, o uso indiscriminado do solo no entorno da AUGI pode exercer influência na sua hidroquímica, pois a água da chuva converge todo o lixiviado proveniente do solo para a formação.

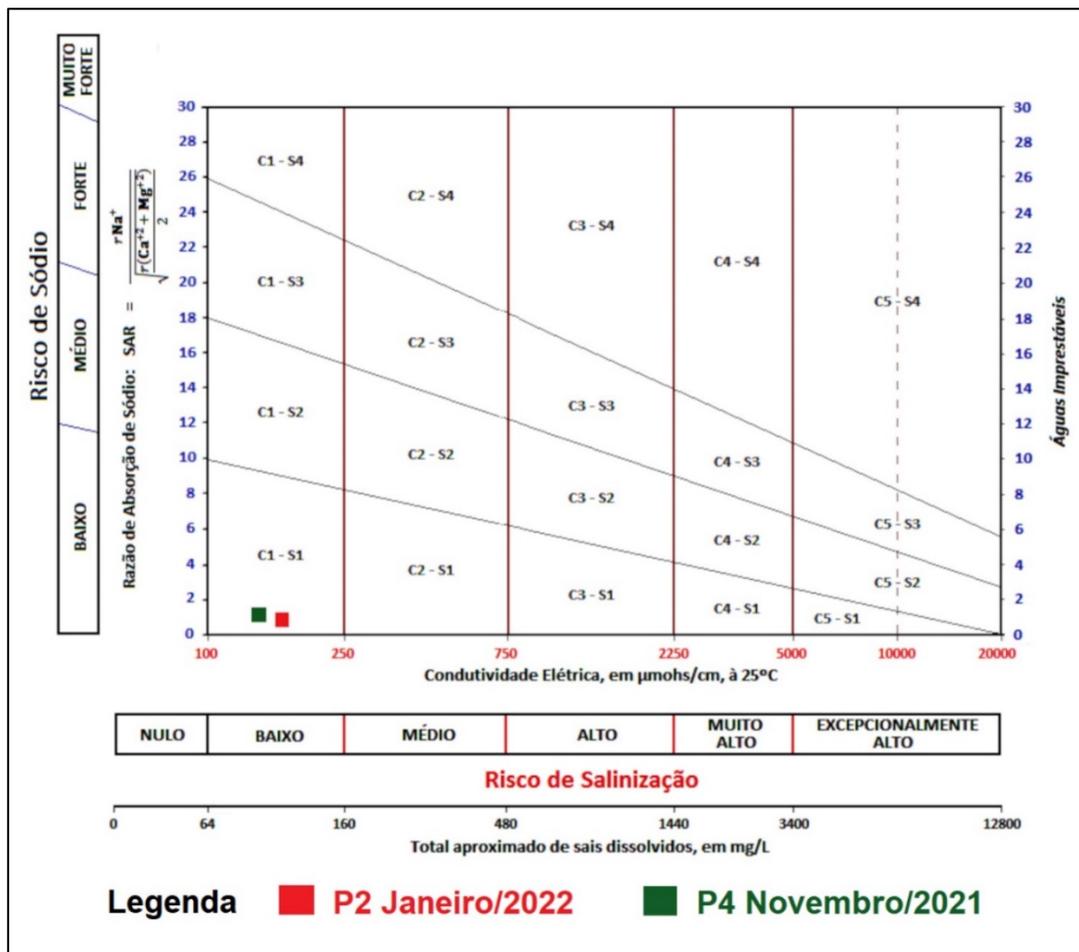


Figura 9 - Diagrama RAS (Richards, 1954).

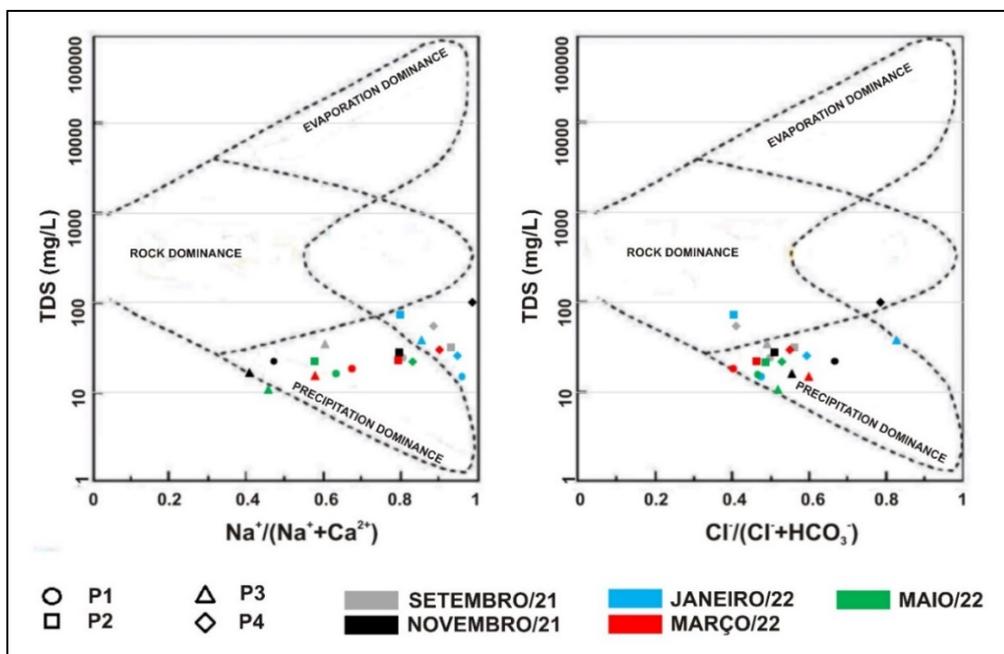
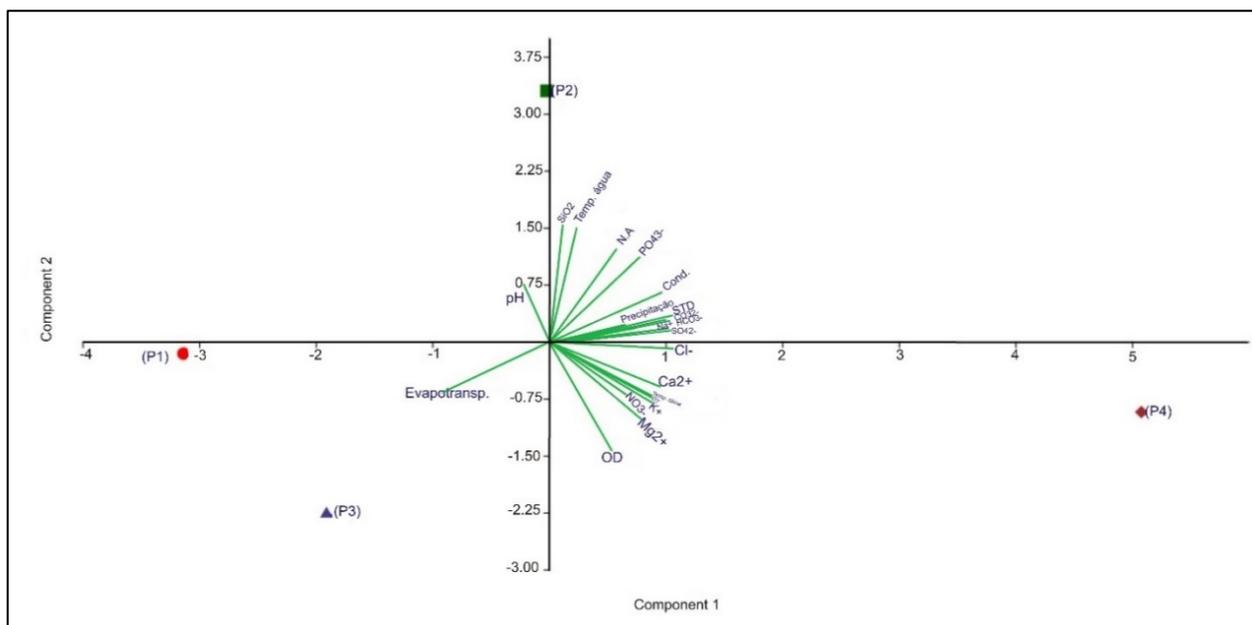


Figura 10 - Diagrama de Gibbs (1970).

Na análise dos componentes principais (Figura 11), considerando a média dos dados climáticos, do nível freático, dos parâmetros físicos, químicos e hidroquímicos de todo período amostrado em cada poço, o nível d'água (N.A),  $PO_4^{3-}$ , condutividade elétrica (Cond.), sólidos totais dissol-

vidos (STD),  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Na^+$ ,  $SO_4^{2-}$  e  $Cl^-$ , distribuem-se entre os poços P2 e P4. Já os elementos  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $NO_3^-$  e  $Mg^{2+}$  correlacionam-se com o poço P4, indicando que este ponto pode refletir melhor a antropização do entorno da AUGI.



**Figura 11** - Análise dos componentes principais para toda campanha.

O solo no entorno da AUGI é anualmente manejado e a renovação do cultivo é realizada de forma contínua (Figura 12). Nas proximidades dos poços P1, P2, P3 e P4 ocorre o cultivo da cana-de-açúcar, e entre os poços P4 e P2, há a presença de galpão, residência, e área de pastagem. Além disso, durante os trabalhos de

campo, verificou-se que a montante do poço P4 há plantação de bananeira disposta em fileira, margeando o limite de inundação da AUGI. Portanto, é possível que os poços P2 e P4 estejam mais suscetíveis a maiores volumes de nutrientes de origem antrópica, por conta da diversidade de uso do solo realizado nas suas imediações.



**Figura 12** - (a) Imagem satélite Google Earth, mês de junho de 2023. (b) Imagem satélite Google Earth, mês de fevereiro de 2024. As duas imagens mostram momentos diferentes no uso do solo no entorno da AUGI.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que o manejo do solo pelas atividades agrícolas, especialmente nos períodos de preparo para nova safra, reflete na composição química da água da AUGI durante o ano hidrológico. Os volumes de cátions e ânions variaram nas amostras de água conforme o período coletado, sendo que a amostragem de setembro/21 apresentou as maiores concentrações de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{CO}_3^{2-}$ .

Os elementos químicos mensurados podem não corresponder aos constituintes essenciais dos

minerais presentes no solo da AUGI, e muitos deles podem estar associados à composição de fertilizantes e condicionadores do solo. Os elevados valores de condutividade elétrica e de  $\text{HCO}_3^-$  mensurados nas amostras do período de chuva não condizem com as concentrações naturais contidas nas águas pluviais do referido período. Estes elevados valores podem ser explicados pela interação água e solo. Além disso, foi possível constatar que as águas da chuva podem ser o principal elemento de controle da composição química das águas subterrâneas da AUGI.

Este estudo é muito importante, pois contribui para o conhecimento das consequências refletidas nas águas das AUGIs, oriundas das atividades agrícolas realizadas em seu entorno. Porém, sugere-se que novos estudos sejam realizados a fim de se conhecer melhor os impactos causados nestes ecossistemas. Além disso, recomenda-se a prática de pouso para que

o solo possa recuperar sua bioestrutura e para que haja tempo adequado para a AUGI recondicionar as cargas de nutrientes presentes na água.

Por fim, este trabalho reforça a necessidade da criação de perímetros de proteção com matas ciliares no entorno dessas AUGIs, além de programas de monitoramento ambiental para a preservação desses importantes ecossistemas.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, Processo N. 2020/03207-9), pelo apoio à pesquisa. Ao Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA - IGCE UNESP), pelos dados da Estação Meteorológica gentilmente fornecidos para esta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A.N. A terra paulista. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 23, p. 5-38, jul. 1956.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR9898: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro, 1987.
- ANALYSER. Fotômetro de chama digital microprocessado. Em: Manual de Instruções 910ms. São Paulo. p. 20. Disp. em: <http://www.analyser.com.br/produtos/fotometros-de-chama/fotometros-de-chama-modelo-910-analyser>. Acesso em: 01 set. 2023.
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Byrd Prepress Springfield, Washington, DC. 23rd. Edition, 2017.
- BJÖRNBERG, A.J.S. & LANDIM, P.M.B. Contribuição ao estudo da Formação Rio Claro (Neoceno-zóico). **Boletim Sociedade Brasileira Geologia**, n. 15, v. 4, p. 43-67, 1966.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa nº 61, de 08 de julho de 2020**. Disp. em <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-61-de-8-7-2020-organicos-e-biofertilizantes-dou-15-7-20.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2024.
- CEAPLA - CENTRO DE ANÁLISE E PLANEJAMENTO AMBIENTAL. **Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí**. IGCE, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2001.
- CEAPLA - CENTRO DE ANÁLISE E PLANEJAMENTO AMBIENTAL. **Dados climatológicos de Rio Claro (SP)**. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2023.
- COHEN, M.J.; CREED, I.F.; ALEXANDER, L.; BASU, N.B.; CALHOUN, A.J.K.; CRAFT, C.; D'AMICO, E.; DEKEYSER, E.; FOWLER, L.; GOLDEN, H.E.; JAWITZ, J.W.; KALLA, P.; KIRKMAN, L.K.; LANE, C.R.; LANG, M.; LEIBOWITZ, S.G.; LEWIS, D.B.; MARTON, J.; McLAUGHLIN, D L.; MUSHET, D.M.; RAANAN -KIPERWAS, H.; RAINS, M.C.; SMITH, L.; WALLS, S C. Do geographically isolated wetlands influence landscape functions? **PNAS**, v. 113, n 8, 2016.
- CUNHA, C.N. DA; PIEDEDE, M.T.F.; JUNK, W.J. **Classificação e delineamento das áreas úmidas brasileiras e de seus macrohabitats**. Recurso Eletrônico. EdUFMT, Cuiabá, 2015.
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterrânea**. Barcelona: Omega, 1983.
- EMBRAPA. Uso de gesso agrícola nos solos dos cerrados. SOUSA, D. M. G. DE; REIN, T. A.; LOBATO, E. (Editores). **Planaltina: EMBRAPA-CPAC**, Circular Técnica 32. 1995. 20p.
- FEITOSA, F.A.C.; FILHO, J.M.; FEITOSA, E.C.; DEMETRIO, J.G.A. (Orgs). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3ª ed. revisado e ampliado. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008, 812p.
- FERREIRA, S.R. **Análise pedoestratigráfica das Formações Rio Claro e Piraçununga, no centro-leste do estado de São Paulo**. Rio Claro. 2005. 157 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- FISCHER, J. & ACREMAN, M. C. Wetland nutrient removal: a review of the evidence. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 8, n. 4, p. 673–685, 2004.
- FRANCO, I.O.; SARDINHA, D.S.; FURLAN, L.M.; CASAGRANDE, M.F.S.; MOREIRA, C.A.; ROSOLEN, V. Subsurface flow pathway and hydrochemistry of a geographically isolated depression wetland in the Serra Geral Diabase Formation, São Paulo State, Brazil. **Discover Geoscience**, 2:20, 2024.
- GIBBS, R.J. Mechanisms controlling world water chemistry. **Science**, v. 17, p. 1088–1090, 1970.
- HACH. **DR2800 Spectrophotometer procedures manual**. Edition 2, Hach Company, Germany, 2007.
- HACH. **Water Analysis Guide**. Edition 1, Hach Company, Loveland, Colorado, USA, 2013.
- JANSE, J.H.; DAM, A.A. VAN; HES, E.M.A.; KLEIN, J.J.M. DE; FINLAYSON, C.M.; JANSSEN, A.B.G; WIJK, D. VAN; MOOIJ, W.M. ; VERHOEVEN, J.T.A. Towards a global model for wetlands ecosystem services. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 36, p.11-19, 2019.
- JUNK, W.J.; PIEDEDE, M.T.F.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; KANDUS, P.; LACERDA, L.D.; BOZELLI, R.L.; ESTEVES, F.A.; NUNES DA CUNHA, C.; MALTCHIK, L.; SCHÖNGART, J.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; AGOSTINHO, A.A. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: marine and freshwater ecosystems**, v. 24, p. 5-22, 2014.
- JUNQUEIRA, D.A. **Princípios da governança ambiental na gestão de recursos hídricos com foco em áreas úmidas (AUs) na depressão periférica paulista**. Rio Claro. 2021. 78p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.
- KOFFLER, N.F. Carta de declividade da Bacia do Rio Corumbataí para análise digital (SIG). **Geografia**, v. 19, n. 2, p. 197:182, 1994.
- MARTON, J.M.; CREED, I.F.; LEWIS, D.B.; LANE, C.R.;

- BASU, N.B.; COHEN, M.J.; CRAFT, C.B. Geographically isolated wetlands are important biogeochemical reactors on the landscape. **BioScience**, v. 65, p. 408-418, 2015.
- MONTEIRO, C.A.F. A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo: estudo geográfico sob forma de Atlas. São Paulo: **Instituto de Geografia - USP**, 1973.
- NASCIMENTO, D.C.; BERBERT, C.P.; RIBEIRO, B.T. Electrochemical attributes of water from Cerrado wetlands (Veredas), Triângulo Mineiro region, Brazil. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 49, n. 1, p. 11-21, 2018.
- NICHOLS, D. S. Capacity of natural wetlands to remove nutrients from wastewater. **Journal (Water Pollution Control Federation)**, v. 55, n. 5, p. 495-505, 1983.
- OLIVA, A. & KIANG, C. H. Caracterização Hidroquímica de Águas Subterrâneas no Município de Rio Claro (SP). Águas Subterrâneas, (1), In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, XII 2002. Disp. em <https://aguas.subterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22629>
- PENTEADO, M.M. Contribuições ao estudo do clima do Estado: caracterização da área de Rio Claro/SP. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 11, n. VI, p. 33-39, 1966.
- PENTEADO, M.M. Geomorfologia do setor centro-ocidental da depressão periférica paulista. São Paulo, Universidade, Instituto de Geografia, 86 p. (**Série Teses e Monografias**, 22), 1976.
- PENTEADO-ORELLANA, M. M. Estudo geomorfológico do sítio urbano de Rio Claro (SP). **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 21, n. 42, p. 23-56, 1981.
- PIPER, A.M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. **Am. Geophys. Union Trans.**, v. 25, p. 914-923, 1944.
- PRADO, H. DO; OLIVEIRA, J.B. DE; ALMEIDA, C.L.F. DE. Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo. Quadrícula de São Carlos. Escala 1:100.000. **Instituto Agrônômico de Campinas**, 1981.
- QUIRINO, R.C. **Estudo hidroquímico das áreas úmidas na porção noroeste da bacia do Rio Claro (Uberaba, MG)**. Rio Claro. 2019. 85p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- RICHARDS, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. **Soil Science**, v; 78, n. 2, p.154, 1954.
- RICHARDSON, C.J. & VAITHIYANATHAN, P. Biogeochemical Dynamics II: Cycling and Storage of Phosphorus in Wetlands. In: MALTBY, E. & BARKER, T. (Eds). **The Wetlands Handbook**. Blackwell Publishing Ltd., p. 228-248, 2009.
- ROSOLEM, C.A. & NAKAGAWA, J. Residual and annual potassic fertilization for soybeans. **Nutr. Cycl. Agroecos.**, v. 59, p. 143-149, 2001.
- ROSS, J.L.S. & MOROZ, I.C. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. IPT: FAPESP, 1997.
- SANTOS, V. & GASTMANS, D. Composição química da água de chuva em Rio Claro (SP). **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 45-60, 2016.
- SMOLDERS, A.J.; LUCASSEN, E.C.; BOBBINK, R.; ROELOFS, J.G.; LAMERS, L.P. How nitrate leaching from agricultural lands provokes phosphate eutrophication in groundwater fed wetlands: the sulphur bridge. **Biogeochemistry**, v. 98, p. 1-7, 2010.
- STIFF, H.A. The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. **Journal of petroleum technology**, v. 3, n. 10, p. 15-3, 1951.
- STRADIOTO, M. R. & KIANG, C. H. Caracterização Hidroquímica e Isotópica das Águas Superficiais, Pluviais e Subterrâneas do Município de Rio Claro (SP). In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E XVII ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 2010. Disp. em <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22965>
- TINER, R.W. Geographically isolated wetlands of The United States. **Wetlands**, v. 23, n 3, p. 494-516, 2003.
- TINER, R.W.; BERGQUIST, H.C.; DEALESSIO, G.P.; STARR, M.J. Geographically isolated wetlands: a preliminary assessment of their characteristics and status in selected areas of the United States. **U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service**, Northeast Region, Hadley, MA, USA, 2002. Web-based report at: Geographically isolated wetlands a preliminary assessment of their characteristics and status in selected areas of the United States | FWS.gov
- ZAINE, J.E. **Geologia da Formação Rio Claro na folha Rio Claro (SP)**. Rio Claro. 1994. 95 p.. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

*Submetido em 5 de setembro de 2024*

*Aceito para publicação em 22 de abril de 2025*