

Capanema, 18 de Abril de 2021

CEBI_038_2022

Ilmo. Senhor
José Volnei Bisognin
Instituto Água e Terra - IAT/Presidência
Rua Engenheiros Rebouças, 1206 – Rebouças. Curitiba, PR

Referência: Licença de Operação nº 35.980 - Protocolo 153553742

Assunto: Relatório Consolidado do Programa de Monitoramento do Lençol Freático e da Qualidade da Água Subterrânea da UHE Baixo Iguaçu

Prezado Senhor,

Vimos, por meio desta, encaminhar o Relatório Consolidado do Programa de Monitoramento do Lençol Freático e da Qualidade da Água Subterrânea da UHE Baixo Iguaçu em cumprimento à Condicionante nº 09 da Licença de Operação nº 35.980.

Considerando os relatórios periódicos e conclusivo protocolados junto ao IAT a fim de evidenciar a execução e os resultados das campanhas de coleta e análise de dados no decorrer das fases de implantação e operação do empreendimento, em observância ao cronograma definido no Plano Básico Ambiental, entendemos que o Programa de Monitoramento do Lençol Freático e da Qualidade da Água Subterrânea cumpriu com os objetivos propostos, já que permitiu avaliar o comportamento do nível do lençol freático, assim como comparar a qualidade das águas subterrâneas no entorno do reservatório.

Deste modo, solicitamos deferimento ao encerramento do referido programa ambiental, como também, permanecemos à disposição para esclarecimentos julgados necessários.

Atenciosamente,

Ricardo Ivo Hoffert Cruz Fortes
Diretor Técnico e Ambiental
Consórcio Empreendedor Baixo Iguaçu

Anexo:

Relatório Consolidado do Programa de Monitoramento do Lençol Freático e da Qualidade da Água Subterrânea da UHE Baixo Iguaçu.

Consórcio Empreendedor Baixo Iguaçu
Rua Tupinambás, 1187 – Fone: 46-3552-8500
CEP- 85-760-000 - Capanema - PR

PROTOCOLO DE ASSINATURA(S)

O documento acima foi proposto para assinatura digital na plataforma Portal de Assinaturas Certisign. Para verificar as assinaturas clique no link: <https://www.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/87DD-56C5-BD21-3BEB> ou vá até o site <https://www.portaldeassinaturas.com.br> e utilize o código abaixo para verificar se este documento é válido.

Código para verificação: 87DD-56C5-BD21-3BEB



Hash do Documento

B22B017BCEFE2C328A0BBF03B5F63E50DE8E7B3A4060E69F2144ABEF121075EF

O(s) nome(s) indicado(s) para assinatura, bem como seu(s) status em 18/04/2022 é(são) :

- Ricardo Ivo Hoffert Cruz Fortes (Signatário - Consorcio
Empreendedor Baixo Iguacu) - 041.632.286-75 em 18/04/2022
11:22 UTC-03:00
Tipo: Certificado Digital



PROJETO BÁSICO AMBIENTAL UHE BAIXO IGUAÇU

PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO E DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DA UHE BAIXO IGUAÇU

**Relatório Conclusivo
(Maio de 2020 a Fevereiro de 2022)**

**Março
2022**

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	3
Lista de Tabelas	5
1 APRESENTAÇÃO.....	6
2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO EMPREENDIMENTO.....	6
3 INTRODUÇÃO.....	7
4 OBJETIVO GERAL.....	8
4.1 - Objetivos Específicos.....	8
5 METODOLOGIA.....	9
5.1 Monitoramento do Nível do Lençol Freático	9
5.2 Classificação da Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos Subsuperficiais à Contaminação.....	13
5.3 Classificação da área quanto à Vulnerabilidade.....	14
5.4 Monitoramento da Qualidade da Água do Lençol Freático	15
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
7 CONCLUSÕES	51
8 EQUIPE EXECUTORA	54
9 CRONOGRAMA DE COLETAS E RELATÓRIOS	55
10 REFERÊNCIAS CONSULTADAS	56
ANEXOS	60

Lista de Figuras

Figura 1 – Localização do Empreendimento (Fonte: CEBI, 2016).	6
Figura 2 – Posição esquemática para os MNAs e PMs.....	9
Figura 3 – Posição esquemática para os MNAs e PMs.....	9
Figura 4 – Seções representativas dos pontos 1, 2, 4 e 5.	10
Figura 5 – Seção representativa do ponto 3.	10
Figura 6 – Seções representativas dos pontos 6 e 7.	11
Figura 7 - Procedimento de medição da profundidade do lençol freático, na área de influência da UHE Baixo Iguaçu.	13
Figura 8 - Sistema GOD de avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação. Fonte: FOSTER et al. (2006).	14
Figura 9 - Procedimento de coleta da água, com amostrador Bailer 429.	15
Figura 10 - Precipitação acumulada (barras) e vazões (linha contínua) mensais do rio Iguaçu, registradas na estação da UHE Baixo Iguaçu Jusante, meses em que foram realizadas as análises de nível do freático (Fonte: ANA, 2022).....	20
Figura 11 - Profundidade do lençol freático no poço de monitoramento PMNA-1, avaliada entre maio de 2020 e novembro 2021. A cor azul representa o lençol freático e a cor marrom sedimento.	21
Figura 12 - Profundidade do lençol freático no poço de monitoramento PMNA-2, avaliada maio de 2020 e novembro 2021. A cor azul representa o lençol freático.	22
Figura 13 - Profundidade do lençol freático no poço de monitoramento PMNA-3, avaliada entre maio de 2020 e novembro 2021. A cor azul representa o lençol freático.	23
Figura 14 - Profundidade do lençol freático no poço de monitoramento PMNA-4, avaliada entre maio de 2020 e novembro 2021. A cor azul representa o lençol freático.	24
Figura 15 - Profundidade do lençol freático no poço de monitoramento PMNA-5, avaliada entre maio de 2020 e novembro 2021. A cor azul representa o lençol freático.	25
Figura 16 - Profundidade do lençol freático no poço de monitoramento PMNA-6, avaliada entre maio de 2020 e novembro 2021. A cor azul representa o lençol freático e a cor marrom sedimento.	26
Figura 17 - Profundidade do lençol freático no poço de monitoramento PMNA-7, avaliada entre maio de 2020 e novembro 2021. A cor azul representa o lençol freático.	27
Figura 18 - Profundidade do lençol freático no poço de monitoramento PMNA-8, avaliada entre maio de 2020 e novembro 2021. A cor azul representa o lençol freático.	27
Figura 19 – Valores de Temperatura do Ar (°C), registrados nos poços de monitoramento da Área de Influência direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.	29
Figura 20 – Valores de Temperatura da Água (°C), registrados nos poços de monitoramento da Área de Influência direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.	30
Figura 21 - Valores de Oxigênio Dissolvido (mg/L), registrados nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.....	31
Figura 22 - Valores de oxigênio dissolvido (% de Saturação), registrados nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.	31
Figura 23 - Valores de Condutividade Elétrica (µS/cm), registrados nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.	32
Figura 24 - Valores de pH (unidade), registrados nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.....	33
Figura 25 - Concentrações de Cálcio (mg/L), registradas nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.....	34
Figura 26 - Concentrações de Sódio (mg/L), registradas nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021 (linhas e valores em verde = limites da Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS).....	35

Figura 27 - Concentrações de Magnésio (mg/L), registradas nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.....	36
Figura 28 - Concentrações de Potássio (mg/L), registradas nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.....	37
Figura 29 - Concentrações de Fósforo Total (mg/L), registradas nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.....	38
Figura 30 - Concentrações de Cloretos (mg/L), registradas nos poços da Área de Influência direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021 (linhas e valores em verde = limites da Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS).	39
Figura 31 - Concentrações de Nitrato (mg/L), registradas nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021 (linhas e valores em verde = limites da Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS).....	40
Figura 32 - Concentrações de Nitrogênio Orgânico (mg/L), registradas nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.	41
Figura 33 - Concentrações de Nitrogênio amoniacal (mg/L) registradas nos poços da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021 (linhas e valores em verde = limites da Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS).....	42
Figura 34 - Concentrações de Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L) registradas nos poços da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.....	43
Figura 35 - Concentrações de Coliformes Fecais (<i>Escherichia coli</i> , NMP/100 mL) (B), registradas nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021 (informação em verde = determinação da Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS).	44
Figura 36 - Concentrações de Coliformes Totais (NMP/100 mL), registradas nos poços de monitoramento da Área de Influência direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021 (informação em verde = determinação da Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS).	45
Figura 37 - Concentrações de Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L), registradas nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021 (linhas e valores em verde = limites da Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS).....	46
Figura 38 - Valores de Turbidez (NTU), registrados nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021 (linhas e valores em verde = limites da Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS).....	47
Figura 39 - Valores do Potencial Redox (mV), registrados nos poços da Área de Influência direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.	48
Figura 40 - Análise de Componentes Principais (PCA) em escala espacial (poços 3C e 5C) e temporal (maio de 2020 a novembro de 2021), aplicada aos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água subterrânea da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu (Ca = Cálcio; Cl = Cloretos; <i>E.coli</i> = Coliformes fecais; CT = Coliformes Totais; CD = Condutividade Elétrica; P = Fósforo; Mg = Magnésio; NO ₃ = Nitrato; NH ₃ = nitrogênio amoniacal; NO = Nitrogênio Orgânico; NTK = Nitrogênio Total Kjeldahl; OD = oxigênio dissolvido; OD (%) = saturação de oxigênio; pH = potencial hidrogeniônico; K = Potássio; ORP = Potencial Redox; Na = Sódio; STD = Sólidos Totais Dissolvido; T. água = temperatura da água; T. ar = temperatura do ar; Turb = Turbidez; Al = Alumínio; Ba = Bário; Chumbo = Pb; Cobre = Cu; Cromo = Cr; Mn = Manganês; Fe = Ferro; Zn = Zinco).	50
Figura 41 – Amostra de água obtida no poço 5C, demonstrando a cor da água.....	52

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Características dos poços de monitoramento (nível do freático e qualidade da água), na área de influência da UHE Baixo Iguaçu.....	12
Tabela 2 - Variáveis físicas, químicas e biológicas avaliadas na água subterrânea dos poços situados na Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, amostrados em maio de 2020 a novembro de 2021.....	18
Tabela 3 - Valores dos parâmetros GOD e de vulnerabilidade para os poços de monitoramento.	28
Tabela 4 - Cronograma de coletas e relatórios do Programa de Monitoramento do Lençol Freático e da Qualidade da Água subterrânea da UHE Baixo Iguaçu	55
Tabela 5 - Resultados das análises físicas, químicas e bacteriológicas obtidas das águas subterrâneas, na área de influência da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021 (valores em vermelho excederam os limites para consumo humano estabelecido pela Portaria de Consolidação nº. 888/2021 do Ministério da Saúde) (Nm = não mencionado na legislação) (ND = não detectado).	59

1 APRESENTAÇÃO

O presente relatório reúne a descrição dos métodos e resultados, obtidos durante o monitoramento do nível e qualidade da água do lençol freático, obtidos no período de maio de 2020 a fevereiro de 2022 na área de influência da UHE Baixo Iguaçu, localizada no Estado do Paraná, referente ao Plano de Trabalho do Programa de Monitoramento do Lençol Freático e Qualidade das Águas Subterrâneas da UHE Baixo Iguaçu, constante do Plano Básico Ambiental Consolidado (PBA), para integrar as solicitações feitas pelas condicionantes nº 08 da Licença de Instalação nº 17.033/2015 e a nº 09 da Licença de Operação nº 35.980/2019, emitidas pelo Instituto Água e Terra (IAT).

2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO EMPREENDIMENTO

A UHE Baixo Iguaçu, com capacidade instalada de 350 MW, pertence ao Consórcio Empreendedor Baixo Iguaçu – CEBI, constituído pelas empresas Neoenergia S.A. e Copel Geração e Transmissão S.A., é o último aproveitamento hidrelétrico em cascata do rio Iguaçu, afluente do rio Paraná, está localizada a jusante da UHE Salto Caxias, nas coordenadas 25°30'S e 53°40'W (**Figura 1**). O eixo do barramento está a 174 km da foz do rio Iguaçu, imediatamente a montante da confluência do rio Gonçalves Dias e do Limite do Parque Nacional do Iguaçu (PNI), entre os municípios de Capanema-PR, na margem esquerda e Capitão Leônidas Marques-PR, na margem direita (CEBI, 2017).

Além dos dois municípios citados, o empreendimento também ocupa parte dos territórios dos municípios paranaenses de Realeza, Nova Prata do Iguaçu e Planalto. O reservatório tem uma área de 31 km², sendo 18 km² formado pela calha natural do rio Iguaçu e 13 km² da área de inundação (CEBI, 2017).

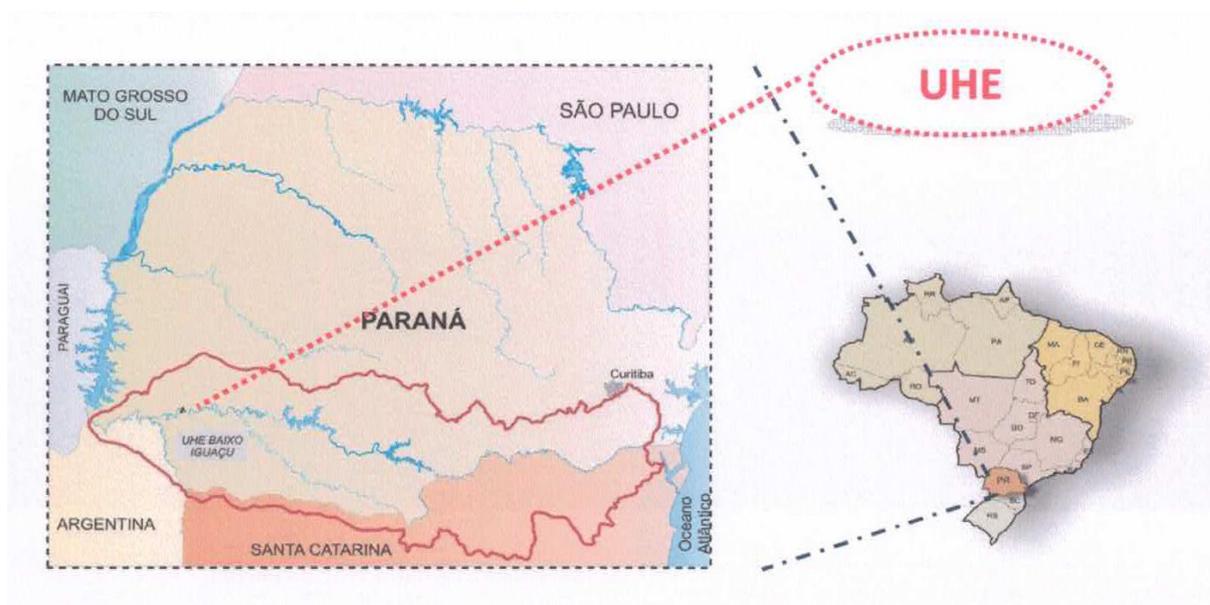


Figura 1 – Localização do Empreendimento (Fonte: CEBI, 2016).

3 INTRODUÇÃO

Um curso d'água superficial recebe alimentação do lençol freático ao longo de suas margens, pelo fato de suas cargas hidráulicas encontrarem-se mais baixas do que aquelas do aquífero livre adjacente. Assim, caso ocorra alteração no nível d'água do rio, seja ela natural, ou artificial, inevitavelmente provocará modificação no movimento da água no aquífero (VAN EVERDINGEN, 1968).

As modificações que ocorrem no regime hidrológico subterrâneo após a construção de uma barragem serão tanto mais significativas, quanto maior se constituir a obra, sua área de inundação e a espessura média da lâmina d'água resultante da formação do reservatório (SILVA et al., 1998; ALBUQUERQUE FILHO et al., 2001).

A superfície da água nos aquíferos livres adjacentes aos reservatórios formados sofre inicialmente ajustes transitórios, entretanto, em longo prazo, tais efeitos podem evoluir para mudanças permanentes nesse sistema hidrogeológico (ALBUQUERQUE FILHO & BOTTURA, 1994; ALBUQUERQUE FILHO et al., 1996).

A água subterrânea pode ser considerada uma das maiores riquezas naturais do nosso planeta, e seu monitoramento é um instrumento fundamental para a avaliação das condições que este meio natural se encontra, e posteriormente permitir tomar medidas preventivas e/ou proativas para a preservação da qualidade e quantidade, buscando promover o uso sustentável junto à uma ação integrada de gerenciamento. Os principais problemas relacionados aos sistemas aquíferos são a poluição, desperdício, bombeamentos excessivos, dificuldades para controle dos poços instalados e exploração desenfreada (IRITANI & EZAKI, 2008). Para que as futuras gerações também possam usufruir deste recurso são necessárias estratégias que visem a sua proteção.

Deste modo, o monitoramento dos padrões de qualidade e da quantidade de água disponível em um aquífero, possibilita diagnosticar o atual estado do aquífero, em relação a estados passados, para tomar as devidas medidas em relação a modificações causadas por efeitos naturais e/ou antrópicos.

4 OBJETIVO GERAL

Em atendimento às condicionantes nº 08 da Licença de Instalação nº 17.033/2015 e a nº 09 da Licença de Operação nº 35.980/2019, emitidas pelo Instituto Água e Terra, que afirmam que o Programa de Monitoramento do Lençol Freático e Qualidade das Águas Subterrâneas, deverá ter sua continuidade conforme cronograma, e ser apresentado relatório conclusivo, tendo como objetivo gerar informações que permitam avaliar o comportamento e dinâmica do lençol freático e da qualidade da água na área de influência direta, em função do enchimento do reservatório da UHE Baixo Iguaçu.

Este objetivo foi alcançado por meio de medições periódicas, da profundidade do nível da água e do comportamento dos parâmetros de qualidade da água do sistema aquífero livre, em áreas definidas no entorno do reservatório. De maneira que o nível piezométrico ao longo das margens do reservatório, permite a análise e elaboração de medidas mitigadoras, quando necessárias, para fazer frente aos efeitos adversos das variações do nível do freático, caso elas ocorram.

4.1 - Objetivos Específicos

- Efetuar o monitoramento do nível do lençol freático;
- Caracterizar a qualidade das águas subterrâneas por meio da determinação de parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos;
- Comparar os resultados dos parâmetros analisados com aqueles propostos pela Portaria do Ministério da Saúde nº 888/2021, conforme enquadramento das águas subterrâneas e de acordo com os usos preponderantes;
- Monitorar as variações sazonais da qualidade e nível das águas subterrâneas;
- Identificar as áreas sensíveis à desestabilização de encostas, vulneráveis à contaminação das águas subterrâneas, passíveis de maior disponibilidade de água, e locais que sofrerão outras interferências resultantes da elevação do nível da água (perda de estruturas, desmoronamento de poços, afogamento radicular da vegetação adjacente, criação de áreas úmidas e alagadas, etc.);
- Identificar possíveis áreas/ações/atividades que sejam fontes de contaminação da água subterrânea, notadamente aquelas relacionadas ao empreendimento;
- Auxiliar na tomada de decisão quanto à implementação de ações e medidas de prevenção, mitigação, controle e potencializadoras, relacionadas aos impactos ambientais nas águas subterrâneas resultantes do empreendimento;
- Propor a rede de monitoramento para a fase de pós-enchimento ou a conclusão do programa, após a estabilização das condições do lençol freático.

5 METODOLOGIA

5.1 Monitoramento do Nível do Lençol Freático

O monitoramento do nível do lençol freático foi realizado nos 08 (oito) pontos, conforme apresentado nas Figuras 2 a 6, com periodicidade trimestral. Em cada um dos oito pontos de monitoramento, foram estabelecidas três posições (a, b, c) de medição, em cada seção (Figura 2 e Figura 3). Assim, entre Monitoramento do Nível da Água (MNA) e Poços de Monitoramento (PM), foram instalados 24 (vinte e quatro) locais de monitoramento (Tabela 1). Destaca-se que um dos pontos está localizado à jusante do barramento (Ponto 8), na margem esquerda do rio Iguaçu, onde o mesmo já tenha recuperado a sua configuração natural (aproximadamente um quilômetro a jusante da barragem) e terá por objetivo avaliar a flutuação do lençol resultante da variação das vazões do Rio Iguaçu. Os demais estão localizados a montante, conforme figuras 3, 4 e 5.

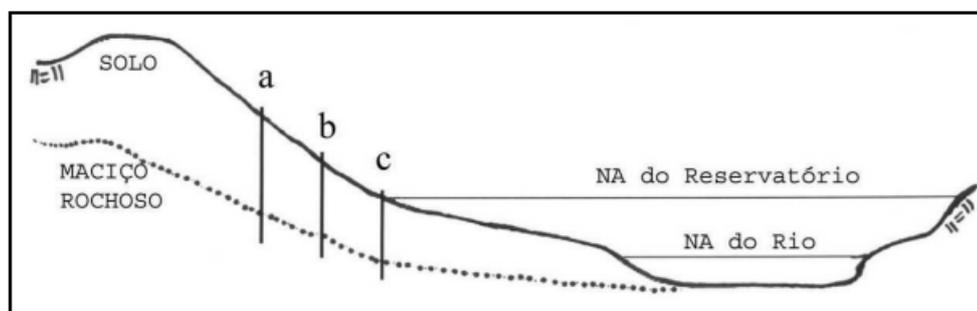


Figura 2 – Posição esquemática para os MNAs e PMs.

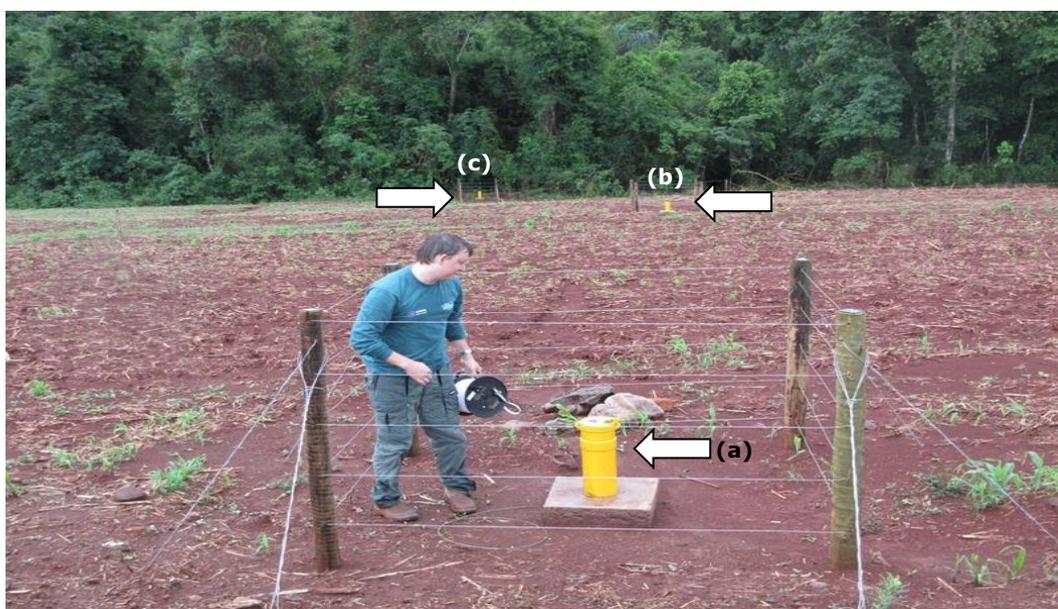


Figura 3 – Posição esquemática para os MNAs e PMs.

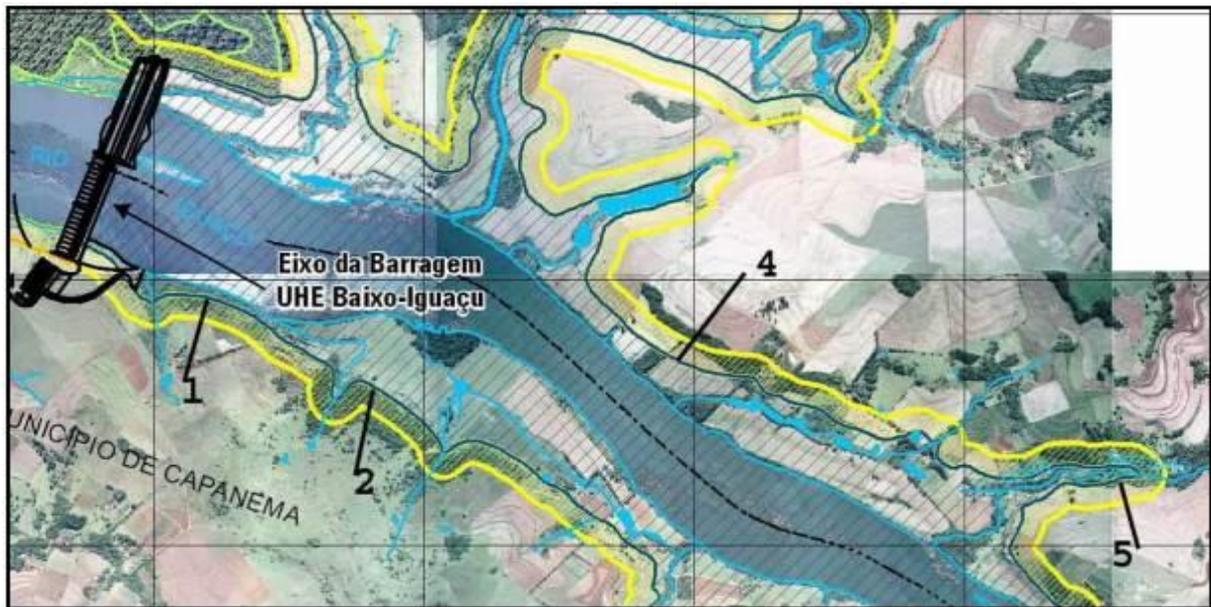


Figura 4 – Seções representativas dos pontos 1, 2, 4 e 5.

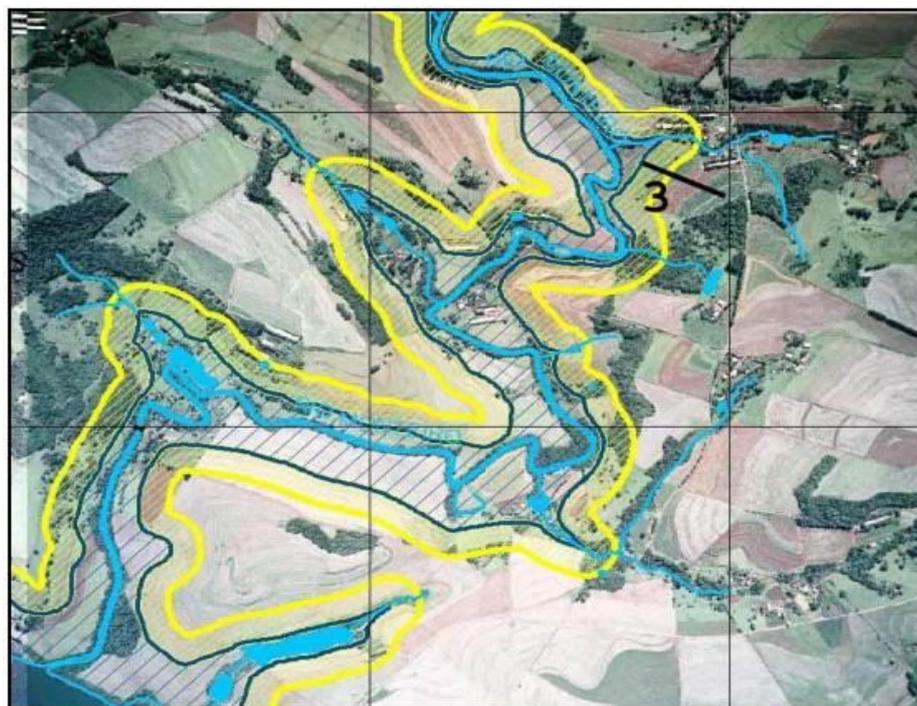


Figura 5 – Seção representativa do ponto 3.

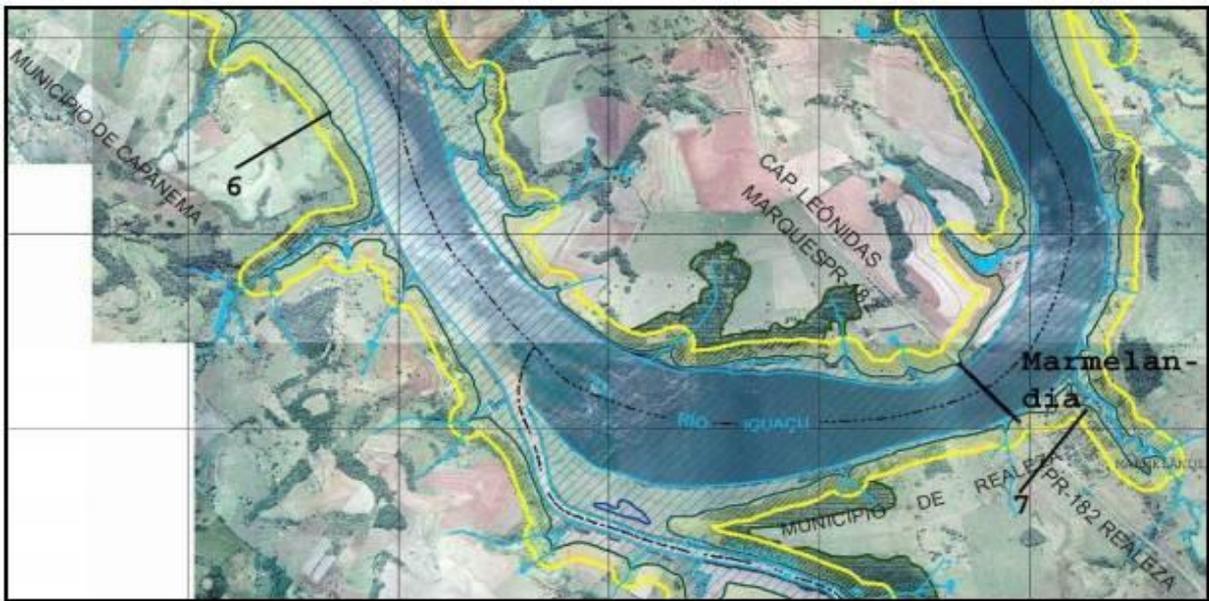


Figura 6 – Seções representativas dos pontos 6 e 7.

Nos pontos 1, 2, 4, 6 e 8, foram instalados MNAs nas três posições “a”, “b” e “c”, já que nestes pontos o interesse foi avaliar a variação do nível do freático, considerando que representam regiões onde ocorre agricultura e pecuária e, onde está sendo formada a mata ciliar do reservatório.

Nos pontos 3, 5 e 7 foram instalados MNAs em duas posições, “a” e “b”, e PMs na posição “c”, considerando o monitoramento da qualidade da água nos mesmos. Deste modo, o monitoramento do nível de água do freático foi realizado em todos os pontos, incluindo os poços de monitoramento (PMs).

Nos pontos 3, 5 e 7 foi avaliada a qualidade da água em função de serem regiões que drenam áreas urbanas ou rurais de intenso uso agrícola e pecuário, como a área urbana de Capitão Leônidas Marques, onde se encontra o maior aglomerado populacional às margens do Rio Iguaçu e do reservatório.

A Tabela 1 apresenta uma síntese das características dos poços monitorados neste programa.

Tabela 1 – Características dos poços de monitoramento (nível do freático e qualidade da água), na área de influência da UHE Baixo Iguaçu.

Poços	Local	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Altura Boca Poço (m)	*Profundidade Poço (m)
PMNA-1A	Margem esquerda	25°30'38,71"S	53°40'10,73"O	276	0,40	13,70
PMNA-1B	Margem esquerda	25°30'37,80"S	53°40'11,40"O	272	0,40	10,60
PMNA-1C	Margem esquerda	25°30'36,20"S	53°40'10,90"O	265	0,40	10,80
PMNA-2A	Margem esquerda	25°30'54,11"S	53°39'40,33"O	281	0,40	10,80
PMNA-2B	Margem esquerda	25°30'52,10"S	53°39'40,50"O	277	0,40	24,60
PMNA-2C	Margem esquerda	25°30'50,70"S	53°39'40,40"O	265	0,40	19,60
PMNA-3A	Margem direita	25°29'25,12"S	53°38'11,51"O	262	0,40	12,00
PMNA-3B	Margem direita	25°29'24,50"S	53°38'12,40"O	263	0,40	9,10
PM-3C	Margem direita	25°29'23,90"S	53°38'13,00"O	261	0,50	7,75
PMNA-4A	Margem direita	25°30'44,60"S	53°38'49,80"O	269	0,40	13,55
PMNA-4B	Margem direita	25°30'45,20"S	53°38'50,60"O	265	0,40	13,70
PMNA-4C	Margem direita	25°30'45,50"S	53°38'51,30"O	261	0,40	11,90
PMNA-5A	Margem direita	25°31'08,60"S	53°37'29,10"O	275	0,40	15,90
PMNA-5B	Margem direita	25°31'07,40"S	53°37'30,00"O	274	0,40	12,40
PM-5C	Margem direita	25°31'06,60"S	53°37'30,90"O	272	0,50	7,40
PMNA-6A	Margem esquerda	25°32'31,50"S	53°37'19,80"O	276	0,40	9,30
PMNA-6B	Margem esquerda	25°32'30,30"S	53°37'19,10"O	272	0,40	4,50
PMNA-6C	Margem esquerda	25°32'29,30"S	53°37'18,50"O	265	0,40	6,70
PMNA-7A	Margem esquerda	25°33'51,70"S	53°34'23,60"O	267	0,40	12,50
PMNA-7B	Margem esquerda	25°33'51,30"S	53°34'23,60"O	266	0,40	9,83
PM-7C	Margem esquerda	25°33'50,80"S	53°34'23,60"O	263	0,50	9,00
PMNA-8A	Margem esquerda	25°32'17,74"S	53°42'03,74"O	228	0,40	6,76
PMNA-8B	Margem esquerda	25°32'16,90"S	53°42'04,10"O	231	0,40	7,75
PMNA-8C	Margem esquerda	25°32'15,60"S	53°42'04,60"O	241	0,40	6,55

* Fonte: Consórcio Empreendedor Baixo Iguaçu (CEBI)

Para a leitura da profundidade do lençol freático, foi utilizado um medidor de nível Solinst® (Water Level Meter), equipamento elétrico que possui uma fita milimetrada de 10 mm de largura ligada à um sensor (**Figura 7**), que ao ser introduzido nos piezômetros emite um sinal sonoro quando encontra água, os sensores são de aço inoxidável e revestidos em polietileno, oferecendo resistência e precisão, sendo que seu desenho evita aderência em superfícies molhadas, como as das paredes dos tubos dos poços.



Figura 7 - Procedimento de medição da profundidade do lençol freático, na área de influência da UHE Baixo Iguaçu.

5.2 Classificação da Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos Subsuperficiais à Contaminação

A vulnerabilidade natural de um aquífero à contaminação está relacionada às características dos estratos que separam a zona saturada do aquífero da superfície do solo, quando uma carga contaminante é aplicada na superfície do solo (FOSTER et al., 1988). A expressão vulnerabilidade começou a ser usada a partir da década de 70 na França e indicava o grau de suscetibilidade de um aquífero de ser afetado por uma carga de contaminantes (ALBINET & MARGAT, 1970).

Sendo assim, pode-se ter em uma determinada região uma elevada vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas, mas nenhum perigo de contaminação caso não exista nenhum tipo de atividade potencialmente contaminante instalada no local e vice-versa (FOSTER et al., 2002).

Existem diferentes métodos para a avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos (FURTADO et al., 2008), como por exemplo:

- ✓ Modelos analógicos - métodos que utilizam parâmetros chave, aplicando expressões matemáticas que resultam nos índices de vulnerabilidade (MONKHOUSE, 1983).
- ✓ Sistemas paramétricos - métodos que utilizam parâmetros indicativos de vulnerabilidade natural, atribuindo valores numéricos e integrando-os para gerar o índice de vulnerabilidade. Utilizam esse sistema os métodos: de HAERTLE (1983); DRASTIC de ALLER et al (1987) e o GOD de FOSTER et al. (2002).

5.3 Classificação da área quanto à Vulnerabilidade

Para avaliar a vulnerabilidade da área de estudo foi utilizado o Método GOD (FOSTER et al., 2006). Este método é um sistema paramétrico que caracteriza a vulnerabilidade intrínseca (natural) do aquífero à contaminação, adotando os seguintes parâmetros: **(G)** Tipo de ocorrência da água subterrânea; **(O)** Classificação dos estratos acima da zona saturada do aquífero, em termos do grau de consolidação e caráter litológico; **(D)** Determinação da profundidade do nível freático (**Figura 8**).

Depois de estabelecido, para cada parâmetro, seu respectivo valor, de acordo com os intervalos de classes determinados pelo método, o índice numérico da vulnerabilidade do aquífero é resultante da multiplicação dos três parâmetros ($G \times O \times D$). A **Figura 8** descreve passo a passo os procedimentos utilizados, explanando as etapas que compõem o sistema GOD. Após a pontuação de cada etapa é feito o produto dos três valores, obtendo-se a(s) classe(s) de vulnerabilidade à(s) qual/quais pertence(m) o aquífero. Esta vulnerabilidade pode ser classificada como: desprezível (0 a 0,1), baixa (0,1 a 0,3), média (0,3 a 0,5), alta (0,5 a 0,7) e extrema (0,7 a 1,0).

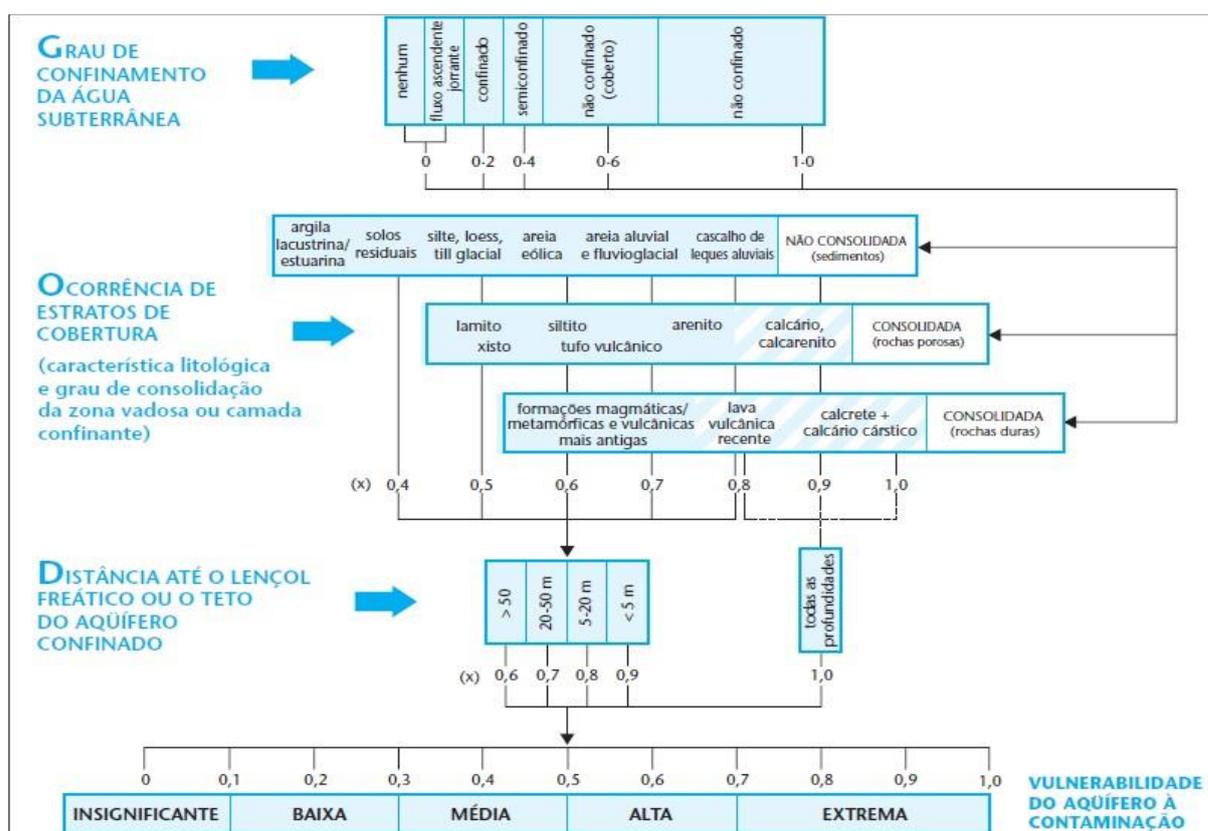


Figura 8 - Sistema GOD de avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação. **Fonte:** FOSTER et al. (2006).

5.4 Monitoramento da Qualidade da Água do Lençol Freático

Os poços de monitoramento (PMs) abrangem exclusivamente as atuais regiões com influência de processos mais acentuados de ocupação humana (agricultura e aglomerado populacional), embora em nenhum local nas proximidades do reservatório atualmente ocorram processos de urbanização de grande densidade. Destaca-se que para a análise da qualidade da água do lençol freático, foram utilizados três poços de monitoramento, com periodicidades semestral conforme destaca o Termo de Referência (3C, 5C e 7C), porém, no poço 7C foi realizado o procedimento de tamponamento, pois o mesmo encontrava-se dentro da área alagada pelo reservatório, o procedimento de tamponamento foi realizado de acordo com as orientações da instrução normativa 002/06 do Instituto Água e Terra.

O processo de retirada de amostras de águas subterrâneas seguiu as recomendações efetuadas pela Norma ABNT NBR 15847 – que trata da amostragem de águas subterrâneas, o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: água, sedimentos, comunidades aquáticas e efluentes líquidos (CETESB/ANA, 2011), bem como o Manual de Procedimentos para obtenção de amostras de água (GERPEL/INEO, 2017), conforme segue:

A retirada de amostras foi realizada com um amostrador de Inox do tipo Bailer 429. O amostrador Bailer foi baixado até a profundidade do freático, sendo que durante o processo de descida as válvulas esféricas do amostrador são abertas, liberando o fluxo de água pelo amostrador. Ao atingir a profundidade desejada o Bailer é erguido lentamente, e o peso da água mantém as válvulas fechadas, prevenindo para que não haja o vazamento da água. Na superfície o Bailer foi esvaziado diretamente no frasco de armazenamento de amostra (**Figura 9**).



Figura 9- Procedimento de coleta da água, com amostrador Bailer 429.

A temperatura do ar (termômetro), a temperatura da água, oxigênio dissolvido e porcentagem de saturação (Oxímetro), pH (pHmetro) e condutividade elétrica (Conduvívmetro) foram analisados *in loco*, para as demais variáveis a água foi encaminhada ao laboratório. Após a retirada das amostras, as mesmas foram preservadas para a realização do transporte até o

laboratório de análises. Tendo em vista que para alguns parâmetros o tempo entre a amostragem e a análise é mais reduzido que em outros casos, a preservação das amostras é de fundamental importância para que as análises gerem resultados confiáveis e dentro dos padrões de qualidade.

Os frascos de armazenamento de amostras foram alojados em caixas térmicas com gelo, de maneira que a temperatura ficasse mantida em $4 \pm 2^\circ\text{C}$ por períodos curtos de tempo e congelada em 18°C negativos para períodos longos, conforme recomendam as normas ISO 5667-4 e 5667-6.

Visando garantir a qualidade dos resultados produzidos pela análise, bem como identificar riscos de contaminação de amostras, segundo a DICLA 057-02 (INMETRO, 2017), foram adotados procedimentos que permitissem detectar interferências que pudessem ocorrer no processo de amostragem. Estes procedimentos são descritos abaixo:

Branco de Campo e de Viagem: é usado para a verificação de contaminações ambientais que podem ser adicionadas às amostras durante os procedimentos de retirada da amostra. São preparados no laboratório três frascos de branco (A, B, e C) com água deionizada. O frasco A é encaminhado imediatamente para análise e os demais vão a campo. No poço o frasco B permanece na caixa de transporte, enquanto o frasco C é retirado, aberto e exposto ao ambiente durante todo o procedimento de coleta. Ao final, o frasco C é fechado, armazenado na caixa de transporte juntamente com as demais amostras coletadas e o frasco B, sendo todos submetidos ao processo analítico requerido. Deve ser realizado pelo menos um controle (três frascos) para cada viagem realizada. Os resultados de cada controle são obtidos conforme descrito a seguir:

$$(B - A) = \text{Branco de viagem}$$

$$(C - B - A) = \text{Branco de Campo};$$

Branco de equipamento: é um procedimento utilizado para verificar possíveis contaminações mediante contato da amostra com o equipamento de amostragem. Primeiramente, antes de inserir o equipamento na amostra, deve-se enxaguar o mesmo com água deionizada, e o enxágue final deve ser coletado para posterior análise. A água deionizada coletada na lavagem do eletrodo ou equipamento introduzido na amostra não deve demonstrar qualquer alteração em sua composição, devendo apresentar resultados semelhantes ao da água deionizada original.

Duplicata de campo: É usada para medir a precisão e repetitividade dos procedimentos de coleta, através da comparação dos resultados da análise de duas amostras coletadas de um mesmo local, que são encaminhadas ao laboratório como amostras “cegas” (USEPA, 2005). São retiradas duas amostras ao mesmo tempo de um local (R1 e R2), as quais são encaminhadas ao laboratório e analisadas. A variação entre os resultados das duplicatas (RPD) é calculada de acordo com a fórmula a seguir (INMETRO, 2017). Segundo a DICLA 057-2, são consideradas “normais” variações no resultado na ordem de 20%.

$$RPD = \left[\frac{(R1 - R2)}{\frac{(R1 + R2)}{2}} \right] * 100$$

Temperatura de Transporte e Armazenamento: é utilizada para garantir que o sistema de refrigeração adotado é eficiente. A temperatura das amostras deve ser avaliada no momento de chegada ao laboratório, pela medida da temperatura do frasco controle, e o valor obtido deve ser

relacionado à temperatura da água e do ambiente no momento da coleta e ao tempo de armazenamento.

Os resultados e padrões de qualidade da água subterrâneas relacionados na Tabela 2, foram estabelecidos conforme a Portaria de Consolidação nº 888 de 04 de maio de 2021 do Ministério da Saúde, considerando-se como uso preponderante o consumo humano, e conforme proposto no Plano Básico Ambiental. Os métodos utilizados para a análise da qualidade da água foram aqueles constantes no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2017).

Para estabelecer as diferenças na qualidade da água subterrânea entre os poços e os períodos de amostragem, as variáveis físicas, químicas e biológicas foram sumarizadas através da análise de componentes principais (ACP), sendo retidos para posterior análise os eixos que obedeceram aos critérios de Broken-Stick (autovalores > 1,0; PERES-NETO et al., 2005). Os procedimentos para realização e interpretação dos resultados seguiram as recomendações de MCCUNE & GRACE (2002), sendo utilizado o software Pc-Ord 5.31® (MCCUNE & MEFFORD, 2006).

Destaca-se que as análises dos parâmetros físicos e químicos foram realizadas no Laboratório de Qualidade da Água do GERPEL/INEO, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, acreditação ISO/IEC 17025, CRL nº 1356 (em anexo), cadastro no Instituto Ambiental do Paraná IAPCCL nº 089, que segue os padrões estabelecidos pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Os metais pesados, organoclorados e organofosforados e alguns outros parâmetros foram terceirizados para laboratórios FREITAG que também é acreditado pela ISO/IEC 17025 (CRL nº 0687) e cadastrado no Instituto Ambiental do Paraná (IAPCCL nº 003), ou para o TECPAR Acreditação ISO 17025, CRL nº 0244 e IAPCCL nº 020.

Os dados de nível (m) foram obtidos através da média mensal das séries históricas da estação de monitoramento telemétrico e hidrometeorológico UHE Baixo Iguaçu Barramento, provenientes da base de dados da ANA (Agência Nacional das Águas), assim como as informações de precipitação (mm), sendo utilizada a precipitação acumulada correspondente ao mês de amostragem.

Tabela 2 - Variáveis físicas, químicas e biológicas avaliadas na água subterrânea dos poços situados na Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, amostrados em maio de 2020 a novembro de 2021.

Parâmetro	Unidade	Coleta	Preservação	Método de Análise	Aparelho	Referência
Cálcio	mg/L	Bailer	HNO ₃ , Refrigerado ≤6°C	Titulométrico EDTA SMWW, 23ª ed. 2017, Método 3030 D, E, F, G,H e I, Método 3111 D	Microbureta	APHA (2017)
Potássio*	mg/L	Bailer	Refrigerado ≤6°C	Espectrometria de emissão de plasma: Método de plasma indutivamente acoplado (ICP) SMWW, 23ª ed. 2017. Método 3120 B	ICP	APHA (2017)
Sódio*	mg/L	Bailer	Refrigerado ≤6°C	Espectrometria de Absorção Atômica (EAA) SMWW, 23ª ed. 2017, Método 3030 D, E, F, G,H e I, Método 3111 B	Espectrofotômetro de Absorção Atômica (EAA)	APHA (2017)
Cloretos	mg/L	Bailer	Refrigerado ≤6°C	Titulométrico – Nitrato de Mercúrio SMEWW - 23ª ed. 2017. Método: 4500-Cl-C	Microbureta	APHA (2017)
Coliformes totais e fecais	NMP/100mL	Bailer	Frascos Esterilizados, Refrigerado ≤6°C	Teste de coliforme de substrato enzimático SMEWW - 23ª ed. 2017. Método: 9223-B	Lâmpada UV	APHA (2017)
Condutividade elétrica	µS/cm	<i>in loco</i>	Refrigerado ≤6°C	Potenciométrico SMEWW - 23ª ed. 2017. Método: 2510 B	Condutímetro/Sonda	APHA (2017)
Ferro Total	mg/L	Bailer	HNO ₃ , Refrigerado ≤6°C	Colorimétrico Method 8008 - Hach	Espectrofotômetro HACH	APHA (2017)
Fósforo Total	mg/L	Bailer	H ₂ SO ₄ , pH < 2, Refrigerado ≤6°C	Colorimétrico (digestão ácida) SMEWW - 23ª ed. 2017. Método: 4500-P B,E	Espectrofotômetro	APHA (2017)
Magnésio	mg/L	Bailer	HNO ₃ , Refrigerado ≤6°C	Método de Cálculo SMEWW - 23ª ed. 2017. Método 3500 B - Mg	ICP	APHA (2017)
Nitrato	mg/L	Bailer	Refrigerado ≤6°C	Colorimétrico SMEWW - 23ª ed. 2017. Método 8039	Espectrofotômetro HACH	HACH/ APHA (2017)
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	Bailer	H ₂ SO ₄ , pH < 2, Refrigerado ≤6°C	Colorimétrico (indofenol) SMEWW - 23ª ed. 2017. Método 4500–NH ₃ -F	Espectrofotômetro	APHA (2017)
Nitrogênio Orgânico	mg/L	Bailer	H ₂ SO ₄ , pH < 2, Refrigerado ≤6°C	Titulométrico - Digestão ácida SMEWW - 23ª ed. 2017. Método 4500 – Norg B	Microbureta	APHA (2017)
Nitrogênio Total kjeldahl	mg/L	Bailer	H ₂ SO ₄ , pH < 2, Refrigerado ≤6°C	Titulométrico - Digestão ácida SMEWW - 23ª ed. 2017. Método 4500 -Norg B/ Método 4500 – NH ₃ -F	Microbureta	APHA (2017)
Oxigênio dissolvido	mg/L	<i>in loco</i>	-	Potenciométrico – Eletrodo de Membrana SMEWW - 232ª ed. 2017. Método: 4500-O-G	Oxímetro/Sonda	APHA (2017)
Oxigênio dissolvido	% de Sat.	<i>in loco</i>	-	Potenciométrico – Eletrodo de Membrana SMEWW - 23ª ed. 2017. Método: 4500-O-G	Oxímetro/Sonda	APHA (2017)
pH	-	<i>in loco</i>	-	Potenciométrico SMEWW - 23ª ed. 2017. Método: 4500 H ⁺	pHmetro/Sonda	APHA (2017)

Parâmetro	Unidade	Coleta	Preservação	Método de Análise	Aparelho	Referência
Potencial Redox	mV	<i>in loco</i>	-	Potenciométrico SMEWW - 23ª ed. 2017. Método: 4500 H ⁺	pHmetro/Sonda	APHA (2017)
Sólidos Dissolvidos	mg/L	Bailer	Refrigerado ≤6°C	Gravimétrico SMEWW - 23ª ed. 2017. Método: 2540-C	Estufa	APHA (2017)
Temperatura da água	°C	<i>in loco</i>	-	Método de Laboratório e Campo SMEWW - 23ª ed. 2017. Método: 2550-B	Oxímetro/Sonda multiparamétrica	APHA (2017)
Temperatura do ar	°C	<i>in loco</i>	-	-	Termômetro de bulbo	ESTEVES (2011)
Turbidez	NTUs	<i>in loco</i>	-	Nefelométrico SMEWW - 23ª ed. 2017. Método: 2130 A, B	Turbidímetro	APHA (2017)
Metais Pesados e Agrotóxicos						
Alumínio*	mg/L	Bailer	Refrigerado ≤6°C	Absorção atômica SMEWW - 23ª ed. 2017 - Método: 3120 B	Cromatógrafo	APHA (2017)
Bário*	mg/L	Bailer	Refrigerado ≤6°C	Absorção atômica SMEWW - 23ª ed. 2017 - Método: 3120 B	Cromatógrafo	APHA (2017)
Cádmio*	mg/L	Bailer	Refrigerado ≤6°C	Espectrometria de emissão de plasma: método de plasma indutivamente acoplado (ICP) SMWW, 23ª ed. 2017, Método 3120 B Absorção atômica	ICP	APHA (2017)
Cobre*	mg/L	Bailer	Refrigerado ≤6°C	Espectrometria de emissão de plasma: método de plasma indutivamente acoplado (ICP) SMWW, 23ª ed. 2017, Método 3120 B Absorção atômica	ICP	APHA (2017)
Cromo*	mg/L	Bailer	Refrigerado ≤6°C	Espectrometria de emissão de plasma: método de plasma indutivamente acoplado (ICP) SMWW, 23ª ed. 2017, Método 3120 B Absorção atômica	ICP	APHA (2017)
Chumbo*	mg/L	Bailer	Refrigerado ≤6°C	Espectrometria de emissão de plasma: método de plasma indutivamente acoplado (ICP) SMWW, 23ª ed. 2017, Método 3120 B Absorção atômica	ICP	APHA (2017)
Manganês*	mg/L	Bailer	Refrigerado ≤6°C	Absorção atômica SMEWW - 23ª ed. 2017. Método 3030 F/3120 B	Cromatógrafo	APHA (2017)
Níquel*	mg/L	Bailer	Refrigerado ≤6°C	Absorção atômica Absorção atômica SMEWW - 23ª ed. 2017. Método 3030 F/3120 B	Cromatógrafo	APHA (2017)
Prata*	mg/L	Bailer	Refrigerado ≤6°C	Absorção atômica SMEWW - 23ª ed. 2017. Método: 3120 B	Cromatógrafo	APHA (2017)
Zinco*	mg/L	Bailer	Refrigerado ≤6°C	Absorção atômica SMEWW - 23ª ed. 2017. Método: 3030F/3120 B	Cromatógrafo	APHA (2017)
Organoclorados**	mg/L	Bailer	Refrigerado ≤6°C	LC-MS/MS	Espectrofotômetro	APHA (2017)
Organofosforados**	mg/L	Bailer	Refrigerado ≤6°C	LC-MS/MS	Espectrofotômetro	APHA (2017)

OBS: (*) parâmetros terceirizados para Freitag Laboratórios Ltda, Acreditação ISSO/IEC 17025, CRL nº 0687 e IAPCCL nº 003.

(**) parâmetros terceirizados para Tecpar, Acreditação ISO 17025, CRL nº 0244 e IAPCCL nº 020.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

- **Monitoramento do Nível do Lençol Freático**

A precipitação pluvial (chuva) é a principal forma de retorno de água da atmosfera para a superfície terrestre, após o processo de evaporação e condensação. Desta forma, o ciclo hidrológico é responsável por retornar a maior parte da água doce ao planeta. O Brasil vem enfrentando uma grande recessão hídrica nos últimos anos, assim como a região da UHE Baixo Iguaçu, com precipitação acumulada variando de 0 mm (junho a dezembro de 2020) a 135,4 mm (outubro de 2021), apresentando pouca oscilação do nível do reservatório da UHE Baixo Iguaçu (Figura 10).

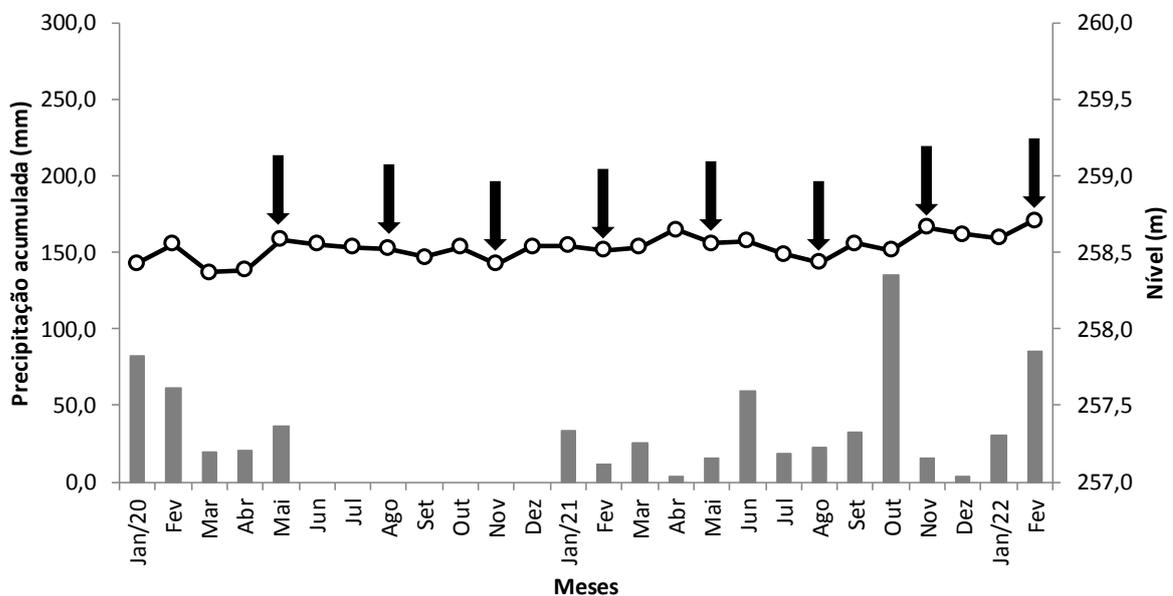


Figura 10 - Precipitação acumulada (barras) e vazões (linha contínua) mensais do rio Iguaçu, registradas na estação da UHE Baixo Iguaçu Jusante, meses em que foram realizadas as análises de nível do freático (Fonte: ANA, 2022).

Os resultados abaixo apresentam a flutuação do nível do lençol freático durante o monitoramento realizado entre maio de 2020 e novembro de 2021 na área de influência da UHE Baixo Iguaçu. No primeiro piezômetro (PMNA-1A) localizado no início do reservatório na margem esquerda do rio Iguaçu, o nível estático do lençol freático apresentou oscilações entre 9,77 metros em fevereiro de 2022 (maior profundidade) e 6,80 metros em agosto de 2021 (menor profundidade) (**Figura 11**). No segundo piezômetro (PMNA-1B) as oscilações durante a medição foram entre 10,45 metros, amostrados em maio de 2020 e 10,30 metros em maio de 2021, porém o poço estava sem água (seco) (**Figura 11**). E no terceiro piezômetro (PMNA-1C), o mais próximo da margem do rio, nível do freático ficou entre 4,58 metros da superfície do solo em novembro de 2020 e 3,68 metros em fevereiro de 2021 (menor profundidade) (**Figura 11**).

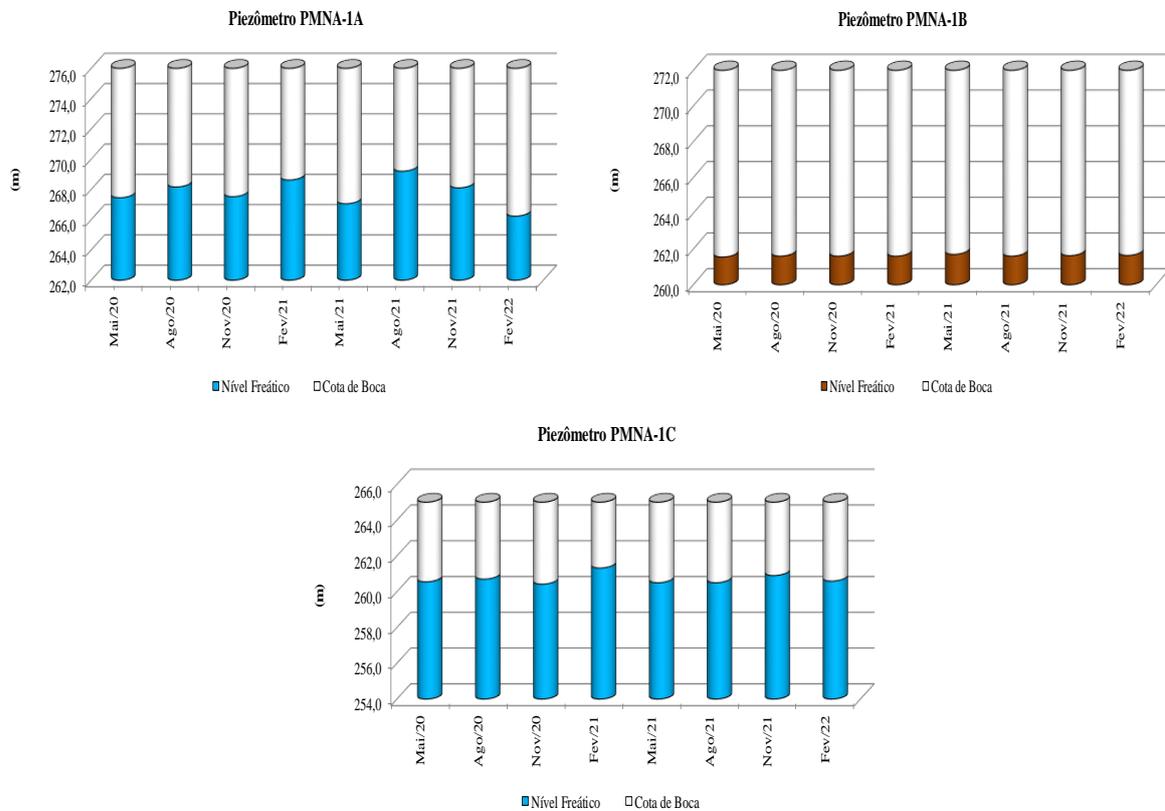


Figura 11 - Profundidade do lençol freático no poço de monitoramento PMNA-1, avaliada entre maio de 2020 e fevereiro de 2022. A cor azul representa o lençol freático e a cor marrom sedimento.

Comparando-se a flutuação do nível do freático no poço de monitoramento PMNA-2, localizado na margem esquerda do reservatório, notou-se que o nível da água subterrânea variou entre 9,00 metros em agosto de 2021 e 5,56 metros da superfície do solo em fevereiro de 2021 no poço 2A (**Figura 12**). No segundo piezômetro (PMNA-2B) o nível freático oscilou de 16,96 metros (fevereiro de 2022) a 13,70 metros (fevereiro de 2021) da superfície (**Figura 12**), e no terceiro piezômetro (PMNA-2C), o nível freático flutuou entre 6,15 metros (fevereiro de 2022) e 5,75 metros (fevereiro de 2021) da superfície do solo. No geral o nível freático registrou pouca flutuação entre os meses, porém estando mais próximo a superfície do solo em fevereiro de 2021 (**Figura 12**).

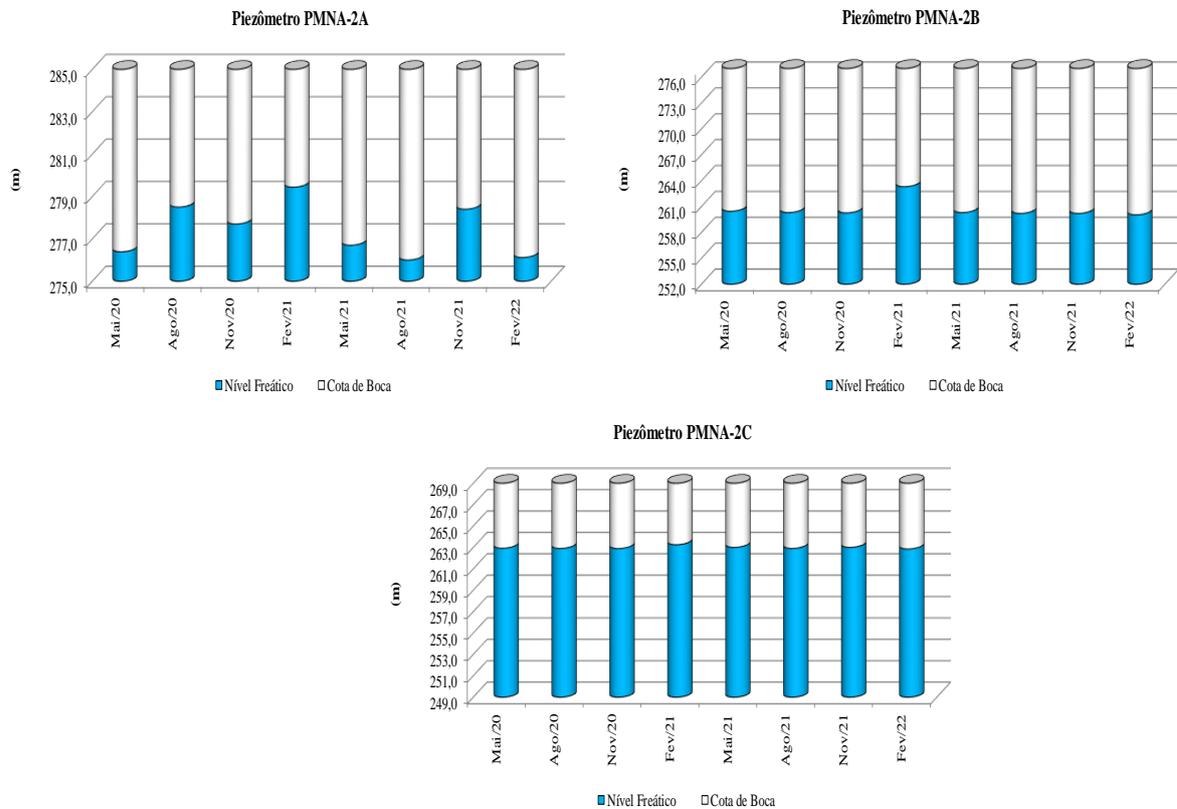


Figura 12 - Profundidade do lençol freático no poço de monitoramento PMNA-2, avaliada maio de 2020 e fevereiro de 2022. A cor azul representa o lençol freático.

Nos piezômetros localizados na margem esquerda do rio Monteiro (PMNA-3), verificou-se baixa oscilação do nível freático entre os meses amostrados, onde o piezômetro PMNA-3A variou entre 6,00 metros em novembro de 2020 (maior profundidade) e 4,15 metros em fevereiro de 2021 (menor profundidade) (**Figura 13**). No segundo piezômetro (PMNA-3B) a variação do nível do freático foi de 4,83 metros (novembro de 2020) a 3,70 metros (fevereiro de 2021) (**Figura 13**), e no terceiro piezômetro (PMNA-3C), o poço mostrou variação de 3,25 metros (novembro de 2020) e 2,55 metros (fevereiro de 2021). No geral o nível freático registrou maior profundidade em novembro de 2020, e estando mais próximo da superfície do solo em fevereiro de 2021 (**Figura 13**).

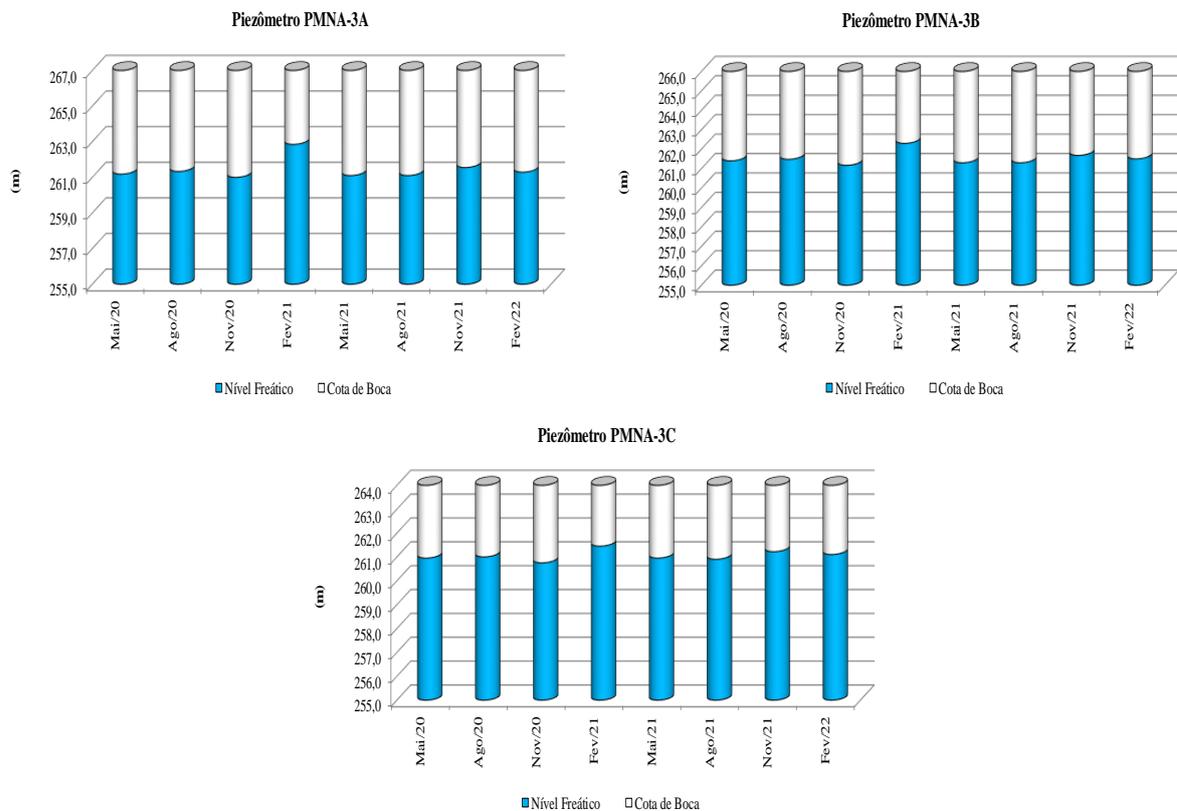


Figura 13 - Profundidade do lençol freático no poço de monitoramento PMNA-3, avaliada entre maio de 2020 e fevereiro de 2022. A cor azul representa o lençol freático.

Nos piezômetros localizados na margem direita do reservatório (PMNA-4), o nível do lençol freático oscilou com maior profundidade ao poço de maior distância da margem do reservatório, com 12,38 metros (agosto de 2021) e 8,95 metros (maio de 2021) da superfície do solo (**Figura 14**), enquanto na seção intermediária (PMNA-4B) o nível do lençol freático oscilou de 12,20 metros (maio de 2021) a 7,80 metros (fevereiro de 2021) (**Figura 14**), e o poço mais próximo da margem do reservatório (PMNA-4C), o nível do freático apresentou menor profundidade, variando de 5,49 metros (novembro de 2020) a 4,50 metros (fevereiro de 2021) da superfície do solo (**Figura 14**).

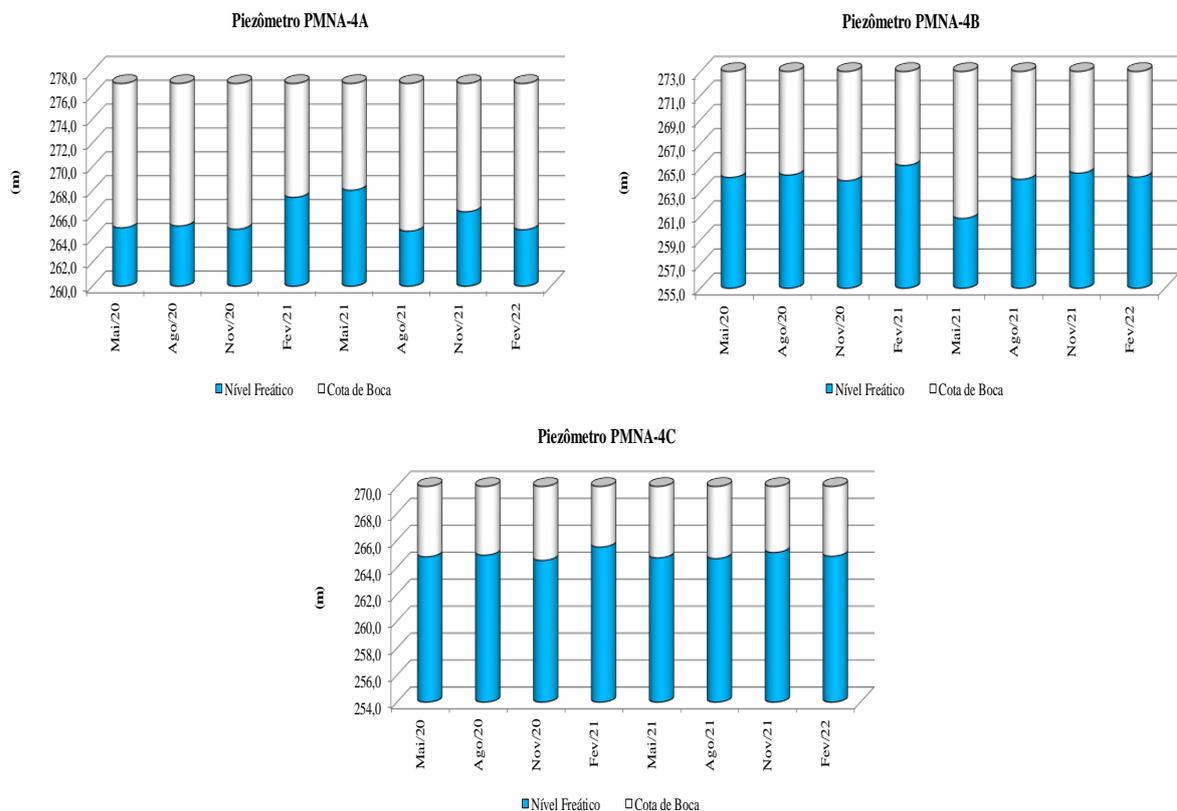


Figura 14 - Profundidade do lençol freático no poço de monitoramento PMNA-4, avaliada entre maio de 2020 e fevereiro de 2022. A cor azul representa o lençol freático.

Nos poços localizados na parte intermediária do reservatório, no piezômetro PMNA-5, instalado na margem direita do reservatório, no primeiro piezômetro (5A), não foi possível realizar a medição entre maio de 2021 a fevereiro de 2022, pois o mesmo encontra-se entupido por pedra, impedindo a passagem da trena, entretanto nos meses de amostragem registrou maior profundidade (13,68 metros) em maio de 2020 e menor em fevereiro de 2021 (7,95 metros) (**Figura 15**). No segundo piezômetro (PMNA-5B) em fevereiro de 2021, o freático encontrava-se mais próximo da superfície (4,90 metros), enquanto que em novembro de 2020 o freático estava mais baixo, a 4,90 metros da superfície (**Figura 15**). No terceiro piezômetro (PMNA-5C), o mais próximo da margem do rio, o lençol freático oscilou de 2,90 metros (fevereiro de 2021) a 7,30 metros (novembro de 2020) da superfície do solo, sendo assim, todos os poços mensurados apresentaram flutuação do nível freático, estando mais próximo da superfície do solo em novembro de 2020 (poço B e C) (**Figura 15**).

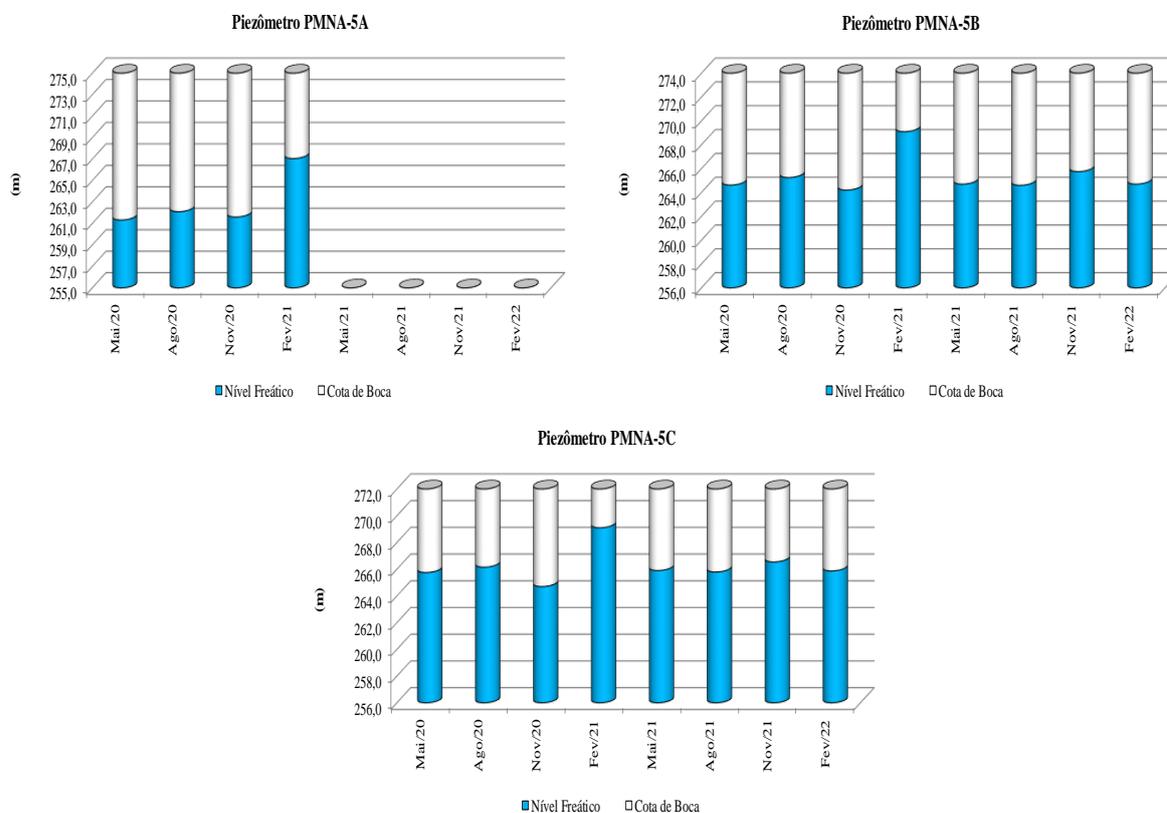


Figura 15 - Profundidade do lençol freático no poço de monitoramento PMNA-5, avaliada entre maio de 2020 e fevereiro de 2022. A cor azul representa o lençol freático.

Quanto ao piezômetro PMNA-6 também instalados na seção intermediária do reservatório, porém, situados na margem esquerda, o piezômetro PMNA-6A apresentou profundidade de 6,05 metros em novembro de 2021 e 5,00 metros em maio de 2020, porém, o mesmo encontra-se sem água, com sedimento ao fundo (**Figura 16**). No piezômetro PMNA-6B o nível apresentou pouca oscilação, variando de 2,00 metros (fevereiro de 2021) a 3,10 metros (fevereiro de 2022) da superfície do solo (**Figura 16**), enquanto no piezômetro PMNA-6C, o freático oscilou de 5,45 metros (maio de 2020) a 1,25 metros (fevereiro de 2021) da superfície do solo (**Figura 16**). No geral os poços 6B e 6C apresentaram flutuação do nível do freático, estando mais próximos da superfície em fevereiro de 2021.

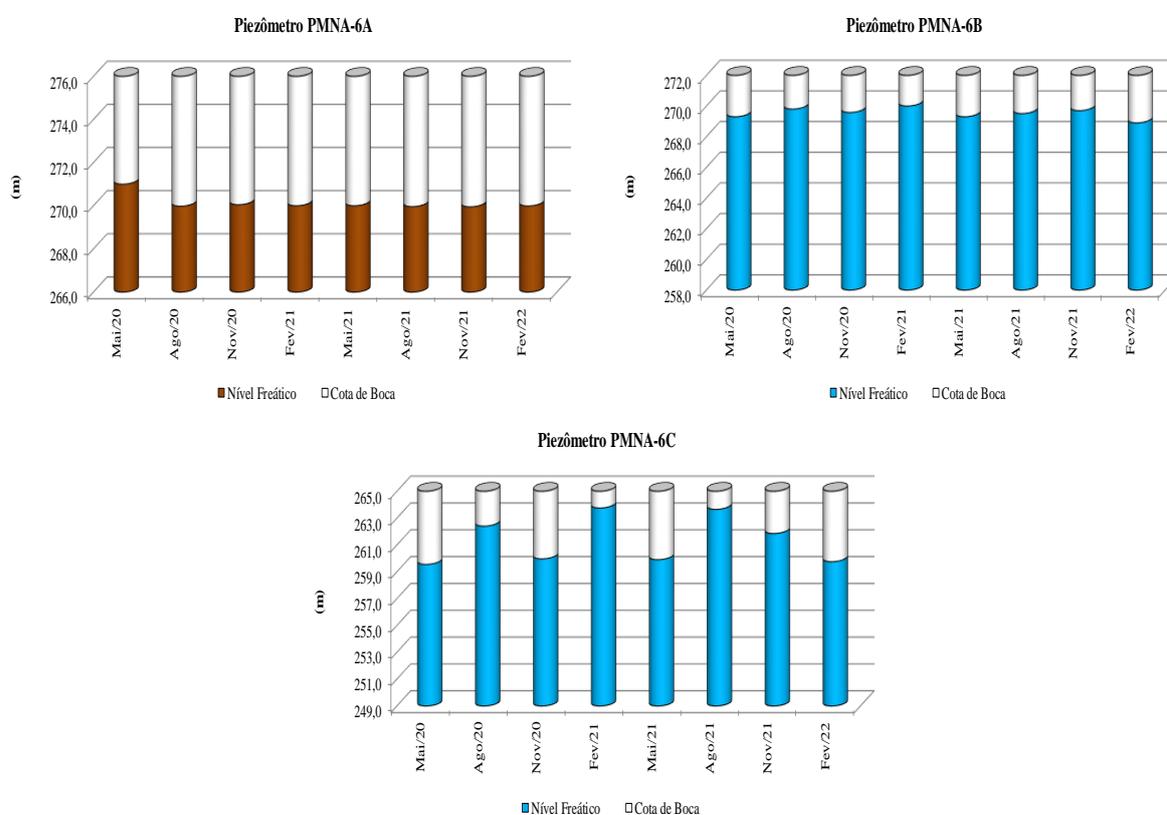


Figura 16 - Profundidade do lençol freático no poço de monitoramento PMNA-6, avaliada entre maio de 2020 e fevereiro de 2022. A cor azul representa o lençol freático e a cor marrom sedimento.

Para os poços de monitoramento PMNA-7, localizados na margem esquerda do reservatório, sendo o mais próximo a montante, o piezômetro PMNA-7A, foi observada a variação do freático entre 2,78 metros (novembro de 2020) e 2,30 metros (novembro de 2021) (**Figura 17**), no segundo piezômetro amostrado (PMNA-7B), o nível estava a 1,73 metros em novembro de 2020 e 1,30 metros em novembro de 2021. No geral ambos os poços apresentaram maior profundidade em novembro de 2020 e menor em novembro de 2021 (**Figura 17**).

Monitoramento do Lençol Freático e da Qualidade da Água subterrânea da UHE Baixo Iguaçu

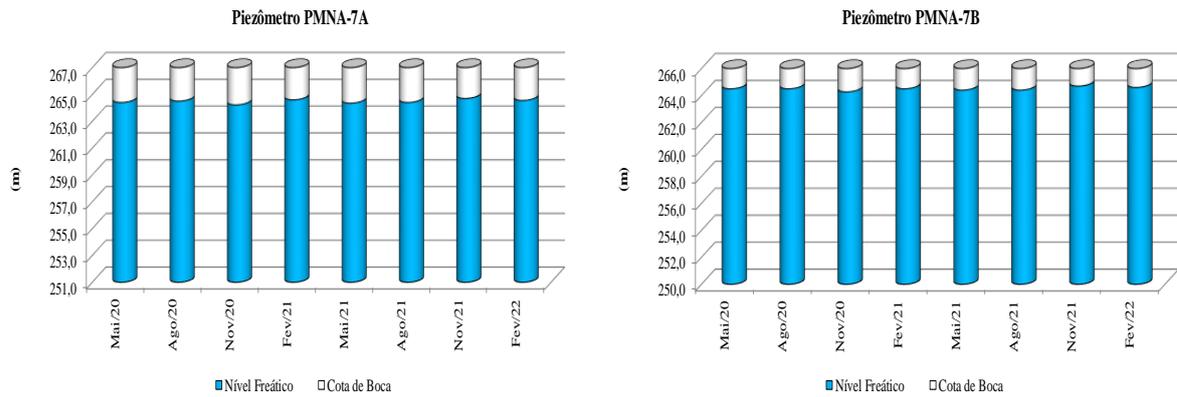


Figura 17 - Profundidade do lençol freático no poço de monitoramento PMNA-7, avaliada entre maio de 2020 e fevereiro de 2022. A cor azul representa o lençol freático.

Os dados de monitoramento do nível d'água medidos nos poços de monitoramento a jusante do reservatório apresentaram valores próximos entre os piezômetros e meses, sendo piezômetro PMNA-8A, o nível do lençol freático variou de 4,45 metros (agosto de 2021) a 2,69 metros (fevereiro de 2021), no segundo piezômetro (PMNA-8B) o nível oscilou entre 5,07 metros (fevereiro de 2022) e 3,75 metros (fevereiro de 2021), enquanto que no terceiro piezômetro (PMNA-8C), a variação foi entre 5,05 metros (fevereiro de 2022) e 4,14 metros (fevereiro de 2021) da superfície do solo. Os poços apresentaram menor profundidade, ou seja, estando mais próximo da superfície do solo em fevereiro de 2021 (**Figura 18**).

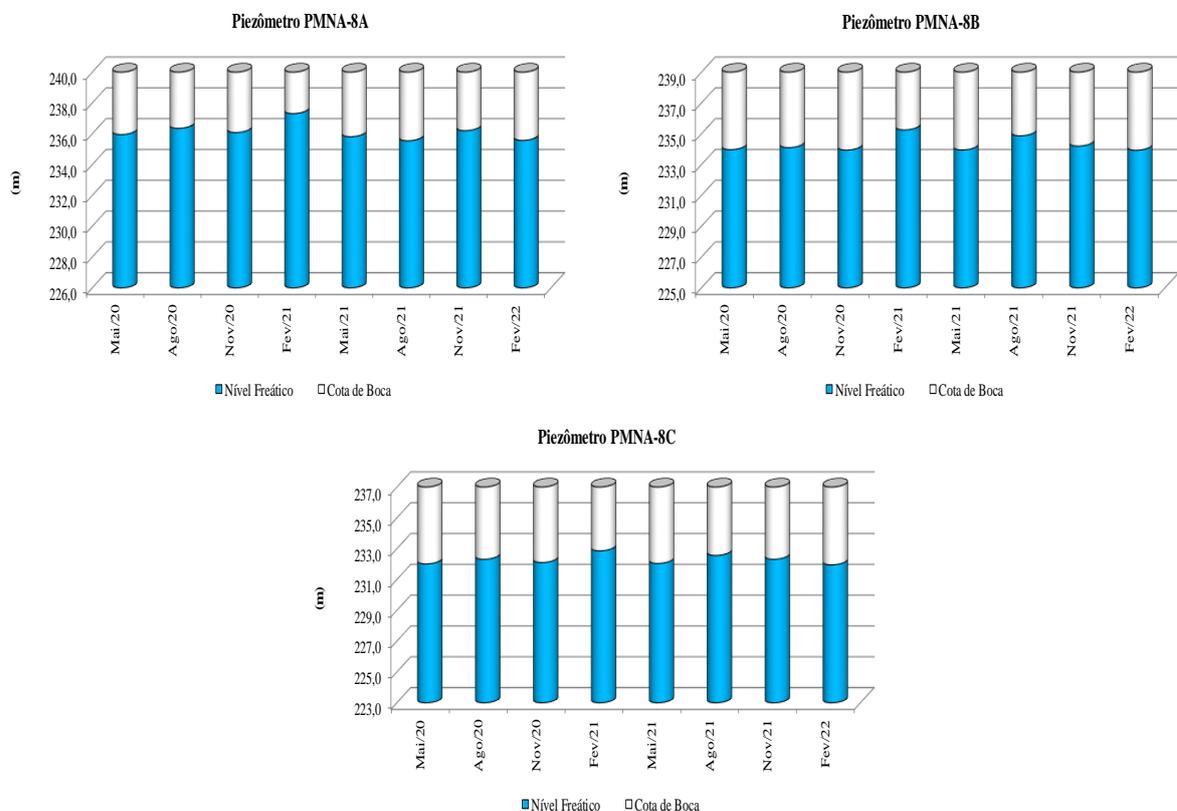


Figura 18 - Profundidade do lençol freático no poço de monitoramento PMNA-8, avaliada entre maio de 2020 e fevereiro de 2022. A cor azul representa o lençol freático.

Na área de alagamento do UHE Baixo Iguaçu, não foi identificado áreas de afogamento radicular da vegetação adjacente e criação de áreas úmidas alagadas, bem como a identificação de locais de perda de estrutura e de desmoronamento, pois na região predomina o latossolo, normalmente profundos e bem drenados.

Na região de estudo o aquífero é livre e o parâmetro (G) recebeu o valor 1,0 de acordo com o grau de confinamento disposto no modelo. O valor do parâmetro (O) foi atribuído segundo a interpretação da caracterização do tipo de solo e também da geologia de superfície. O material que compõe a zona não saturada na região é Basalto (rocha ígnea eruptiva), adotando-se para o fator (O) o valor de 0,6 para todos os poços, segundo o índice GOD. Os valores do nível estático correspondem ao parâmetro (D) do índice GOD (**Tabela 3**). Os valores de vulnerabilidade obtidos para os poços de monitoramento abrangem uma classe de vulnerabilidade à contaminação do aquífero (média) e variam no intervalo de 0,48 a 0,54. A classe de vulnerabilidade média ou “Moderada”, expressa que a região é vulnerável para alguns poluentes, porém apresenta capacidade atenuadora mais eficaz que as classes alta e extrema. Entretanto, resíduos e/ou efluentes resultam em risco de contaminação quando são continuamente descartados ou em situação de vazamento.

Tabela 3 - Valores dos parâmetros GOD e de vulnerabilidade para os poços de monitoramento.

POÇOS	G	O	D	VULNERABILIDADE	ÍNDICE
PMNA-1A	1	0,6	0,8	0,48	MODERADA
PMNA-1B	1	0,6	0,8	0,48	MODERADA
PMNA-1C	1	0,6	0,9	0,54	MODERADA
PMNA-2A	1	0,6	0,8	0,48	MODERADA
PMNA-2B	1	0,6	0,8	0,48	MODERADA
PMNA-2C	1	0,6	0,8	0,48	MODERADA
PMNA-3A	1	0,6	0,8	0,48	MODERADA
PMNA-3B	1	0,6	0,9	0,54	MODERADA
PMNA-3C	1	0,6	0,9	0,54	MODERADA
PMNA-4A	1	0,6	0,8	0,48	MODERADA
PMNA-4B	1	0,6	0,8	0,48	MODERADA
PMNA-4C	1	0,6	0,8	0,48	MODERADA
PMNA-5A	1	0,6	0,8	0,48	MODERADA
PMNA-5B	1	0,6	0,8	0,48	MODERADA
PMNA-5C	1	0,6	0,8	0,48	MODERADA
PMNA-6A	1	0,6	0,8	0,48	MODERADA
PMNA-6B	1	0,6	0,9	0,54	MODERADA
PMNA-6C	1	0,6	0,9	0,54	MODERADA
PMNA-7A	1	0,6	0,9	0,54	MODERADA
PMNA-7B	1	0,6	0,9	0,54	MODERADA
PMNA-8A	1	0,6	0,9	0,54	MODERADA
PMNA-8B	1	0,6	0,9	0,54	MODERADA
PMNA-8C	1	0,6	0,9	0,54	MODERADA

- **Monitoramento da Qualidade da Água do Lençol Freático**

- **Temperatura do Ar (°C)**

O conceito de temperatura como uma medida de calor surge da sensação subjetiva de calor ou frio, portanto, é definida como a medição da intensidade de calor. Com relação à água, a temperatura que se produz como consequência da absorção das radiações caloríficas pelas camadas mais superficiais, depende da energia cinética média das moléculas. Uma variação de temperatura afeta parâmetros como a solubilidade dos gases na água, a densidade, a viscosidade, a tensão superficial, pressão de vapor, etc (FUNASA, 2013).

A temperatura do ar no momento das coletas oscilou entre 15,0°C no poço 3C em maio de 2021 e 39,0°C no poço 5C em novembro de 2021 (**Figura 19**). Não há limites estipulados para este parâmetro na Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS.

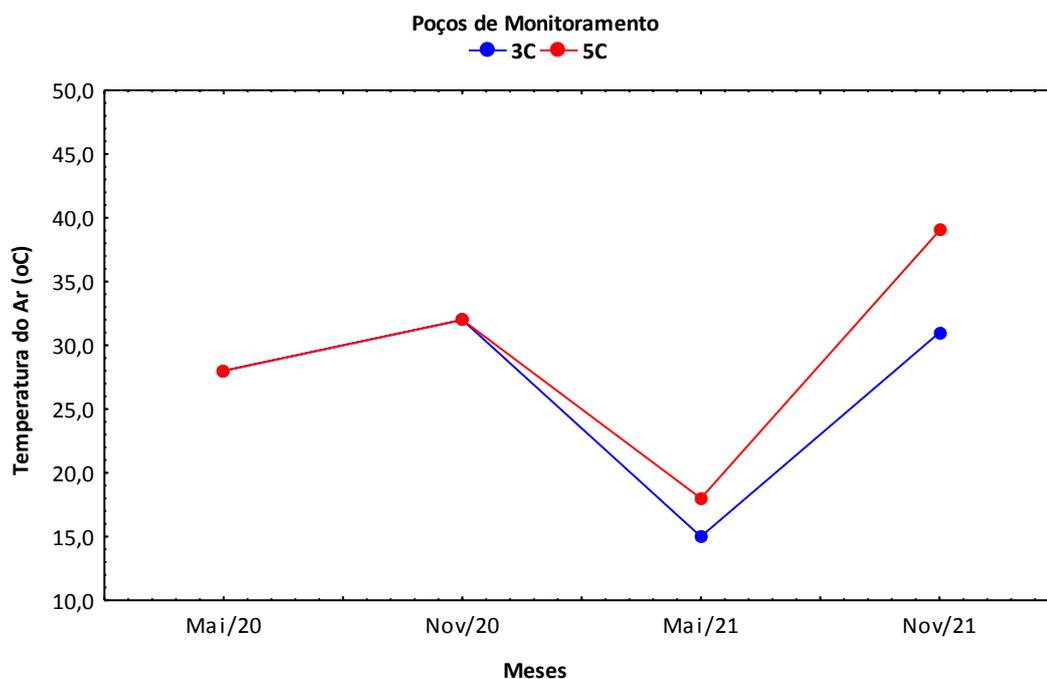


Figura 19 – Valores de Temperatura do Ar (°C), registrados nos poços de monitoramento da Área de Influência direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.

- **Temperatura da Água (°C)**

A temperatura é importante característica, pois influencia nas propriedades físicas, químicas e biológicas. Em temperaturas elevadas, podem se tornar mais fortes o gosto e odor na água (PÁDUA & FERREIRA, 2006). Via de regra, a variação da temperatura das águas subterrâneas não apresenta oscilações sazonais tão evidentes como as das águas superficiais. A certa profundidade é constante, crescendo à medida que se aprofunda, segundo as regras da geotermia (LAFUENTE, 1981). No período analisado, os valores de temperatura da água oscilaram de 21,7°C no poço 3C em maio de 2021 a 34,2°C no poço 5C em novembro de 2021 (**Figura 20**). Não há limites estipulados para este parâmetro na Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS.

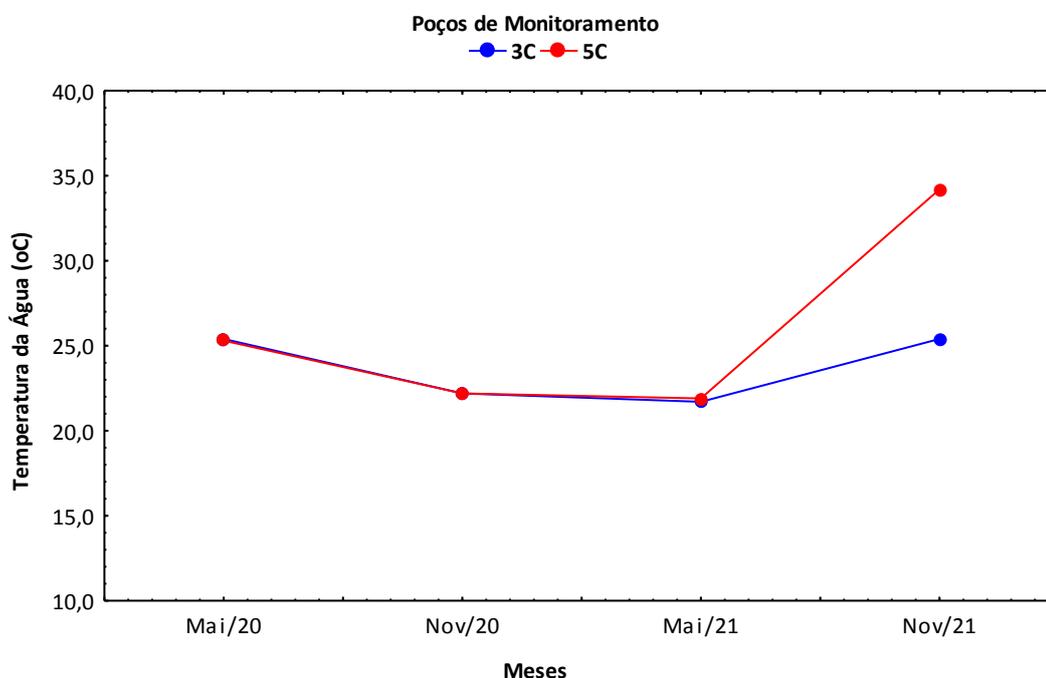


Figura 20 – Valores de Temperatura da Água (°C), registrados nos poços de monitoramento da Área de Influência direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.

- **Oxigênio Dissolvido (mg/L e % de Saturação)**

A análise de oxigênio dissolvido em águas subterrâneas tem uso mais limitado do que em águas superficiais, sendo usado como indicador de poluição, e sua medida se torna mais necessária para entendimento dos processos químicos e bioquímicos que ocorrem nos aquíferos (EMBRAPA, 2022).

O oxigênio apresentou menores valores (3,68 mg/L e 26,0 % de saturação) no poço 5C em novembro de 2021 e maiores valores (9,70 mg/L e 96,2 % de saturação) no poço 5C, em maio de

2020 (Figura 21 e Figura 22). Estes também são parâmetros cujos limites não são estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS.

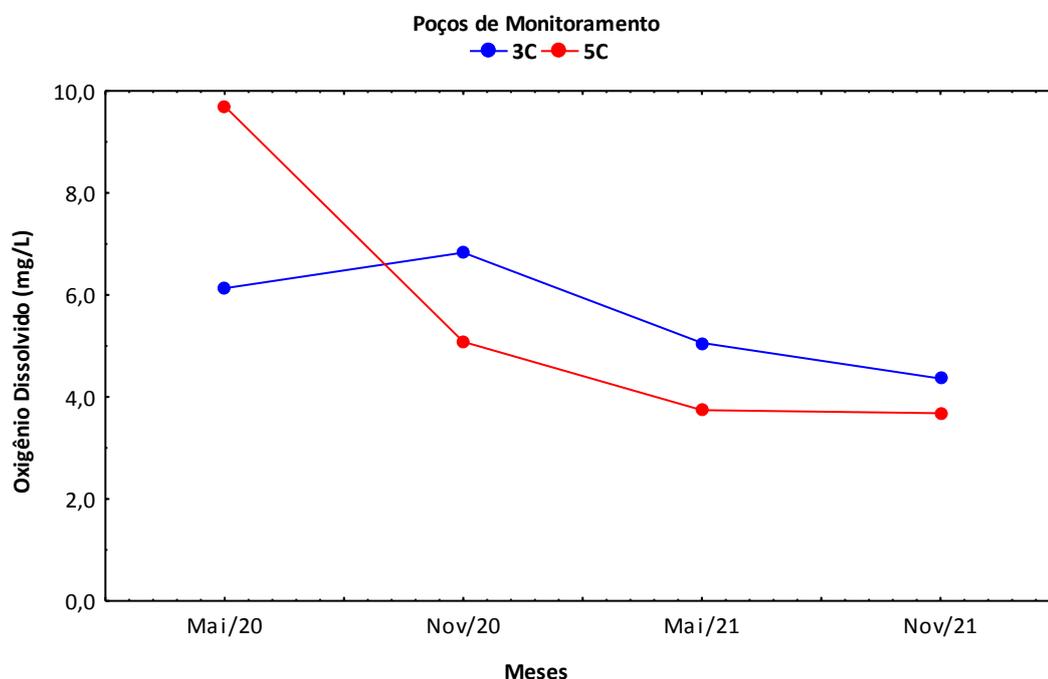


Figura 21 - Valores de Oxigênio Dissolvido (mg/L), registrados nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.

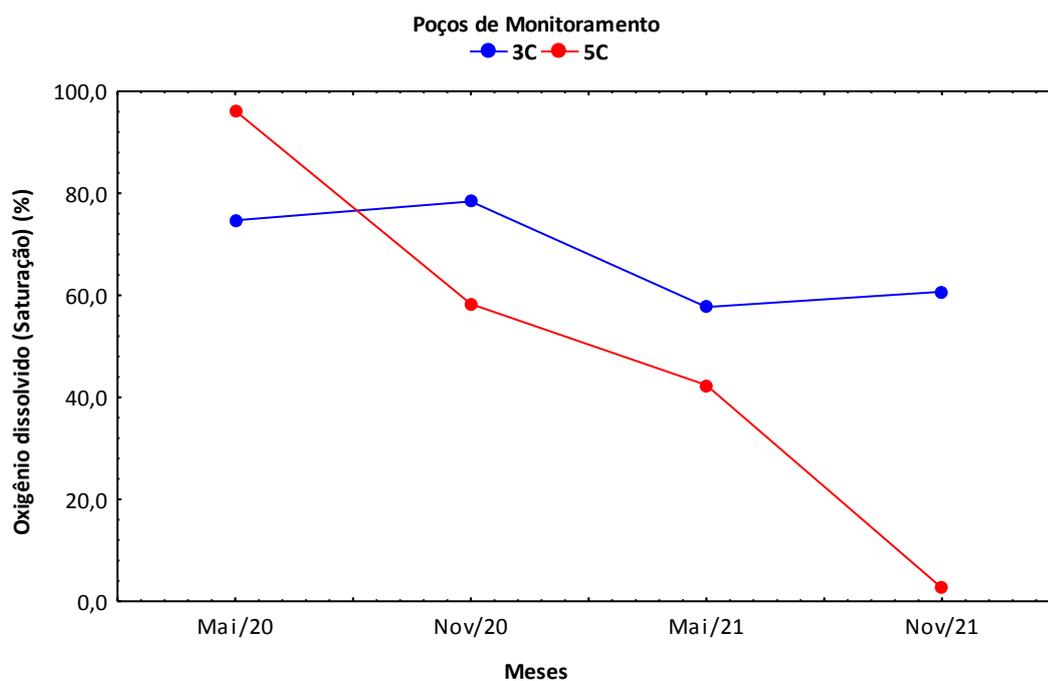


Figura 22 - Valores de oxigênio dissolvido (% de Saturação), registrados nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.

- **Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)**

A Condutividade elétrica é a medida da facilidade da água em conduzir a corrente elétrica, e está diretamente proporcional ao teor de sólidos dissolvidos sob a forma de íons (FEITOSA et al., 2000). Os valores de condutividade elétrica oscilaram entre 25,38 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no poço 3C, e 68,28 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no poço 5C, ambos amostrados em novembro de 2021 (**Figura 23**). A Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS não estabelecem limites para esses parâmetros.

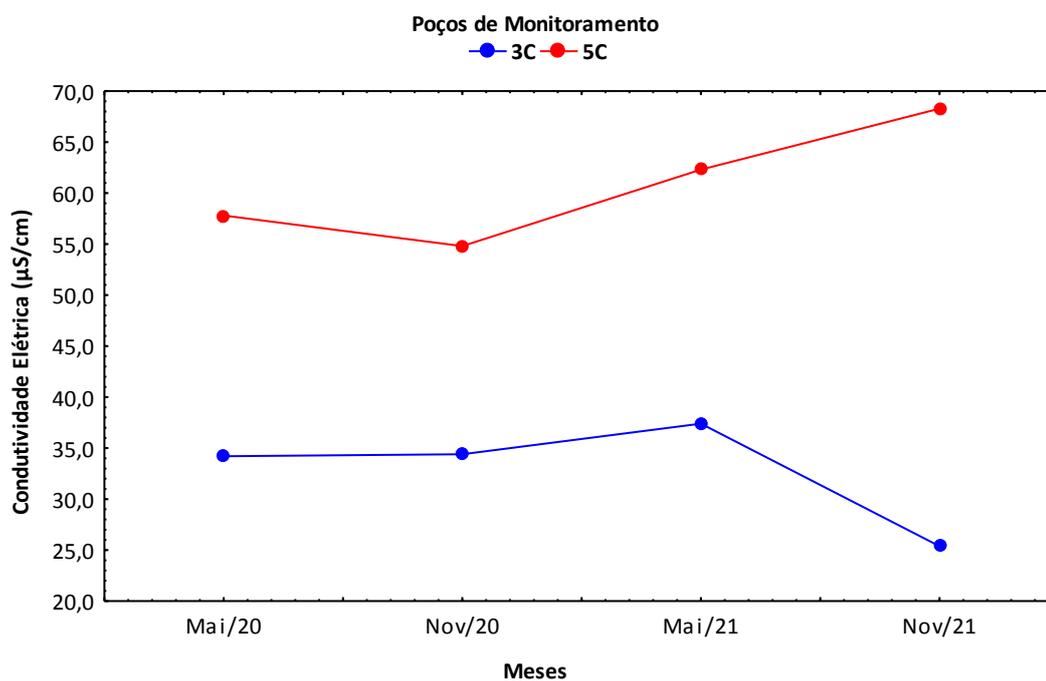


Figura 23 - Valores de Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), registrados nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.

- pH

O pH é a medida da concentração hidrogeniônica da água ou solução, sendo controlado por reações químicas e por equilíbrio entre os íons presentes. Os valores de pH estão essencialmente atrelados ao gás carbônico dissolvido e a alcalinidade da água (ESTEVES, 2011). Os valores de pH oscilaram entre 4,83 no poço 3C em novembro de 2020 e 7,27 no poço 5C, maio de 2020 (**Figura 24**). A Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS não estabelece limite para estes parâmetros

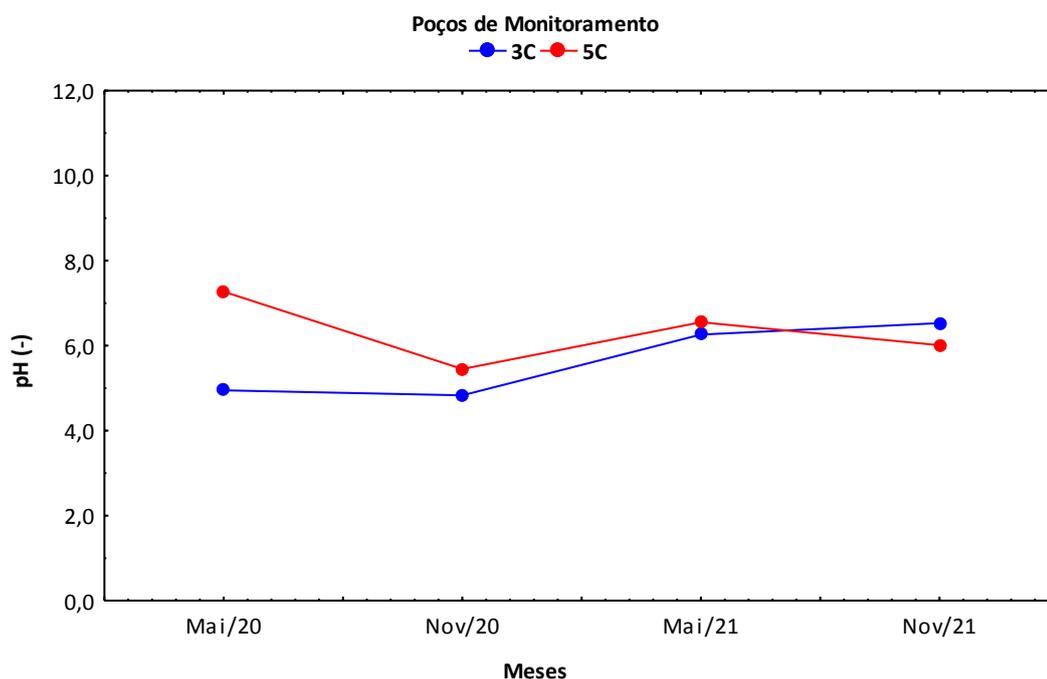


Figura 24 - Valores de pH (unidade), registrados nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021

- **Cálcio Total (mg/L)**

O cálcio é um dos elementos responsáveis pela dureza nas águas, e está amplamente distribuído nas rochas e solos. A presença de cálcio na água resulta do contato do corpo hídrico com minerais mais solúveis, sendo controlado pela presença de depósitos de calcita (CaCO_3), dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) e gipsita ($(\text{Ca}(\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O})$) (FEITOSA et al., 2000).

Durante o período avaliado, os valores de cálcio oscilaram de 2,48 mg/L no poço 3C (maio de 2021) a 56,1 mg/L no poço 5C (novembro de 2020) (**Figura 25**). A Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS não estabelecem limites para esse parâmetro.

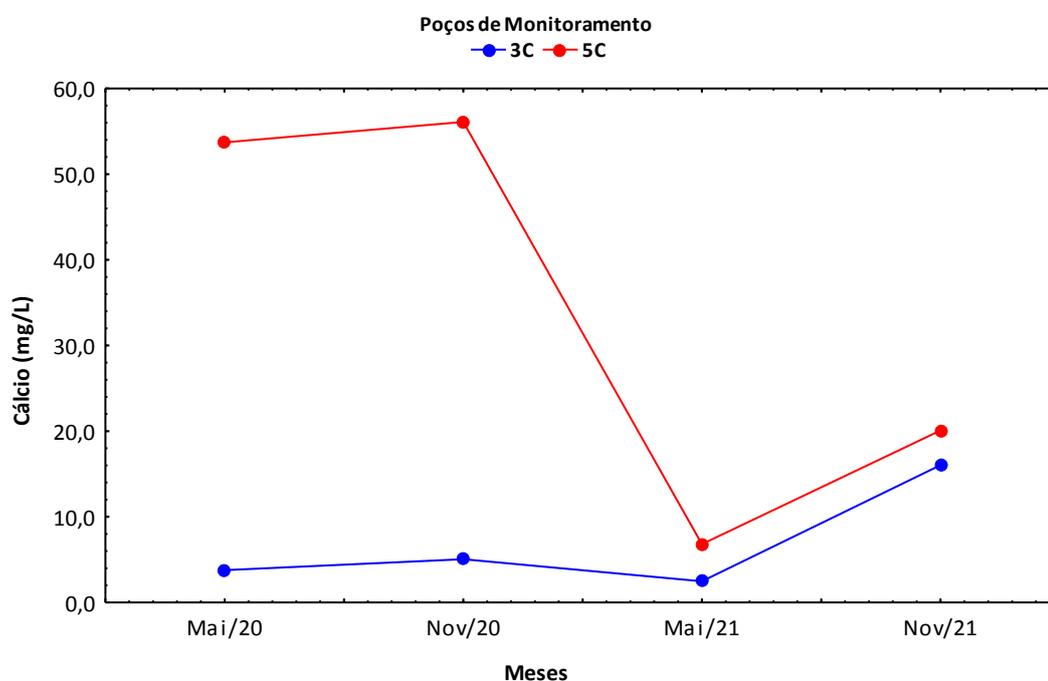


Figura 25 - Concentrações de Cálcio (mg/L), registradas nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.

- **Sódio Total (mg/L)**

O sódio é um dos metais alcalinos mais importantes e abundantes nas águas subterrâneas, sendo o principal responsável pelo aumento constante da salinidade das águas naturais do ponto de vista catiônico, correndo principalmente sob a forma de cloretos. Concentrações de sódio em corpos d'água variam consideravelmente, dependendo das condições geológicas do local e das descargas de efluentes (SANTOS, 2011).

A concentração de sódio foi menor em maio de 2020 no poço 3C (0,71 mg/L), enquanto que a maior concentração foi registrada no poço 5C (2,32 mg/L), em novembro de 2020 (**Figura 26**). A Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS estabelecem limite de $\leq 200,0$ mg/L de sódio em águas para consumo humano, portanto, as concentrações registradas foram inferiores a esse limite.

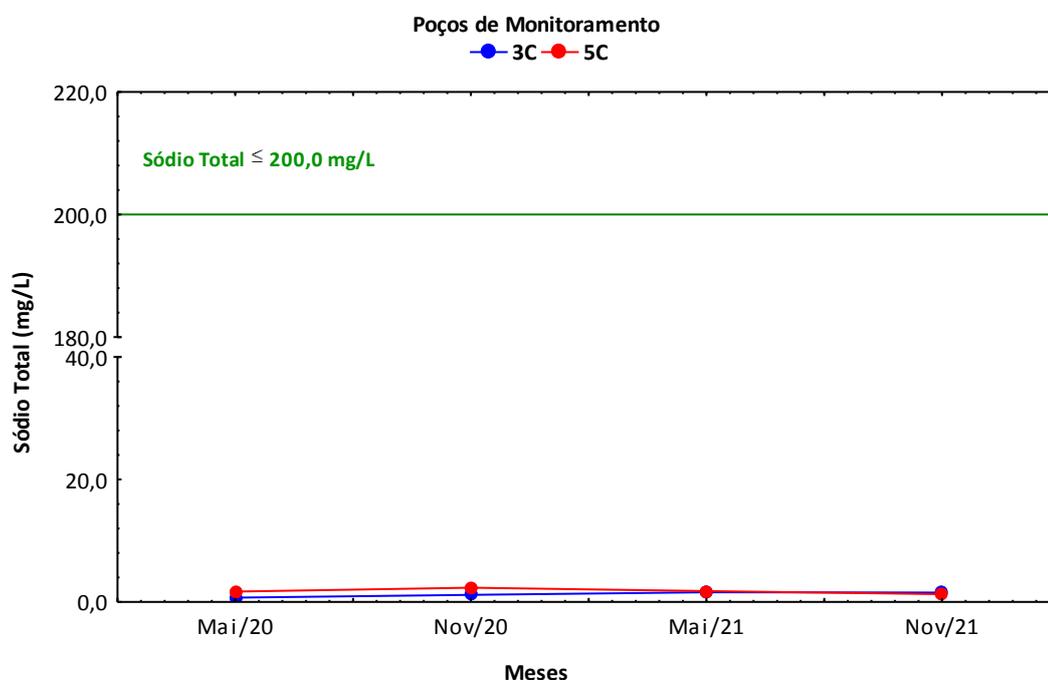


Figura 26 - Concentrações de Sódio (mg/L), registradas nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021 (linhas e valores em verde = limites da Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS).

- **Magnésio Total (mg/L)**

O magnésio é um elemento cujo comportamento geoquímico é muito similar ao do cálcio e, em linhas gerais, acompanha este elemento, sendo, porém, mais solúvel do que o cálcio. Juntamente com o cálcio, são os cátions que mais contribuem para a dureza total da água. A concentração de magnésio variou de 1,12 mg/L no poço 3C a 132,2 mg/L no poço 5C, ambos amostrados em novembro de 2020 (**Figura 27**). A Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS não estabelecem limites para esses parâmetros.

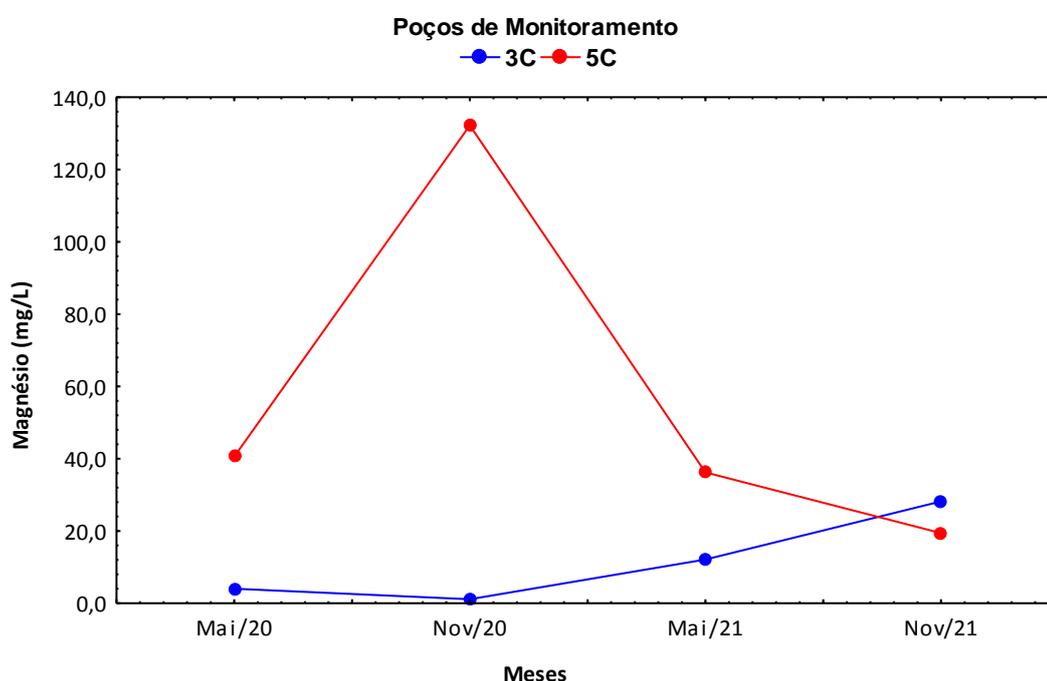


Figura 27 - Concentrações de Magnésio (mg/L), registradas nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.

- **Potássio Total (mg/L)**

O potássio é um elemento importante na nutrição das plantas e dos humanos, e ocorre em águas subterrâneas como resultado da dissolução mineral de material vegetal em decomposição, e escoamento agrícola. Além disto, é um metal alcalino abundante na natureza, proveniente de minerais como os feldspatos e micas (PINTO, 2006).

A análise de potássio resultou em concentração menor no poço 3C (0,289 mg/L), em maio de 2020, enquanto o maior valor de potássio (4,779 mg/L) foi registrado no poço 5C em novembro de 2020 (**Figura 28**). A Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS não estabelecem limites para esses parâmetros.

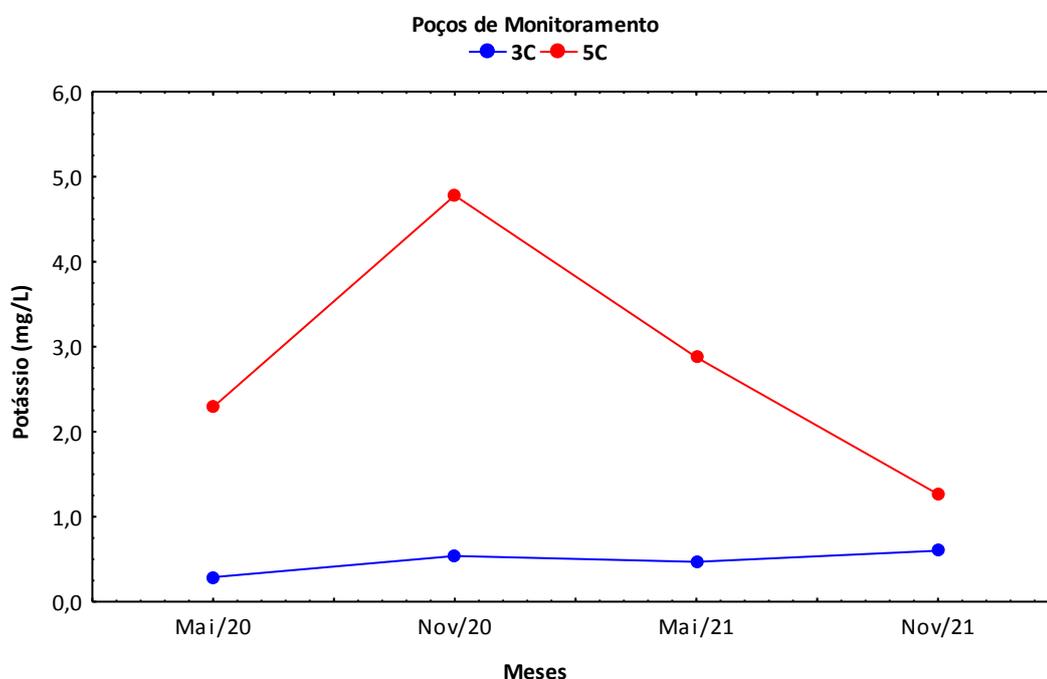


Figura 28 - Concentrações de Potássio (mg/L), registradas nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.

- **Fósforo Total (mg/L)**

O fósforo é um componente importante na litosfera, porém na água a fonte mais importante provém da ação antropogênica, tanto na forma de produtos agroquímicos e de detergentes polifosfatados, quanto na forma de rejeitos domésticos provenientes da ação do metabolismo humano (LAFUENTE, 1981). As concentrações de fósforo total variaram entre 0,061 mg/L no poço 3C, em maio de 2021, e 2,02 mg/L no poço 5C, em novembro de 2021 (**Figura 29**). A Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS não estabelecem limites para esses parâmetros.

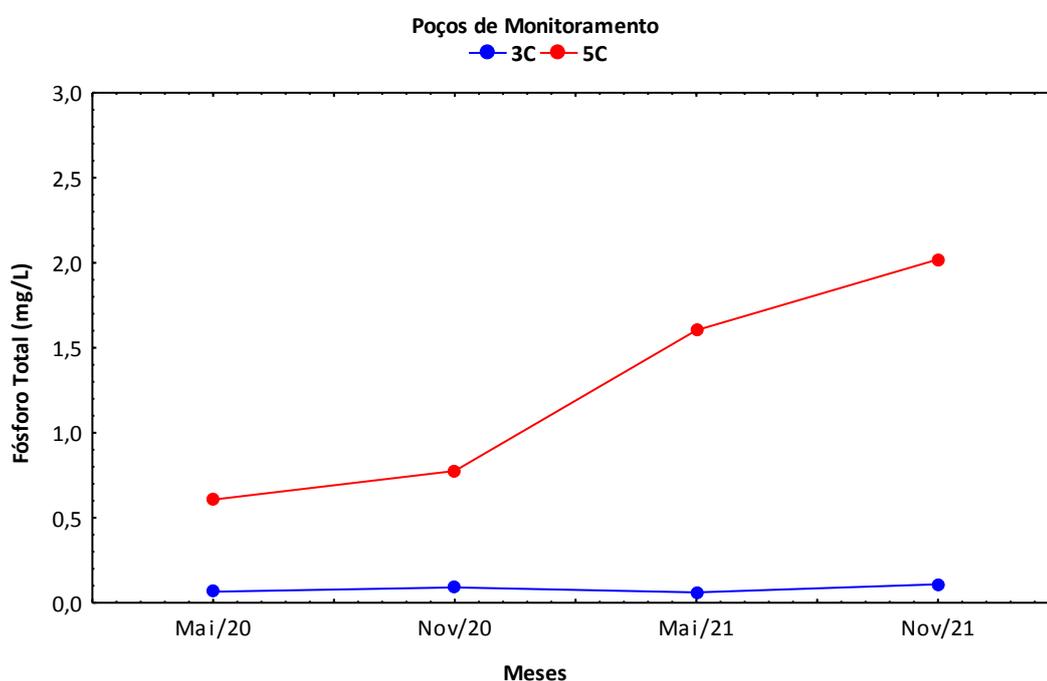


Figura 29 - Concentrações de Fósforo Total (mg/L), registradas nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.

- **Cloretos (mg/L)**

Nas águas subterrâneas, o cloreto apresenta-se oriundo da percolação da água através de solos e rochas. Nas estações de tratamento da água, a adição do cloro puro ou em solução faz com que eleve o nível de cloreto na água, através das reações de dissociação do cloro (FUNASA, 2013). O cloreto não é tóxico ao ser humano, exceto no caso da deficiência no metabolismo de cloreto de sódio. Por provocar um sabor salgado na água, é estabelecido um limite padrão para a concentração de cloreto no abastecimento público (FUNASA, 2013).

As concentrações de cloretos variaram entre 3,00 mg/L no poço 3C, em novembro de 2020 e 104,5 mg/L no poço 5C, em maio de 2021 (**Figura 30**). A Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS estabelecem que nas águas para consumo humano a concentração de cloretos deve ser $\leq 250,0$ mg/L, desta forma, os valores deste parâmetro mostraram-se em adequação com essas normas.

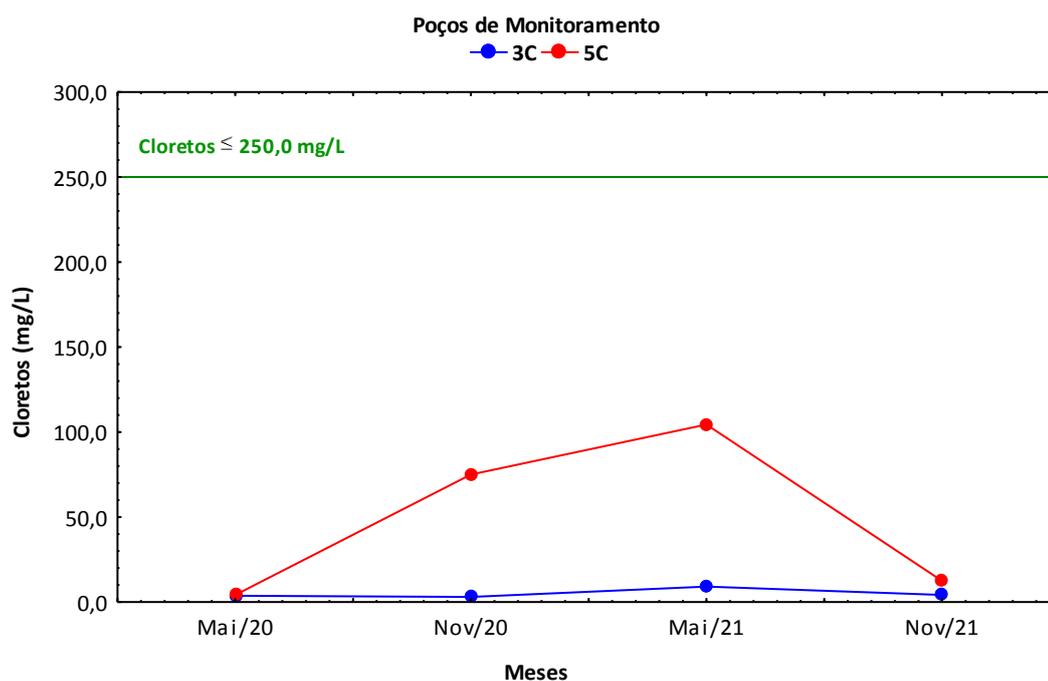


Figura 30 - Concentrações de Cloretos (mg/L), registradas nos poços da Área de Influência direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021 (linhas e valores em verde = limites da Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS).

- **Nitrato (mg/L)**

O nitrato é um grande indicador de contaminação e poluição das águas subterrâneas por atividade antrópica, sendo considerado prejudicial à saúde, porém, é um importante agente na agricultura. Em águas subterrâneas origina-se principalmente de quatro fontes: i) aplicação de fertilizantes com nitrogênio, ii) uso de esterco animal no solo, iii) esgoto humano depositado em sistemas sépticos e, iv) deposição atmosférica (BAIRD; CANN, 2011).

As concentrações de nitrato variaram de 1,10 mg/L no poço 3C em maio de 2021 a 10,1 mg/L no poço 5C em maio de 2020 (**Figura 31**). A Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS estabelecem limite de $\leq 10,0$ mg/L de nitrato em águas para o consumo humano, portanto, o poço 5C amostrado em maio de 2020 está acima do limite preconizado na legislação.

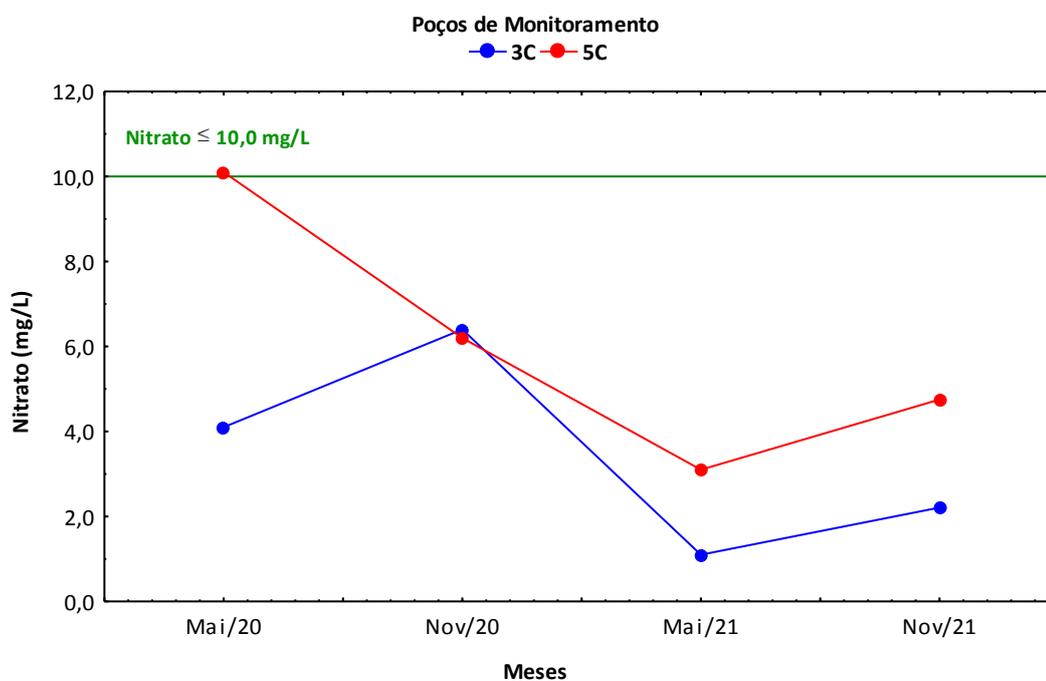


Figura 31 - Concentrações de Nitrato (mg/L), registradas nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021 (linhas e valores em verde = limites da Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS).

- **Nitrogênio Orgânico (mg/L)**

A análise de nitrogênio orgânico (**Figura 32**) resultou em concentração de 0,20 mg/L no poço 3C em novembro de 2020 a 5,21 mg/L no poço 5C em novembro de 2021. A Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS não estabelecem limites para esses parâmetros.

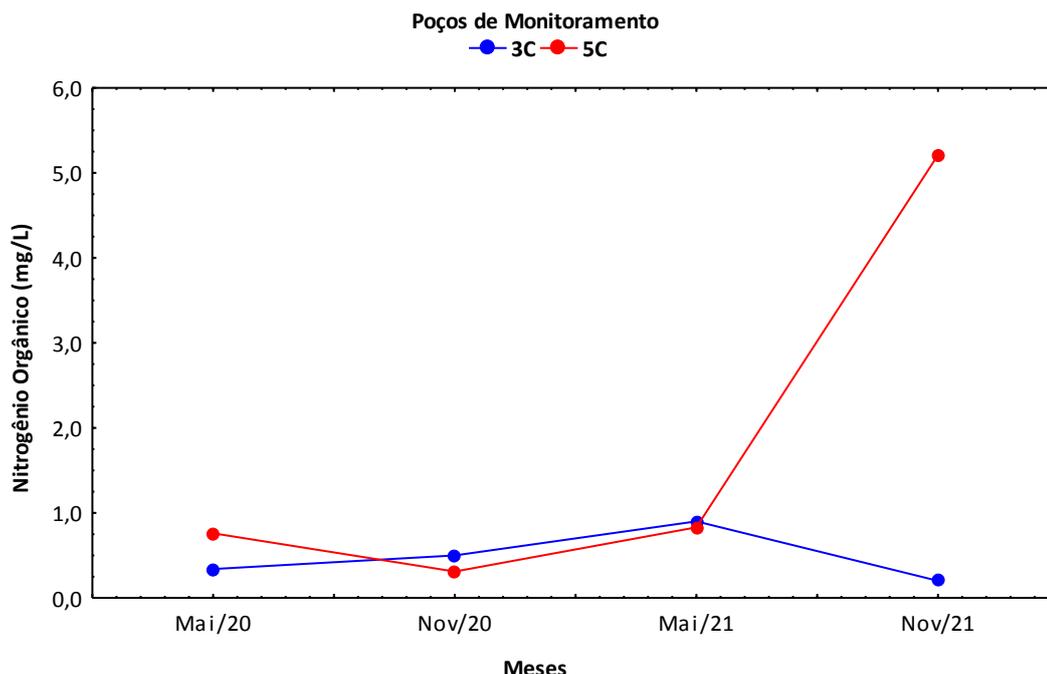


Figura 32 - Concentrações de Nitrogênio Orgânico (mg/L), registradas nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.

- **Nitrogênio Amoniacal (mg/L)**

O nitrogênio é um nutriente essencial que é requerido por todas as plantas e animais para a formação de aminoácidos. Em sua forma molecular, o nitrogênio não pode ser usado pela maioria das plantas aquáticas, portanto, deve ser convertido para outra forma. Uma das formas é amônia (NH₃). A amônia pode ser assimilada pelas plantas ou oxidada pelas bactérias para nitrato (NO₃⁻) ou nitrito (NO₂) (BRASIL, 2013).

A amônia é liberada continuamente através da decomposição bioquímica de substâncias nitrogenadas, por exemplo, proteínas, aminoácidos e uréia lançados, mas também através da biomassa produzida naturalmente e, via de regra, está presente na água em quantidades pequenas. Em ambiente anaeróbio, no lodo do fundo de corpos d'água a amônia pode surgir da redução de nitrato, num processo chamado de amonificação do nitrato (DVWK, 1993).

Este processo trata-se de um resultado da metabolização através de determinados microrganismos. Altas concentrações de amônia são geradas por efluentes residenciais, municipais, indústrias e da agricultura. Via de regra, a amônia nas águas é oxidada por microrganismos (nitrificantes). Normalmente, a amônia é oxidada via nitrito para o nitrato, o que pode significar uma carga substancial para o equilíbrio de oxigênio (DVWK, 1993).

Os resultados obtidos para nitrogênio amoniacal (amônia) nos poços da área de influência direta da UHE Baixo Iguaçu oscilaram de 0,03 mg/L no poço 3C, registrado em maio de 2020 e 2021, a 2,133 mg/L em novembro de 2021, no poço 5C (**Figura 33**). A Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS estabelece o limite de $\leq 1,2$ mg/L de nitrogênio amoniacal em águas para o consumo humano, portanto, o poço 5C amostrado em novembro de 2021, registrou valor acima da legislação.

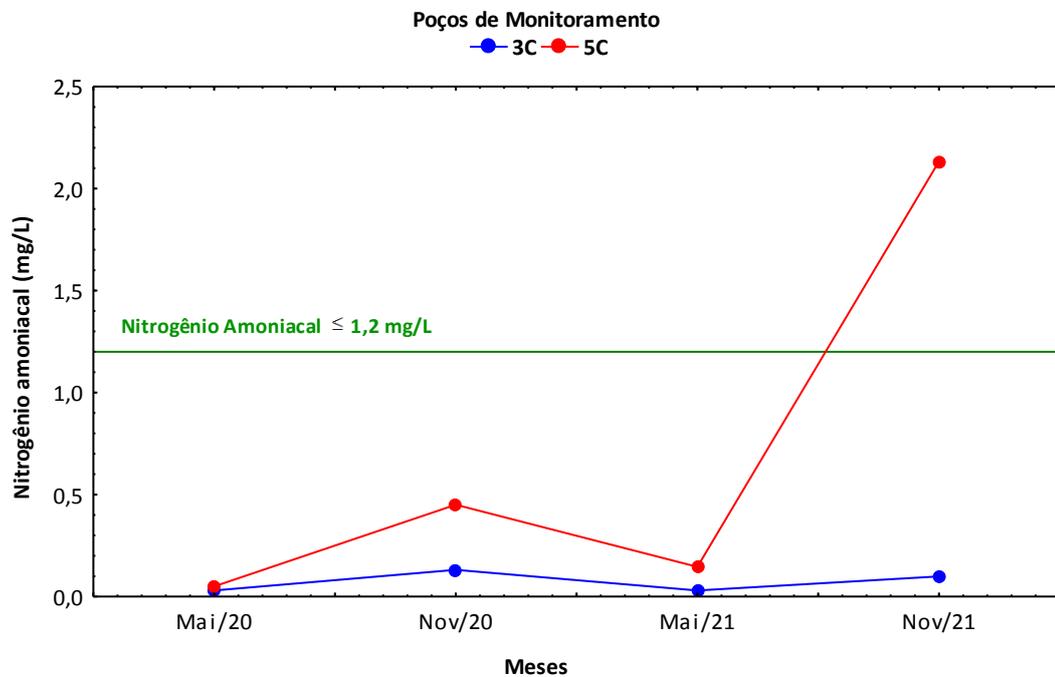


Figura 33 - Concentrações de Nitrogênio amoniacal (mg/L) registradas nos poços da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021 (linhas e valores em verde = limites da Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS).

- **Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)**

O nitrogênio total Kjeldahl variou de 0,299 mg/L no poço 3C a 7,343 mg/L no poço 5C, ambos registrados em novembro de 2021 (**Figura 34**). O parâmetro aqui analisado não possui limite determinado na Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS.

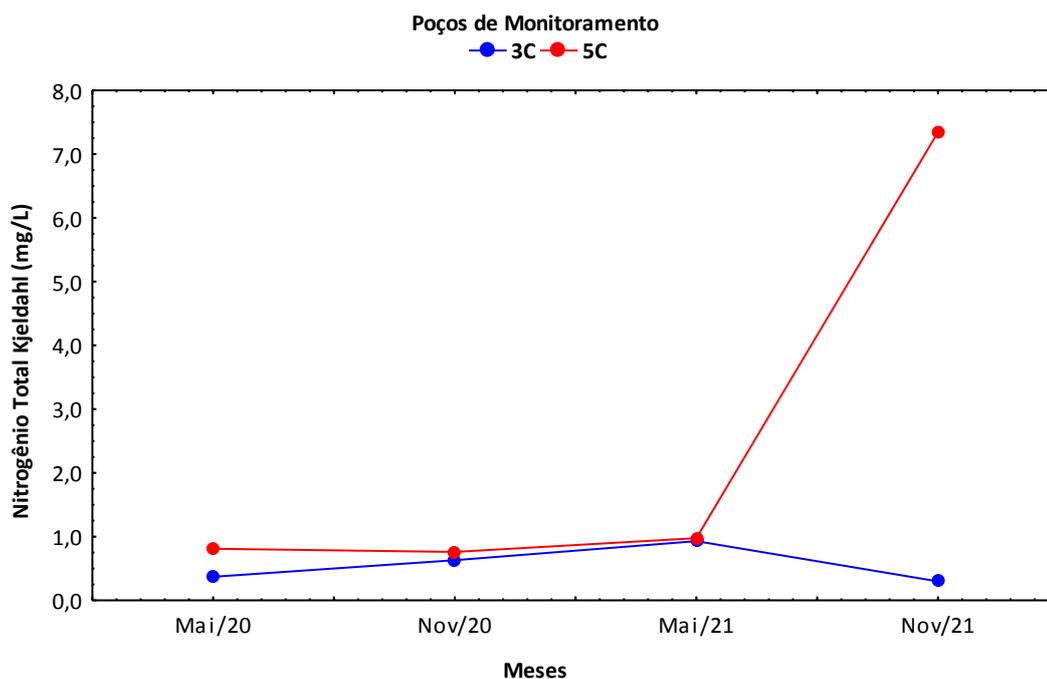


Figura 34 - Concentrações de Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L) registradas nos poços da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.

- **Coliformes Fecais (*Escherichia coli*, NMP/100mL)**

O grupo de bactérias dos coliformes é utilizado em larga escala nas medições microbiológicas que testam a qualidade da água. Considerando a relação diretamente proporcional, quanto maior a presença de coliformes, maior é o índice de contaminação da água. Os coliformes termotolerantes, comumente conhecidos por coliformes fecais, suportam uma temperatura superior a 40°C, convivem em simbiose com humanos, bois, porcos e outros animais de sangue quente. A presença de coliformes termotolerantes na água indica que a mesma recebeu uma poluição fecal (CETESB, 2016).

Os coliformes fecais (*Escherichia coli*) diferenciaram de menor que limite de quantificação do método (<1 NMP/100 mL), somente em maio de 2021 no poço 5C (10 NMP/100 mL) (Figura 35). Esse grupo de coliformes, segundo a Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS, deve estar ausente em 100 mL de água para consumo humano, portanto os coliformes fecais estiveram presentes, apenas em maio de 2021 no poço 5C.

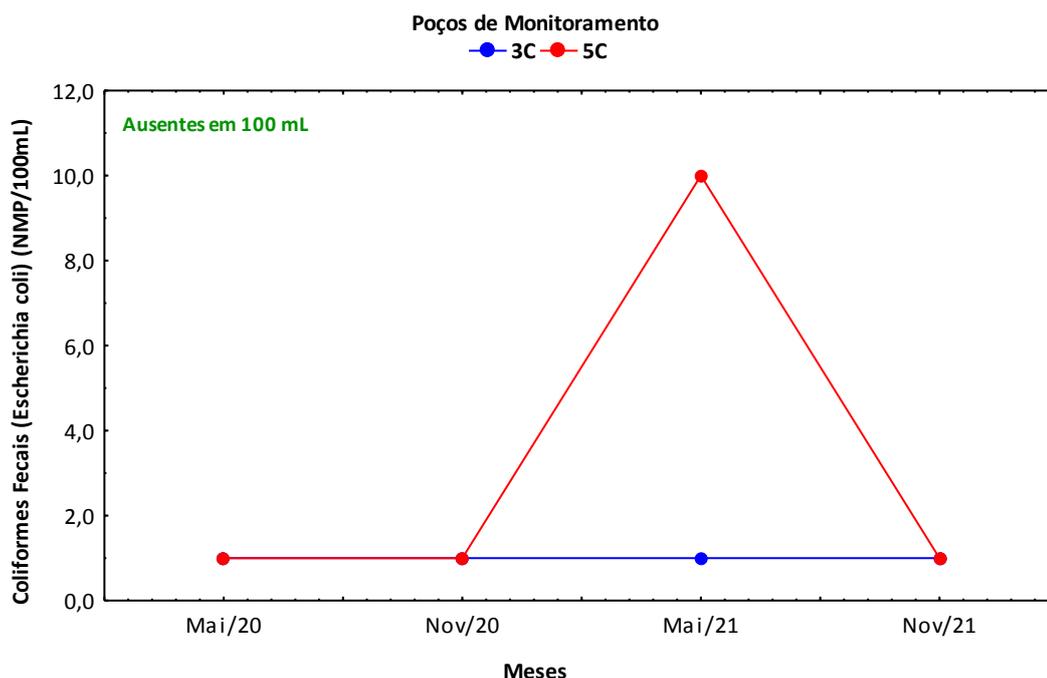


Figura 35 - Concentrações de Coliformes Fecais (*Escherichia coli*, NMP/100 mL) (B), registradas nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021 (informação em verde = determinação da Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS).

- **Coliformes Totais (NMP/100 mL)**

Os coliformes totais são grupos de bactérias gram-negativas, que podem ou não necessitar de oxigênio, não formam esporos e são associadas à decomposição de matéria orgânica em geral. Com relação aos coliformes não fecais, o quadro não é bem definido, porque os mesmos existem naturalmente, tanto em solos não poluídos como nos intestinos. Assim, a sua presença na água não implica, necessariamente, numa poluição fecal (BRASIL, 2013).

Os coliformes totais apresentaram valor menor que o limite de quantificação do método (<1 NMP/100 mL) em maio de 2020 e novembro de 2021 no poço 5C, sendo considerado ausente, enquanto o maior valor (19.863 NMP/100 mL) foi encontrado em maio de 2021 no poço 5C (**Figura 36**). A Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS determina que esses organismos estejam ausentes em 100 mL, assim, apenas em maio de 2020 e novembro de 2021 no poço 5C os registros ficaram dentro do preconizado na legislação.

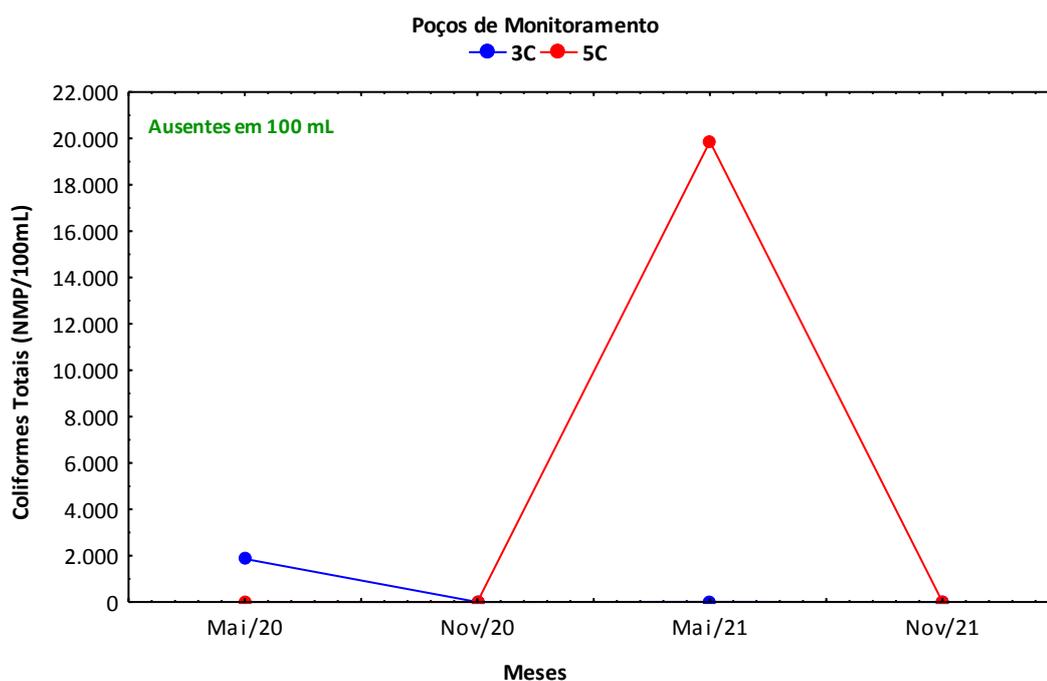


Figura 36 - Concentrações de Coliformes Totais (NMP/100 mL), registradas nos poços de monitoramento da Área de Influência direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021 (informação em verde = determinação da Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS).

- **Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)**

Os sólidos dissolvidos totais representam a soma de todos os constituintes químicos dissolvidos na água. A principal aplicação da determinação dos sólidos dissolvidos totais é de qualidade estética da água potável e com um indicador agregado da presença de produtos químicos contaminantes. Os teores de sólidos dissolvidos totais possuem relação direta com a composição mineralógica da rocha e com o tempo de percolação das águas subterrâneas no interior de um aquífero (PARRON, 2011).

Para sólidos dissolvidos totais registrou menor valor (15,5 mg/L) no poço 3C em novembro de 2021, enquanto a maior concentração (763,0 mg/L) foi registrada no poço 5C, em novembro de 2020 (**Figura 37**). A Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS estabelecem que nas águas para consumo humano a concentração de sólidos dissolvidos totais deve ser $\leq 500,0$ mg/L, desta forma, os valores desse parâmetro mostraram-se em adequação com essas normas, exceto em novembro de 2020 no poço 5C.

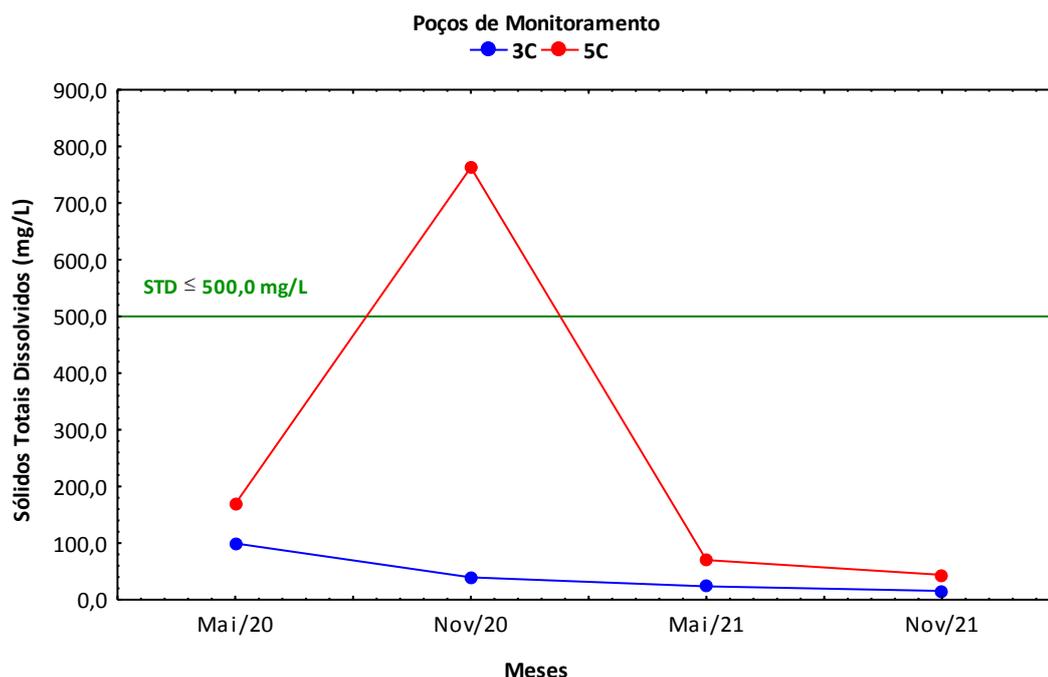


Figura 37 - Concentrações de Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L), registradas nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021 (linhas e valores em verde = limites da Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS).

- **Turbidez (NTU)**

As águas subterrâneas geralmente não apresentam problemas com excesso de turbidez, porém, em alguns casos, águas ricas em Ferro podem apresentar uma elevação na turbidez quando entram em contato com o oxigênio do ar (SANTOS, 1997). Nas amostras coletadas nos poços de monitoramento, obteve-se valores de turbidez entre 5,0 NTU no poço 3C, em novembro de 2021 a 829,0 NTU no poço 5C, em maio de 2021 (**Figura 38**). A Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS determina que para a turbidez os valores devem ser $\leq 5,0$ NTU, portanto, os valores registrados foram superiores a este limite, ressalva ao poço 3C em novembro de 2021.

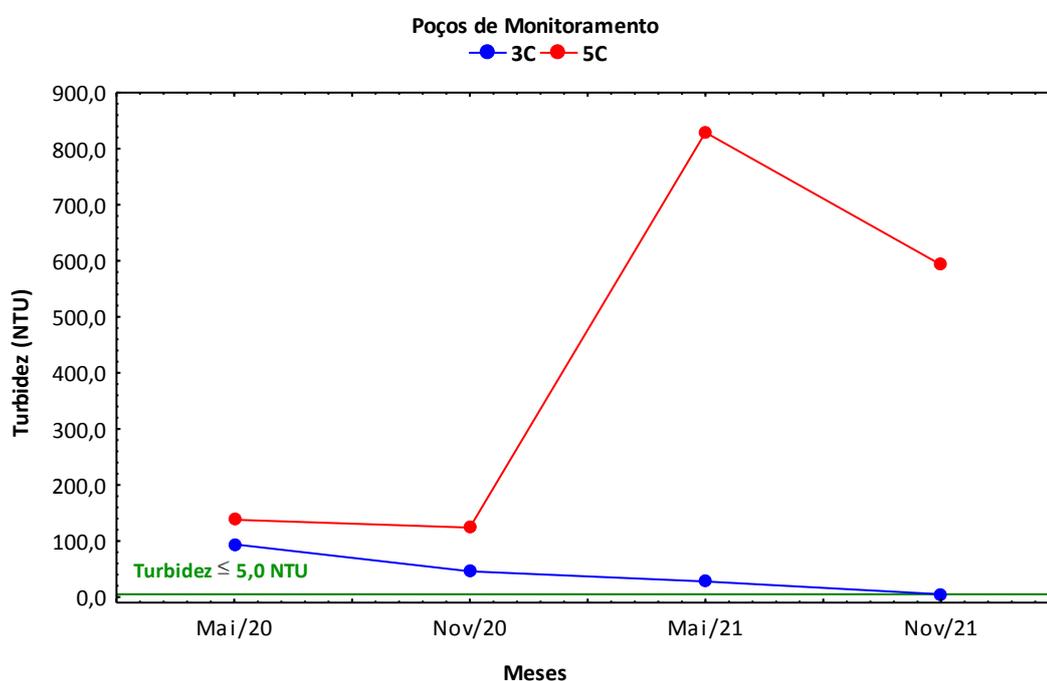


Figura 38 - Valores de Turbidez (NTU), registrados nos poços de monitoramento da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021 (linhas e valores em verde = limites da Portaria de Consolidação nº. 888/2021-MS).

- **Potencial Redox (mV)**

O Potencial Redox durante o monitoramento da água subterrânea oscilou entre 280,4 mV no poço 3C, na amostragem realizada em novembro de 2020, a 426,7 mV no poço 5C, registrada em maio de 2020 (**Figura 39**). A resolução CONAMA nº 396/2008 não estabelece limites para esse parâmetro.

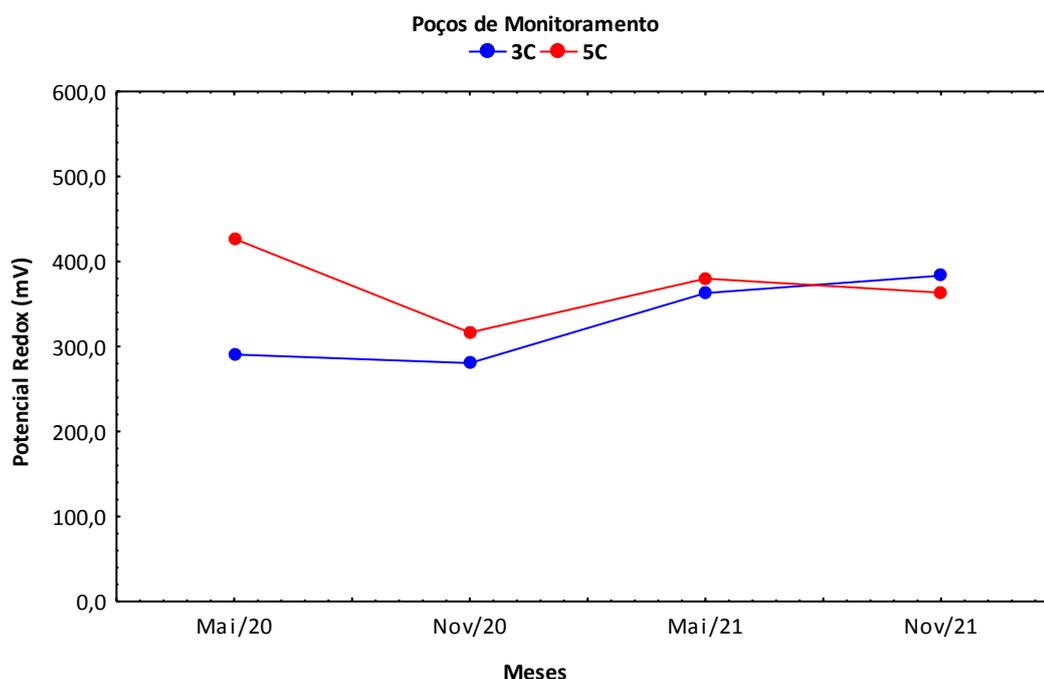


Figura 39 - Valores do Potencial Redox (mV), registrados nos poços da Área de Influência direta da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021.

- **Metais pesados: alumínio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, níquel, prata e zinco.**

A **Tabela 5** apresenta os resultados para os onze metais pesados analisados neste estudo. Algumas das concentrações obtidas apresentaram-se abaixo dos respectivos limites de quantificação do método analítico, bem como abaixo dos limites estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 888/2021-MS, como o cádmio (<0,0005 mg/L), níquel (<0,007 mg/L) e prata (<0,001 mg/L).

As concentrações de alumínio variaram entre 0,122 mg/L no poço 3C em maio de 2020, e 11,152 mg/L no poço 5C em maio de 2021. A Portaria de Consolidação nº 888/2021-MS estabelece limite de $\leq 0,20$ mg/L, apresentando valor acima do permitido na legislação em praticamente todos os poços e meses (**Tabela 5**).

O bário os valores oscilaram entre 0,053 mg/L no poço 3C em novembro de 2020, e 1,621 mg/L no poço 5C em maio de 2020, o qual a Portaria de Consolidação nº 888/2021-MS preconiza um limite de $\leq 0,70$ mg/L, estando em desacordo com a legislação em maio de 2020 e 2021 no poço 5C (**Tabela 5**).

As concentrações de chumbo diferiu de $< 0,005$ em novembro de 2020 (0,055 mg/L) e novembro de 2021 (0,027 mg/L), ambos no poço 5C, apresentou valor acima do permitido na legislação, o qual a Portaria de Consolidação nº 888/2021-MS estabelece limite de $\leq 0,01$ mg/L (**Tabela 5**).

O cobre os valores oscilaram entre $< 0,015$ mg/L em novembro de 2020 e 2021 no poço 3C e em maio de 2021 em ambos os poços, e 0,982 mg/L no poço 5C em novembro de 2020, o qual a Portaria de Consolidação nº 888/2021-MS preconiza um limite de $\leq 2,0$ mg/L, estando todos em acordo com a legislação (**Tabela 5**).

As concentrações de cromo diferiu de $< 0,005$ em novembro de 2020 (0,029 mg/L) e novembro de 2021 (0,021 mg/L), ambos no poço 5C, todos os valores estão abaixo do limite preconizado pela legislação $\leq 0,05$ mg/L (**Tabela 5**).

O manganês as concentrações variaram entre 0,033 mg/L no poço 3C em maio de 2020 e 13,234 mg/L no poço 5C em novembro de 2020, excedendo o limite estabelecido na legislação no poço 5C em novembro de 2020, maio e novembro de 2021, sendo que a Portaria de Consolidação nº 888/2021-MS preconiza um limite de $\leq 0,10$ mg/L de manganês em água para consumo humano (**Tabela 5**).

O mesmo aconteceu para o ferro, o qual registrou valor em desacordo com a legislação em ambos os poços e meses, com concentração de 1,12 mg/L em maio de 2021 a 65,52 mg/L em novembro de 2021, ambos no poço 5C, sendo que a Portaria do Ministério da Saúde nº 888/2021-MS, estabelece um valor máximo de ferro de 0,30 mg/L, já as concentrações de zinco variaram entre $< 0,006$ mg/L no poço 3C em novembro de 2021 e 0,716 mg/L no poço 5C em novembro de 2020, estando assim, dentro do limite máximo estabelecido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 888/2021-MS, que estabelece valor máximo de 5,0 mg/L (**Tabela 5**).

Portanto, as concentrações (alumínio, bário, chumbo, manganês e ferro) apresentaram valores acima do limite estabelecido na legislação (**Tabela 5**).

- **Organoclorados e Organofosforados**

Em todos os poços e meses não foram detectados organoclorados e organofosforados pelo método de Cromatografia a Líquido com Detecção por Espectrometria de Massa Sequencial – LC-MS/MS, com os devidos limites de quantificação para cada elemento (**Tabela 5**).

- **Análise de Componentes Principais (PCA)**

A Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados obtidos na Área de Influência da UHE Baixo Iguaçu (**Figura 40**) mostrou que os dois primeiros eixos (PCA1 e PCA2) explicaram 60,3% da variabilidade dos dados, sendo que o primeiro eixo apresentou autovalor de

9,82 e explicou 33,8% da variabilidade, enquanto o segundo eixo registrou autovalor de 7,67 e explicou 26,5% dos dados. A combinação dos dois eixos evidenciou que houve diferença na qualidade da água entre os poços, separando o poço 3C do poço 5C, onde o poço 5C foi responsável pelas maiores concentrações das variáveis ambientais, esta elevação esteve diretamente associada com a redução do nível do freático e a quantidade de sedimento no poço, o que mostra que houve maior influência do solo entorno nos resultados, de maneira que para a coleta da água, foi necessário efetuar várias descidas do coletor (Bailer) para completar o volume de água necessário para as análises, o qual apresentou elevada turbidez, uma vez que alumínio, ferro, magnésio, cálcio, potássio e sódio são os principais componentes da maioria das rochas e minerais encontrados na superfície terrestre.

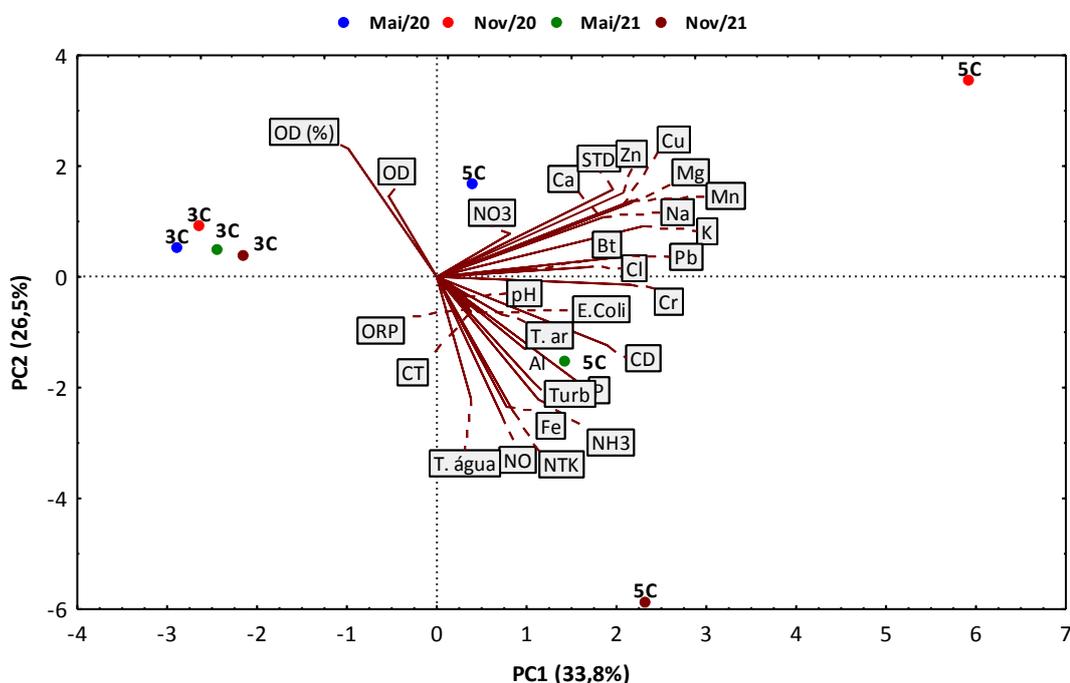


Figura 40 - Análise de Componentes Principais (PCA) em escala espacial (poços 3C e 5C) e temporal (maio de 2020 a novembro de 2021), aplicada aos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água subterrânea da Área de Influência Direta da UHE Baixo Iguaçu (Ca = Cálcio; Cl = Cloretos; *E.coli* = Coliformes fecais; CT = Coliformes Totais; CD = Condutividade Elétrica; P = Fósforo; Mg = Magnésio; NO₃ = Nitrato; NH₃ = nitrogênio amoniacal; NO = Nitrogênio Orgânico; NTK = Nitrogênio Total Kjeldahl; OD = oxigênio dissolvido; OD (%) = saturação de oxigênio; pH = potencial hidrogeniônico; K = Potássio; ORP = Potencial Redox; Na = Sódio; STD = Sólidos Totais Dissolvido; T. água = temperatura da água; T. ar = temperatura do ar; Turb = Turbidez; Al = Alumínio; Ba = Bário; Chumbo = Pb; Cobre = Cu; Cromo = Cr; Mn = Manganês; Fe = Ferro; Zn = Zinco).

7 CONCLUSÕES

Os resultados do monitoramento realizado demonstraram que durante o período analisado houve flutuação do nível do freático, sendo que os níveis mais baixos coincidiram com o período de recessão hídrica na região. Por outro lado, após a formação do reservatório da UHE Baixo Iguaçu, o nível do freático também acompanhou o enchimento do reservatório na maioria dos poços, e quanto menor a cota do terreno, mais próximo da superfície do solo o lençol freático alcançou.

De maneira geral, todos os parâmetros físicos, químicos e biológicos analisados para caracterizar a qualidade da água, encontraram-se dentro dos limites estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 888/2021 - MS, para água de consumo humano (**Tabela 5**). Exceções feitas para os Coliformes fecais (*E. coli*), Coliformes totais, Nitrato, Nitrogênio amoniacal, Sólidos totais dissolvidos, Turbidez, Alumínio, Bário total, Chumbo, Manganês total e Ferro total, que apresentaram concentrações acima dos limites permitidos.

A presença de coliformes fecais (*E. coli*) nos poços 3C e 5C, já vinha ocorrendo nos estudos anteriores na fase de pré-enchimento e após o enchimento do reservatório, demonstra que nestas regiões está havendo percolação destes microrganismos, já que *E. coli* é de origem exclusivamente fecal, estando presente em densidades elevadas nas fezes de humanos, mamíferos e pássaros, sendo raramente encontrada na água ou solo que não tenham recebido contaminação fecal, uma vez que nas amostragens realizadas por INEO (2020 e 2021) na água superficial no reservatório da UHE Baixo Iguaçu, também foi registrada a presença destas bactérias.

A concentração de nitrato foi maior em maio de 2020 somente no poço 5C, apresentando valor em desacordo com a legislação. O nitrato é o contaminante com maior frequência em aquíferos no mundo (REYNOLDS-VARGAS et al. 2006). Esse parâmetro é utilizado, mundialmente, como indicador da contaminação das águas subterrâneas devido à sua alta mobilidade, podendo atingir extensas áreas. Uma das fontes potenciais desse contaminante em áreas urbanas são os sistemas de saneamento, dos quais se destacam as fossas sépticas e negras, bem como os vazamentos das redes coletoras de esgoto.

As concentrações de sólidos totais dissolvidos também foram influenciadas pelo excesso de sedimento encontrado na água do poço 5C, o qual registrou valor acima da legislação em novembro de 2020. Porém nas demais amostragens também registraram valores altos, no entanto, dentro da legislação (**Figura 41**)

Os valores de turbidez foram mais expressivos do que preconizado pela Portaria de Consolidação nº 888/2021 - MS, principalmente no poço 5C, uma vez que o poço possui pouca água e a mesma com elevado quantidade de sedimento.

Em relação ao alumínio, bário, chumbo, ferro e manganês os elevados valores estão associados ao tipo de solo da região, pois estes compostos ocorrem naturalmente em latossolos como os registrados nesta região do estado do Paraná. Segundo MINEROPAR (2001) o alumínio se apresenta em elevadas concentrações em águas superficiais. Segundo estes mesmos autores, concentrações de ferro de até 17,00 mg/L foram registradas em sedimentos do estado do Paraná, o que é superior ao encontrado nos poços, exceto no poço 5C em novembro de 2021, quando foi registrado 65,52 mg/L. No caso do Manganês, estes autores registraram até 1,44 mg/L em águas superficiais, entretanto, nesta região do baixo Iguaçu as concentrações foram elevadas para o poço

5C atingindo o valor máximo de 13,234 mg/L. O bário ocorre naturalmente na maioria das águas superficiais e sua concentração depende do teor de bário lixiviado das rochas, e o metal pode estar presente na água subterrânea (CETESB, 2017). No poço 5C em novembro de 2020 e 2021 os valores de chumbo encontraram-se acima dos estipulados pela Portaria de Consolidação nº 888/2021 (Tabela 5), alcançando níveis de concentração preocupantes. O chumbo é um dos contaminantes ambientais mais comuns, tóxico para homens e animais, sem nenhuma função fisiológica conhecida. Os efeitos nocivos podem afetar praticamente todos os órgãos e sistemas do organismo humano, se bioacumulado no organismo de quem o ingere (MOREIRA; MOREIRA, 2004).

Embora não tenham violado os limites da Portaria de Consolidação nº 888/2021, alguns parâmetros merecem destaque, como por exemplo, fósforo total, magnésio, potássio, cálcio e sódio que estiveram mais elevados no poço 5C. Esta elevação esteve diretamente associada com a redução do nível do freático durante este período de estiagem, de maneira que para a coleta da água, foi necessário efetuar várias descidas do coletor (Bailer) para completar o volume de água necessário para as análises. Esta água apresentou elevada turbidez, como pode ser verificado na **Figura 41**, o que mostra que neste período houve maior influência do solo entorno nos resultados, uma vez que alumínio, ferro, magnésio, cálcio, potássio e sódio são os principais componentes da maioria das rochas e minerais encontrados na superfície terrestre.



Figura 41 – Amostra de água obtida no poço 5C, demonstrando a cor da água.

A análise de Componentes Principais, evidenciou uma diferenciação na qualidade da água entre os poços, separando o poço 3C do poço 5C, onde o poço 5C foi responsável pelas maiores concentrações das variáveis ambientais, esta elevação esteve diretamente associada a quantidade de sedimento no poço influenciando os resultados.

Diante do exposto acima, entendemos que a execução do Programa de monitoramento do nível do lençol freático e da qualidade das águas subterrâneas cumpriu com os objetivos propostos, já que permitiu avaliar o comportamento do nível do lençol freático, assim como comparar a qualidade das águas subterrâneas entre os períodos.

8 EQUIPE EXECUTORA

GILMAR BAUMGARTNER

Biólogo, Doutor em Ciências Ambientais. Professor Associado do Curso de Engenharia de Pesca, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – campus Toledo, **Responsável Técnico**.

CLEODIMAR FERNANDES

Matemático, Mestre em Métodos Numéricos. Diretor Financeiro do Instituto Neotropical de Pesquisas Ambientais (INEO).

ADRIANA DA SILVA TRONCO JOHANN

Química, Técnico Laboratorial (*Instituto Neotropical de Pesquisas Ambientais*). Doutora em Engenharia Agrícola – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – campus Cascavel.

ANDERSON LUÍS MACIEL

Biólogo, Técnico Laboratorial (*Instituto Neotropical de Pesquisas Ambientais*). Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – campus Toledo.

ANTÔNIO NOGUEIRA DOS REIS

Biólogo, Técnico Laboratorial (*Instituto Neotropical de Pesquisas Ambientais*). Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – campus Toledo.

CARLOS HENRIQUE ORSI

Engenheiro de Pesca, Técnico Laboratorial (*Instituto Neotropical de Pesquisas Ambientais*). Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – campus Toledo.

CLEOMAR FERNANDES

Engenheiro de Pesca, Técnico Laboratorial (*Instituto Neotropical de Pesquisas Ambientais*). Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – campus Toledo.

PEDRO ROGÉRIO LEANDRO DA SILVA

Engenheiro de Pesca, Técnico Laboratorial (*Instituto Neotropical de Pesquisas Ambientais*). Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – campus Toledo.

TIAGO DEBONA

Engenheiro de Pesca, Técnico Laboratorial (*Instituto Neotropical de Pesquisas Ambientais*). Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – campus Toledo.

VINICIUS VALIENTE DOS SANTOS

Engenheiro de Pesca, Técnico Laboratorial (*Instituto Neotropical de Pesquisas Ambientais*). Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – campus Toledo.

9 CRONOGRAMA DE COLETAS E RELATÓRIOS

CRONOGRAMA FÍSICO PROPOSTO PARA O ANO 1

Tabela 4 - Cronograma de coletas e relatórios do Programa de Monitoramento do Lençol Freático e da Qualidade da Água subterrânea da UHE Baixo Iguaçu

Atividades	Ano 1 (2020 - 2021)											
	Meses											
	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril
Reunião de <i>Kick-off</i>												
Campanhas de Monitoramento de nível dos poços												
Campanhas de Monitoramento da qualidade da água												
Relatórios trimestrais												
Relatório Semestral												

CRONOGRAMA FÍSICO PROPOSTO PARA OS ANO 2 E 3

Atividades	Ano 2 (2021 – 2022)												Ano 3 (2022)	
	Meses													
	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho
Campanhas de Monitoramento de nível dos poços														
Campanhas de Monitoramento da qualidade da água														
Relatório Trimestral														
Relatório Semestral														
Relatório Final Consolidado														

10 REFERÊNCIAS CONSULTADAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2010. NBR 15847: **Amostragem de Água Subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de Purga**. 21p.
- ALBINET, M. & MARGAT, J. (1970). **Groundwater Pollution Vulnerability Mapping**. *Bulletin du Bureau de Recherches Geologiques et Minieres Bull BRGM 2nd Series*, 3, 13-22.
- ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; SILVA, A. L. B.; SOARES, L. **Monitoring of watertable oscillation due to reservoir impoundment: the case of Três Irmãos Reservoir and the city of Pereira Barreto, SP, Brasil**. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROGEOLOGISTS, 31., 2001, Munich. *Proceedings otterdam: IAH, 2001. v. 2. p. 1111-1117*
- ALBUQUERQUE FILHO, J.L. & BOTTURA, J.A. **Elevações induzidas no lençol freático**. In: **ENCONTRO TÉCNICO CESP/IPT, 1994, Paraibuna, São Paulo. O meio físico nos estudos ambientais de projetos hidroelétricos**. Paraibuna, São Paulo: CESP/IPT, 1994. p. 62-73.
- ALBUQUERQUE FILHO, J.L.; BOTTURA, J.A.; JUNIOR, T.B. & CORRÊA, W.A.G. **Avaliação de impactos hidrogeológicos como subsídio à instalação de reservatórios hidrelétricos no estado de São Paulo**. In: 17 CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 8., 1996, Recife, PE. *Anais...Recife: ABAS, 1996. p. 169 - 179*.
- ALLER, L. & BENNET, T. 1987. **DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrological settings**. U. S. Environmental Protection Agency, Ada, OK, EPA, Report 600/2-87-035; 455p
- ANA - **Agência Nacional das Águas**. <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>; acessado em 16 de maio de 2018.
- APHA – American Public Health Association 2012. **Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater**. Washington. 22th edition.
- BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 4.ed., 2011. 844p
- CEBI. Consórcio Empreendedor Baixo Iguaçu. 2017. **Termo de Referência para execução do Programa de Monitoramento do Lençol Freático e Qualidade das Águas Subterrâneas na UHE Baixo Iguaçu**. Capanema, PR, 39p.
- CETESB, **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental**. 2016. **Ficha de informações toxicológica**. CETESB, São Paulo, 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Bario.pdf>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2022.
- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2016. **Relatórios de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo**. CETESB, São Paulo.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2011. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: água, sedimentos, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo/Brasília. 326p.
- DVWK, 1993, Guidelines for water management; Application of geotextiles in hydraulic engineering, issued by the German Association for Water Resources and Land Improvement (DVWK) in cooperation with the International Commission on Irrigation and Drainage (ICID), Bonn, Germany.
- EMBRAPA 2022. Disponível em <https://www.cnpma.embrapa.br/projetos/ecoagua/eco/oxigdiss.html>. Acessado em 11 de fevereiro de 2022.
- ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 3° ed. Rio de Janeiro: Ed. Interciência/FINEP, 2011. 862p.

- FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia. Coceitos e Aplicações. 2 ed. Fortaleza, Editora Eletrônia**, 2000, p. 390. Disponível em:
<www.cprm.gov.br/publique/media/Errata_Permanente.pdf>. Acessado em: 12 de Dezembro de 2013.
- FOSTER, S. et al. **Protección de la Calidad del Agua Subterránea**. 2002. Banco Mundial: Washington, 115p.
- FOSTER, S. S. D.; Hirata, R. C. A. & Rocha, G. A. 1988. **Riscos de poluição de água subterrânea: uma proposta de avaliação regional**. São Paulo: CEPIS/ OPS
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. São Paulo: Servemar, 2006.
- FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.C.A.; GOMES, D.; D'ELIA, M. PARIS, M. **Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities and environment agencies**. Washington: The World Bank. 2002.
- FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. 2013. **Manual prático de análise de água**. 4. ed. Brasília: FUNASA, 150 p.
- FURTADO, Z. N. C.; LOLLO, J. A.; OLIVEIRA, J. N. **Avaliação da Vulnerabilidade à Contaminação dos Recursos Hídricos Subsuperficiais em Áreas Urbanas como Ferramentas de Gestão**. Disponível em file:///C:/Users/Usuario/Downloads/23379-Texto%20do%20artigo-84671-1-10-20110912.pdf. Acessado em 11 de fevereiro de 2022.
- HAERTLE, T. 1983. **Method of working and employment of EDP during the preparation of groundwater vulnerability maps**. In: UNESCO/IAH/IAHS, UNESCO INTERNATIONAL SYMPOSIUM: GROUNDWATER IN WATER RESOURCES PLANNING, Koblenz, Proceedings, 2: 1073-1085.
- INMETRO. 2017. ABNT ISSO/IEC 17025: **Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração**. 37p.
- INMETRO. 2017. DICLA 057-02: **Critérios para acreditação da amostragem para ensaios de águas e matrizes ambientais**. 21p.
- IRITANI, M. A., EZAKI, S. **As Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo**. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, Instituto Geológico. 2008.
- ISO. ISO 5667-1: **Water Quality – Sampling – Guidance on the Design of Sampling Programmes and Sampling Techniques**.
- LAFUENTE, J. CATALÁN. **Química Del Agua. Diccionario Tecnico del Agua**. Madrid, 1981.
- MCCUNE, B. & GRACE, JB. **Analysis of Ecological Communities**. M.J.M Software, Gleneden beach, oregon, USA. <http://www.pcord.com>, 304 p. 2002.
- MCCUNE, B. & MEFFORD, M.J. PC-ORD, version 5.31, **Multivariate analysis of ecological data**. MjM Software Desing, Glaneden Beach, 40p. 2006.
- MINEROPAR S.A. **Atlas comentado da geologia e dos recursos minerais do estado do paraná**. Curitiba: Mineropar,2001.
- MONKHOUSE, R. A. 1983. **Vulnerability of aquifers and groundwater quality in the United Kingdom. Institute of Geological Sciences Report**. Nottingham, Reino Unido.
- MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. A cinética do chumbo no organismo humano e sua importância para a saúde. **Ciência Saúde Coletiva**, v. 9, n.1, p. 167-181, 2004.
- PÁDUA, V. L. DE; FERREIRA, A. C. DA S. Qualidade da água para consumo humano. In: **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: UFMG, 2006. p. 153-221.

PARRON, L. M, MUNIZ, D, H, F, PEREIRA, C, M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água (recurso eletrônico)**. Dados eletrônicos Colombo: EMBRAPA Floresta, 2011.

PERES-NETO, P.R.; JACKSON, D.A. & SOMERS, K.M. 2005. **How many principal components? stopping rules for determining the number of non-trivial axes revisited**. Computational Statistics & Data Analysis, 49 (1), p. 974-997.

PINTO, B. V.; GODOY, J. M.; ALMEIDA, M. C.; **Características Químicas e Físico-químicas de Águas Subterrâneas do Estado do Rio de Janeiro**. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2006. Disponível em: <http://ww2.abas-rj.org/atuacao_tecnica/caracteristicas_quimicas.pdf%3E>. Acessado em 12 de Janeiro de 2020.

REYNOLDS-VARGAS, J.; FRAILE-MERINO, J.; HIRATA, R. Trends in nitrate concentrations and determination of its origin using stable isotopes (¹⁸O and ¹⁵N) in groundwater of the western Central Valley, Costa Rica. *Ambio: A Journal of the Human Environment*, v. 35, n. 5, 229-237, 2006.

SANTOS, A. C. 1997. **Noções de Hidroquímica**. In: **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Coordenadores: Fernando Antônio Carneiro Feitosa / João Manoel Filho. Fortaleza. CPRM / LABHID – UFPE. 1ª Ed.

SANTOS, R.A. (2011). **Hidrogeoquímica das águas subterrâneas do município de Iraquara, Bahia** 144f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

SILVA, A.L.B.; ALBUQUERQUE FILHO, J.L.; BREVEGLIERI, F.C.; FILIPOV, M.; SOARES, L. **Water table oscillation due to hydroelectric dam reservoir impoundment in São Paulo State, Brazil**. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE ASSOCIATION FOR ENGINEERING GEOLOGY AND THE ENVIRONMENT. 8., 1998, Vancouver. Anais...Vancouver: IAE, 1998b. p. 2367-2372.

VAN EVERDINGEN, R.O. **The influence of the South Saskatchewan Reservoir on the local groundwater regime**. A prognosis. Geological Survey of Canadá- Dept. of Energy, Mines and Resources. Paper 65-69. 85 p, 1968.

Toledo-PR, 11 de março de 2022.



Gilmar Baumgartner
Responsável Técnico
CRBio 17466/07-D

Tabela 5 - Resultados das análises físicas, químicas e bacteriológicas obtidas das águas subterrâneas, na área de influência da UHE Baixo Iguaçu, entre maio de 2020 e novembro de 2021 (valores em vermelho excederam os limites para consumo humano estabelecido pela Portaria de Consolidação nº. 888/2021 do Ministério da Saúde) (Nm = não mencionado na legislação) (ND = não detectado).

PARÂMETROS	Unidade	CONSUMO HUMANO									
		PORTARIA CONSOL. N° 888/2021 MS	Maio/2020		Novembro/2020		Maio/2021		Novembro/2021		
			3C	5C	3C	5C	3C	5C	3C	5C	
Cálcio Total	mg/L	Nm	3,77	53,71	5,05	56,1	2,48	6,81	16,03	20,08	
Cloretos	mg/L	≤250,0	3,7	4,2	3,0	75,0	9,1	104,5	4,2	12,5	
Coliformes Fecais (<i>E. coli</i>)	NMP/100mL	Ausentes	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	10	< 1,00	< 1,00	
Coliformes Totais	NMP/100mL	Ausentes	1860	< 1,00	1	1	10	19863	4,1	< 1,00	
Condutividade Elétrica	µS/cm	Nm	34,2	57,8	34,4	54,8	37,4	62,3	25,38	68,28	
Fósforo total	mg/L	Nm	0,065	0,607	0,09	0,776	0,061	1,603	0,109	2,02	
Magnésio Total	mg/L	Nm	4,03	40,58	1,12	132,2	12,1	36,21	28,19	19,42	
Nitrato	mg/L	≤10,0	4,1	10,1	6,4	6,2	1,1	3,1	2,21	4,75	
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	≤1,2	0,03	0,05	0,131	0,45	0,03	0,146	0,099	2,133	
Nitrogênio Orgânico	mg/L	Nm	0,34	0,76	0,5	0,31	0,9	0,83	0,2	5,21	
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/L	Nm	0,370	0,810	0,631	0,760	0,930	0,976	0,299	7,343	
Oxigênio Dissolvido	mg/L	Nm	6,13	9,7	6,83	5,08	5,06	3,74	4,36	3,68	
Oxigênio Dissolvido	% sat.	Nm	74,7	96,2	78,4	58,3	57,7	42,4	60,7	26,0	
pH	Unidade	Nm	4,95	7,27	4,83	5,45	6,26	6,55	6,53	6,01	
Potássio	mg/L	Nm	0,289	2,29	0,538	4,779	0,469	2,876	0,6	1,265	
Potencial Redox	mV	Nm	290,7	426,7	280,4	316,4	362,8	379,9	383,4	363,3	
Sódio	mg/L	≤200,0	0,71	1,691	1,165	2,322	1,576	1,777	1,533	1,267	
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	≤500,0	99,5	169,0	39,5	763,0	23,6	70,0	15,5	44,0	
Temperatura da Água	°C	Nm	25,4	25,3	22,2	22,2	21,7	21,9	25,4	34,2	
Temperatura do Ar	°C	Nm	28,0	28,0	32,0	32,0	15,0	18,0	31,0	39,0	
Turbidez	NTU	≤5,0	94,1	138,0	45,9	124,0	27,9	829,0	5,0	593,0	
METAIS PESADOS E AGROTÓXICOS											
Alumínio	mg/L	≤0,2	0,122	0,876	0,238	1,507	0,165	11,152	0,327	4,081	
Bário Total	mg/L	≤0,7	< 0,051	1,621	0,053	0,45	0,06	1,039	0,056	0,386	
Cádmio Total	mg/L	≤0,003	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	
Chumbo	mg/L	≤0,01	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,055	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,027	
Cobre	mg/L	≤2,0	0,039	0,126	< 0,015	0,982	< 0,015	< 0,015	< 0,015	0,136	
Cromo Total	mg/L	≤0,05	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,029	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,021	
Manganês Total	mg/L	≤0,1	0,033	3,202	0,095	13,234	0,045	2,456	0,069	1,058	
Níquel	mg/L	≤0,07	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	
Ferro	mg/L	≤0,3	4,00	4,00	4,02	5,95	1,99	1,12	7,03	65,52	
Prata	mg/L	Nm	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Zinco	mg/L	≤5,0	0,079	0,223	0,077	0,716	0,096	0,18	< 0,066	0,088	
Organoclorados	mg/L	Nm	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
Organofosforados	mg/L	Nm	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	

ANEXOS



		Protocolo 15.245.188-1/ 17.894.601-3
		Número do Documento IAT CCL089R
		Validade 03/09/2024

CERTIFICADO DE CADASTRAMENTO DE LABORATÓRIO - CCL

O INSTITUTO ÁGUA E TERRA - IAT, órgão público de direito público, vinculado a Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo - SEDEST, com sede à Rua Engenheiros Rebouças, nº 1206, nesta Capital, no uso das atribuições que lhe confere a Lei Estadual nº 10.066 de 27/07/92, aprovada pelo Decreto Estadual nº 1.502 de 04/08/92, combinado com o Decreto nº 884 de 21/06/95, e de acordo com a Resolução CEMA nº95 de 04/11/2014, publicada no Diário Oficial do Estado em 07/11/2014. Com base nos limites estabelecidos nas Resoluções CONAMA 357/2005 de 17/03/2005, CONAMA 396/2008 de 03/04/2008, CONAMA 420/2009 de 28/12/2009, CONAMA 454/2012 de 01/11/2012, Resolução CEMA 100/2017 de 04 de Julho de 2017, Resolução SEMA 016/2014 de 26 de março de 2014 e com base nos autos do protocolo supra, concede o presente CERTIFICADO nas condições e restrições abaixo especificadas.

1 - IDENTIFICAÇÃO:

CPF/CNPJ 76680337/0005-08	Nome/Razão Social UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – CAMPUS TOLEDO - UNIOESTE
RG/Inscrição Estadual Isento	Logradouro e Número Rua da Faculdade, 645
Bairro Jardim Santa Maria	Município / UF Toledo/PR
	CEP 85903-000

2 - RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Nome: Gilmar Baumgartner	Registro Profissional: CRBio 17466/07-D
Profissão: Biólogo	

3 - CARACTERÍSTICAS DO CADASTRAMENTO:

3.1 - O laboratório acima identificado está apto e cadastrado pelo IAT a realizar as seguintes amostragens para as matrizes

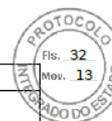
a) Água Bruta

3.2 - O laboratório acima identificado está apto e cadastrado pelo IAT a realizar as seguintes análises/ensaios laboratoriais:

PARÂMETROS	MATRIZ							
	ÁGUA BRUTA (SUPERFICIAL)	ÁGUA BRUTA (SUBTERRÂNEA)	ÁGUA SALINA/SALOBRA	ÁGUA RESIDUAL	LIXIVIADO/ SOLUBILIZADO	SOLO	SEDIMENTO	RESÍDUO SÓLIDO (massa bruta)
Alcalinidade Total	X	X	-	-	-	-	-	-
Cálcio	-	X	-	-	-	-	-	-
Cloretos	X	X	-	-	-	-	-	-
Clorofila a e Feofitina a	X	-	-	-	-	-	-	-
Condutividade	X	X	-	-	-	-	-	-
Cor aparente	-	X	-	-	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	X	X	-	-	-	-	-	-
Dureza Total	X	X	-	-	-	-	-	-
Fósforo	X	-	-	-	-	-	-	-
Invertebrados Bentônicos	-	-	-	-	-	-	X	-
Magnésio	-	X	-	-	-	-	-	-
Nitrato	X	X	-	-	-	-	-	-

Página 1 de 2

Assinatura Avançada realizada por: Ivonete Coelho da Silva Chaves em 03/09/2021 15:16, Everton Luiz da Costa Souza em 03/09/2021 17:27. Inserido ao protocolo 17.894.601-3 por: Christine da Fonseca Xavier em: 03/09/2021 14:17. Documento assinado nos termos do Art. 38 do Decreto Estadual nº 7304/2021. A autenticidade deste documento pode ser validada no endereço: <https://www.eprotocolo.pr.gov.br/spiweb/validarAssinatura> com o código: 71b8a2381aa403e8fc358d93d0595921.



PARÂMETROS	MATRIZ							
	ÁGUA BRUTA (SUPERFICIAL)	ÁGUA BRUTA (SUBTERRÂNEA)	ÁGUA SALINA/SALOBRA	ÁGUA RESIDUAL	LIXIVIADO/ SOLUBILIZADO	SOLO	SEDIMENTO	RESÍDUO SÓLIDO (massa bruta)
Nitrito	X	X	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio amoniacal	X	-	-	-	-	-	-	-
Oxigênio Dissolvido	X	-	-	-	-	-	-	-
pH	X	X	-	-	-	-	-	-
Sólidos Suspensos Totais	-	X	-	-	-	-	-	-
Sólidos Totais a 103° C	-	X	-	-	-	-	-	-
Sólidos Totais Dissolvidos	X	X	-	-	-	-	-	-
Sulfato	X	X	-	-	-	-	-	-
Temperatura	X	X	-	-	-	-	-	-
Turbidez	X	X	-	-	-	-	-	-
Zooplankton	X	-	-	-	-	-	-	-

4 - CONDICIONANTES:	
a) Este certificado é válido para o prazo e condições acima estabelecidos, bem como para os dados constantes do protocolo supra.	
b) Este documento perderá a validade, caso os dados fornecidos pelo empreendedor não correspondam à realidade.	
c) Este certificado não dispensa nem substitui quaisquer alvarás ou certidões exigidos pela Legislação Federal, Estadual ou Municipal, nem exclui as demais licenças ambientais.	
CURITIBA, 03 de Setembro de 2021	
GERENTE DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL	PRESIDENTE DO IAT

Assinatura Avançada realizada por: **Ivonele Coelho da Silva Chaves** em 03/09/2021 15:16, **Everton Luiz da Costa Souza** em 03/09/2021 17:27. Inserido ao protocolo **17.894.601-3** por: **Christine da Fonseca Xavier** em: 03/09/2021 14:17. Documento assinado nos termos do Art. 38 do Decreto Estadual nº 7304/2021. A autenticidade deste documento pode ser validada no endereço: <https://www.eprotocolo.pr.gov.br/spiweb/validarAssinatura> com o código: **71b8a2381aa403e8fc358d93d0595921**.



ePROTOCOLO



Documento: **CCLUNIOESTECNPJ76680337000508.pdf**.

Assinatura Avançada realizada por: **Ivonete Coelho da Silva Chaves** em 03/09/2021 15:16, **Everton Luiz da Costa Souza** em 03/09/2021 17:27.

Inserido ao protocolo **17.894.601-3** por: **Christine da Fonseca Xavier** em: 03/09/2021 14:17.



Documento assinado nos termos do Art. 38 do Decreto Estadual nº 7304/2021.

A autenticidade deste documento pode ser validada no endereço:
<https://www.eprotocolo.pr.gov.br/spiweb/validarAssinatura> com o código:
71b8a2381aa403e8fc358d93d0595921.

República Federativa do Brasil
Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro
Coordenação Geral de Acreditação



*Signatário dos Acordos de Reconhecimento Mútuo da International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC),
da Interamerican Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF).*

Certificado de Acreditação

Acreditação nº CRL 1356 Acreditação Inicial: 05/06/2018

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Rua Faculdade, 645 – Jardim Santa Maria – Toledo – PR

*A Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro (Cgcre) concede acreditação ao Organismo de Avaliação da Conformidade acima
identificado, no endereço citado, segundo os requisitos estabelecidos na ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005. Esta acreditação
constitui a expressão formal do reconhecimento de sua competência para realizar atividades de ensaios, conforme Escopo de
Acreditação.*



Assinado de forma digital
por ALDONEY FREIRE
COSTA:54879590720
Dados: 2018.06.06 09:58:38
-03'00'

Aldoney Freire Costa
Coordenador Geral de Acreditação Substituto

A situação atual da acreditação e seu escopo devem ser verificados no endereço eletrônico www.inmetro.gov.br/credenciamento/laboratoriosAcreditados.asp

MOD-CGCRE-024 – Rev. 05 – Apr. NOV/16 – Pg. 01/01