



PROJETA

PR-022-001-PL-HID-MD-003-00

Estudo de mananciais e tratabilidade dos recursos hídricos

Uberaba / MG

CODAU

Estudo de mananciais e tratabilidade

Revisão 00

Julho/2022

Sumário

1	APRESENTAÇÃO.....	3
2	DEFINIÇÕES	3
3	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	4
4	ESTUDO HIDROLÓGICO	5
4.1	RIO GRANDE.....	5
4.1.1	Caracterização da Bacia.....	5
4.1.2	Vazões	9
4.1.3	Vazão Outorgável.....	16
4.1.4	Qualidade da água	18
4.2	RIO ARAGUARI	21
4.2.1	Caracterização da Bacia.....	21
4.2.1	Vazões	32
4.2.2	Vazão Outorgável.....	35
4.2.3	Qualidade de água	39
5	TRATABILIDADE – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	42
5.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	42
5.2	TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO.....	42
6	ESTUDO DE TRATABILIDADE DO RIO GRANDE	43
6.1	COLETA E ANÁLISE DA ÁGUA BRUTA – RIO GRANDE	43
6.1.1	Características da água bruta – Rio Grande	44
6.2	ENSAIOS DE TRATABILIDADE DA ÁGUA DO RIO GRANDE	48
6.2.1	PRÉ-OXIDAÇÃO	48
6.2.2	COAGULAÇÃO.....	56

6.2.1	ADSORÇÃO	66
6.2.2	CICLO COMPLETO.....	69
7	ESTUDO DE TRATABILIDADE DO RIO ARAGUARI	72
7.1	COLETA E ANÁLISE DA ÁGUA BRUTA – RIO ARAGUARI	72
7.1.1	Características da água bruta – Rio Araguari	73
7.2	ENSAIOS DE TRATABILIDADE	77
7.2.1	PRÉ-OXIDAÇÃO	77
7.2.2	COAGULAÇÃO.....	82
7.2.1	ADSORÇÃO	87
7.2.1	CICLO COMPLETO.....	89
8	CONCLUSÕES	92
8.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	94
9	REFERÊNCIAS.....	95
10	RESPONSABILIDADE TÉCNICA	95

1 APRESENTAÇÃO

O presente trabalho, resultado da contratação da **PROJETAE LTDA** pela **CODAU**, consiste no estudo de mananciais e de tratabilidade dos recursos hídricos escolhidos, juntamente com o **relatório de Estudo de mananciais e de tratabilidade**.

O trabalho foi dividido em 6 relatórios, conforme orientação da CODAU, da seguinte forma:

- Relatório preliminar de planejamento executivo;
- Relatório 1 – Análise de dados do município e estudo demográfico;
- Relatório 2 – Análise de dados e diagnóstico do SAA;
- **Relatório 3 – Estudo de mananciais e de tratabilidade;**
- Relatório 4 – Estudo de alternativas para o SAA; e
- Relatório 5 – Concepção e planos de investimentos do SAA.

Este documento tem por finalidade apresentar o estudo de mananciais e de tratabilidade.

2 DEFINIÇÕES

As descrições e definições das siglas utilizadas são apresentadas na Tabela 2.1 abaixo.

Tabela 2.1 – Lista de siglas e definições

ANA	Agência Nacional de Águas
CAP	Carvão Ativado Pulverizado
CODAU	Companhia Operacional de Desenvolvimento, Saneamento e Ações Urbanas
CRL	Cloro residual livre
ETA	Estação de Tratamento de Água
PAC	Policloreto de Alumínio
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
STR	Sistema de Tratamento de Resíduos

3 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A captação de água bruta pela CODAU tem sido feita no rio Uberaba e no rio Claro, em momentos de complementação de vazão.

De acordo com o estudo de diagnóstico do SAA (relatório 2), foi verificada a necessidade de captação por outro manancial, devido aos limites hídricos dos mananciais, e pelos conflitos existentes.

O presente estudo analisa o rio Grande e rio Araguari, e realiza estudo de tratabilidade com o intuito de verificar a qualidade da água, e suas considerações para futura captação para o abastecimento de Uberaba.

A estrutura de trabalho proposta pela CODAU consiste no estudo hidrológico de vazões e de tratabilidade de novos mananciais (sendo rio Grande e rio Araguari), com vistas a viabilidade de tratamento da água bruta captada.

Este relatório apresenta o estudo hidrológico de vazões e de tratabilidade de rio Grande e rio Araguari.

4 ESTUDO HIDROLÓGICO

4.1 RIO GRANDE

4.1.1 Caracterização da Bacia

4.1.1.1 Localização

O rio Grande tem extensão de 1.286 km e conforma o limite natural entre os estados de São Paulo e de Minas Gerais até a sua foz, quando forma o rio Paraná ao confluir com o rio Paranaíba.

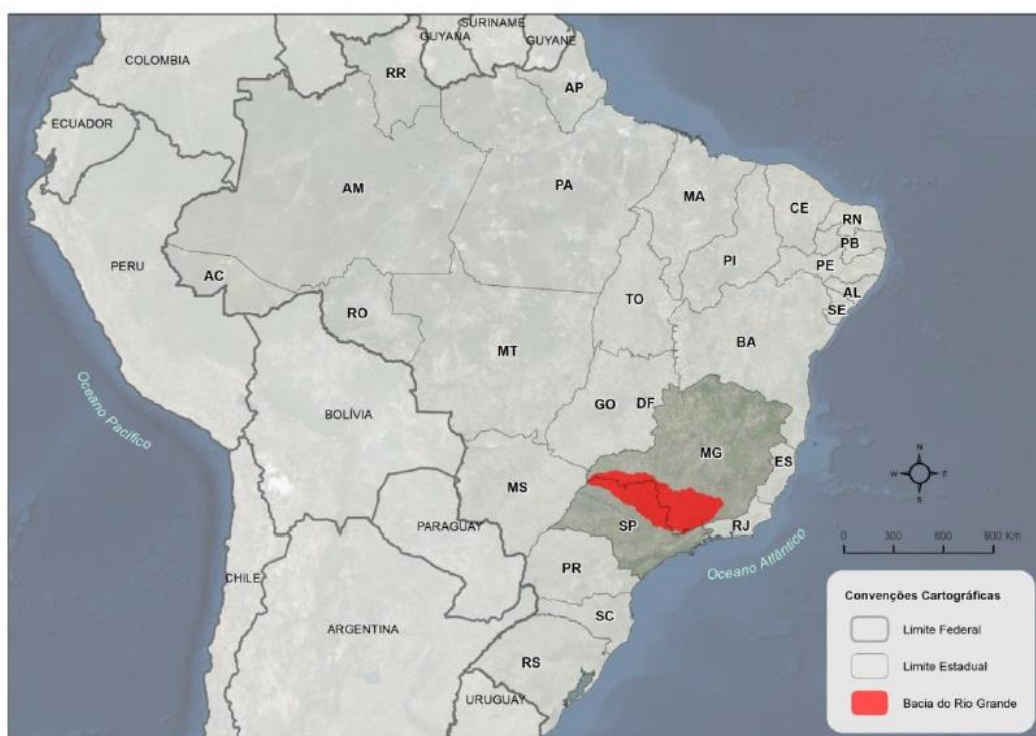


Figura 4.1 – Macrolocalização da Bacia do Rio Grande

Fonte: PARH (ANA, 2017)

A cidade de Uberaba localiza-se na Unidade de Gestão Hídrica 08 da Bacia do Rio Grande (GD 08), que compreende os afluentes mineiros do Baixo Rio Grande e possui 51% de sua área total na UGH.



Figura 4.2 – Localização da GD 08 (Baixo Rio Grande na bacia do Rio Grande)

Fonte: PARH (ANA, 2017)

4.1.1.2 Pedologia, Relevo e Declividade

Na região, observa-se o predomínio de latossolos vermelhos, com amostras de argissolos vermelho-amarelos, e de forma menos expressiva, a presença de latossolos vermelho-amarelos e cambissolos. Embora apresentem baixa fertilidade, as propriedades físicas dos latossolos, somadas aos relevos planos e suavemente ondulados encontrados na bacia favorecem a mecanização agrícola e são aptos para práticas como a irrigação por aspersão.

Argissolos são solos medianamente profundos a profundos, moderadamente drenados, com evolução avançada, mas que também podem apresentar maiores limitações físicas, como menor permeabilidade e horizonte superficial arenoso. Em contrapartida, tendem a apresentar maior concentração de nutrientes por se tratarem, em sua maior parte, de solos eutróficos.

Na GD 08 - Baixo Grande, a intensa presença de latossolos (vermelhos e vermelho-amarelos) e de argissolos vermelho-amarelos, contribui para aumentar a aptidão agrícola das terras dessa região.

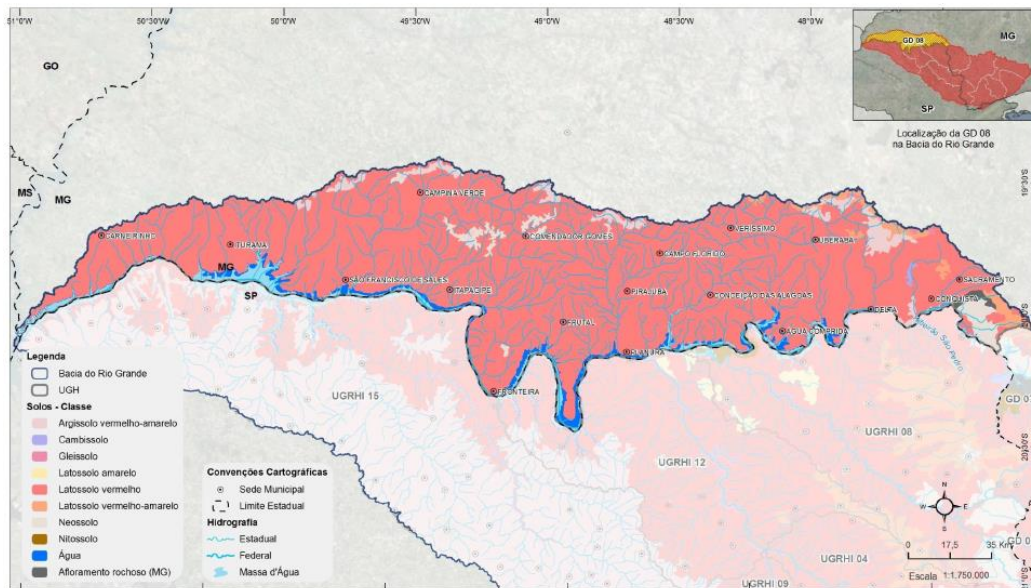


Figura 4.3 – Tipos de solo encontrados na GD 08 (Baixo Rio Grande)

Fonte: PARH (ANA, 2017)

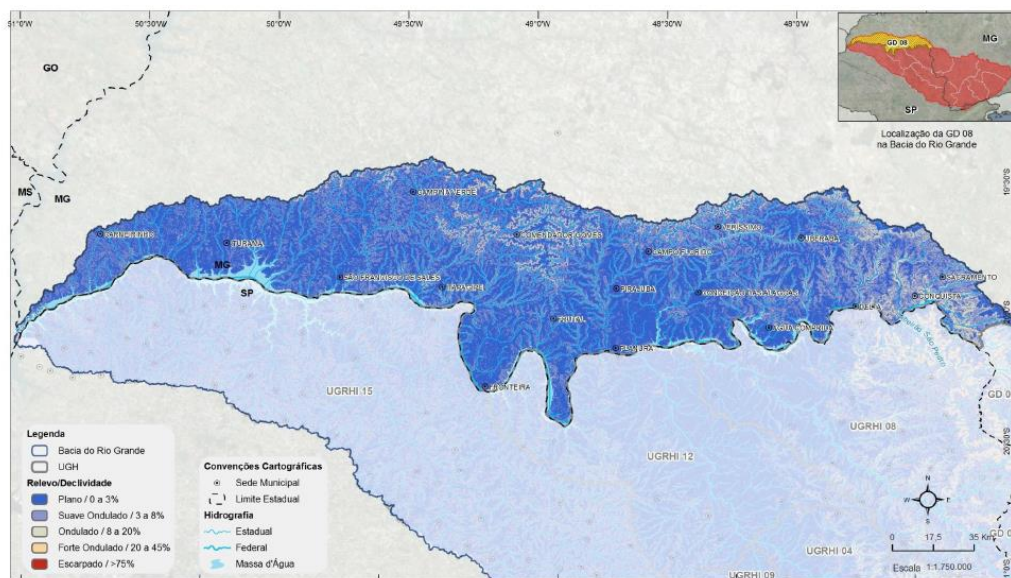


Figura 4.4 – Relevo da GD 08 (Baixo Rio Grande)

Fonte: PARH (ANA, 2017)

16 3412 3995

contato@projetae.com

[f](#) [in](#) /projetae | www.projetae.com

São Carlos – SP, Brasil

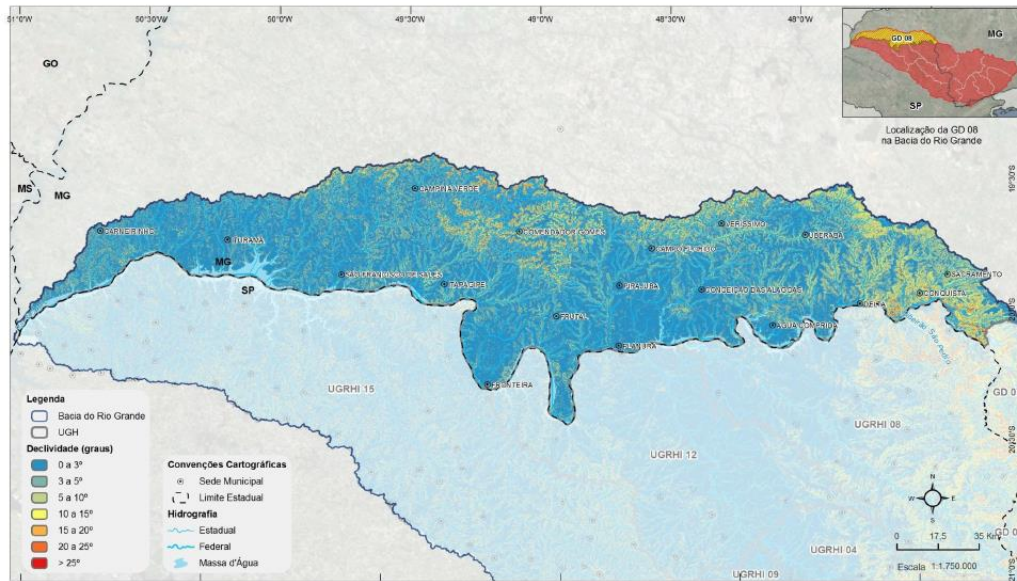


Figura 4.5 – Declividade da GD 08 (Baixo Rio Grande)

Fonte: PARH (ANA, 2017)

A cidade de Uberaba localiza-se na região da bacia onde há presença majoritária de latossolo vermelho e em área de baixa declividade e relevo, caracterizando-a como uma região plana.

4.1.1.3 Pluviometria

O relevo da região exerce forte influência na distribuição das chuvas na bacia. Na GD 08, há a influência do efeito orográfico da Serra da Canastra, localizada na porção centro-norte da bacia do rio Grande, levando a maiores precipitações nas regiões próximas, no caso, a porção leste da UGH. A variação da precipitação anual na GD 08 tem uma amplitude de 1.073 mm, com precipitação média de 1.436 mm, máxima de 1.991 mm e mínima de 918 mm, sendo observada a influência da Serra da Canastra nos valores médios mais elevados na porção leste da UGH. A região é caracterizada por um período chuvoso de seis a sete meses (de outubro a março/abril), com concentração de mais de 80% das chuvas no verão.

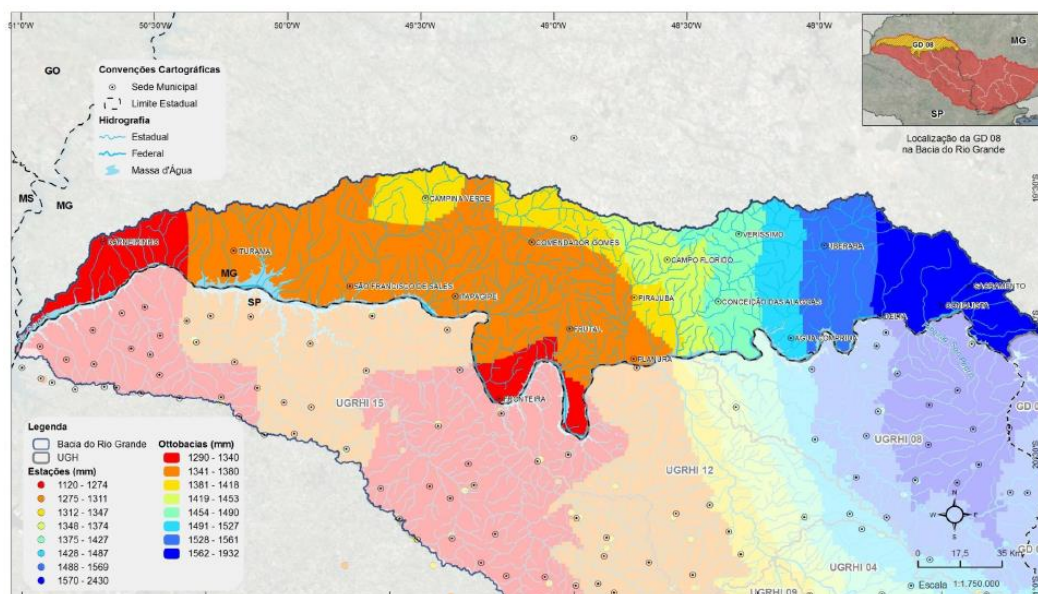


Figura 4.6 – Valores de precipitação média anual da GD 08 (Baixo Rio Grande)

Fonte: PARH (ANA, 2017)

É possível perceber que a cidade de Uberaba se encontra em uma região de alta precipitação média anual, com média entre 1528 e 1561 mm chuva por ano.

4.1.2 Vazões

Após sua nascente na Serra da Mantiqueira, o rio Grande percorre cerca de 680 km até confluir com o rio das Canoas, pela margem esquerda, formando, a partir desse ponto, um limite natural entre os estados de Minas Gerais e de São Paulo, até a sua foz.

A GD 08 contempla a margem direita da bacia de drenagem do rio Grande, após a confluência com o rio das Canoas. O rio Grande, após sua confluência com rio Paranaíba, forma o rio Paraná, cuja bacia é uma das mais importantes do Brasil, tanto do ponto de vista econômico quanto do de aproveitamento dos recursos hídricos.

Em seu percurso pelos limites da UGH, no qual o rio Grande é de domínio da União, os principais afluentes são o rio Uberaba, pela margem direita, e os rios Sapucaí, Pardo e Turvo, pela margem esquerda paulista.

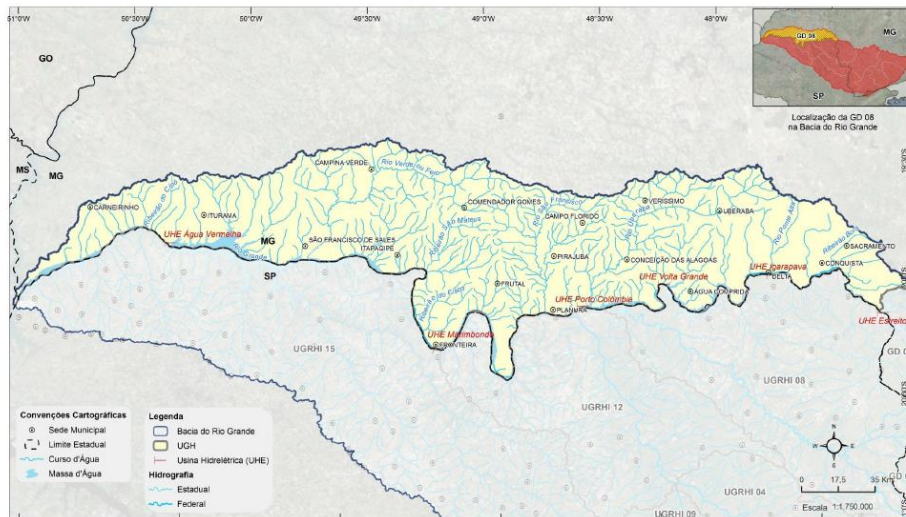


Figura 4.7 – Recursos hídricos superficiais da GD 08 (Baixo Rio Grande)

Fonte: PARH (ANA, 2017)

O local de maior interesse de estudo se localiza próximo à foz do rio do Carmo, antes da junção do afluente, em específico anterior às instalações de mineração de fosfato, visando a segurança da qualidade da água a ser captada. Caracteriza-se como a área mais provável de instalação para adução de água bruta no rio Grande.

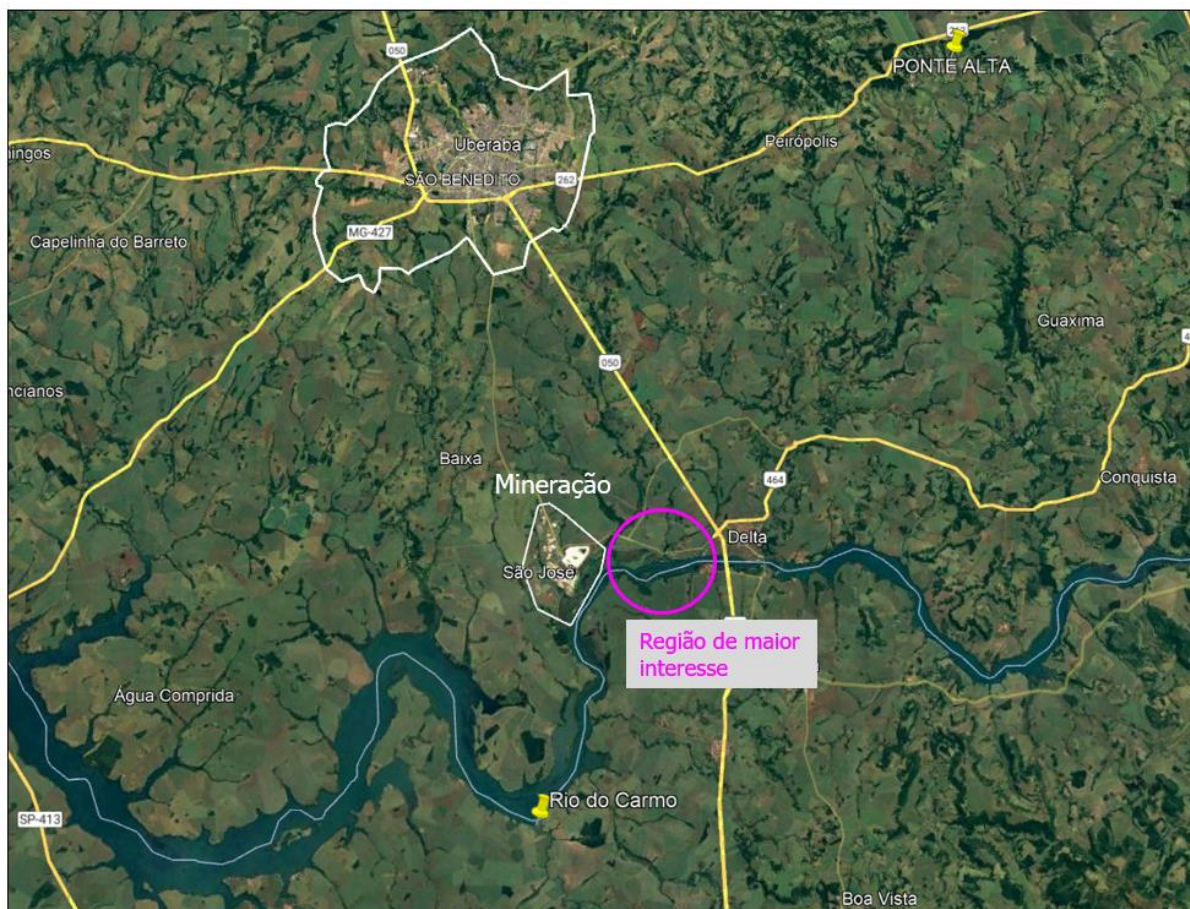


Figura 4.8 – Localização da região de maior interesse para captação – Rio Grande

Fonte: Google Earth (2022)

Análise de dados (base de dados da ANA)

A estação fluviométrica da Agência Nacional das Águas (ANA) que coleta dados da vazão do rio Grande tem código 61740080, e está instalado no reservatório de acumulação da UHE Igarapava, a montante do provável ponto de captação da CODAU em rio Grande.

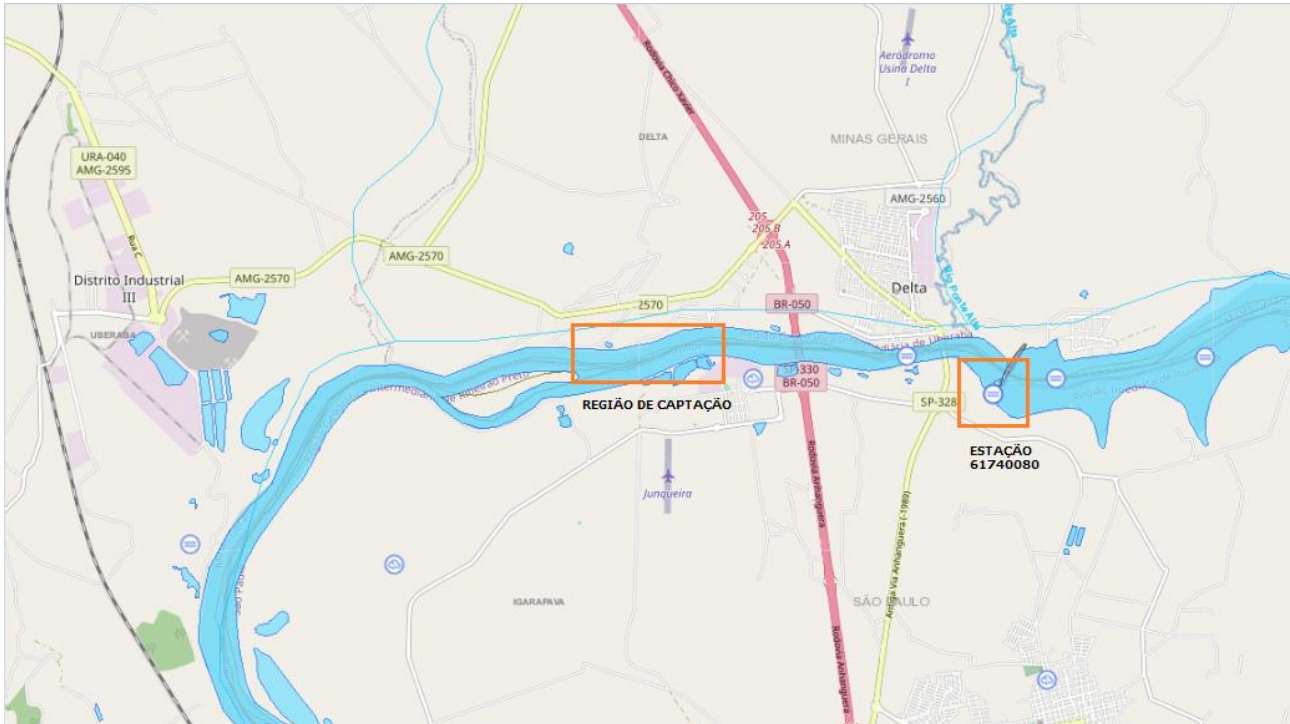


Figura 4.9 – Localização da estação fluviométrica 6174080

Fonte: HIDROWEB - ANA (2022)

A Agência Nacional de Águas (ANA) apresenta os dados de medições realizadas diariamente durante os meses do ano, para vazões médias, mínimas e máximas em série histórica (de 1998 a 2015). A data de início das medições é referente a inauguração da usina hidrelétrica UHE Igarapava, em 1998.

Na condição de existência de barragem de usinas hidrelétricas (UHE) para geração de energia, a vazão a jusante da UHE é condicionada a vazão defluente da usina, sendo mínimo de 30% da $Q_{95\%}$, de acordo com critério da ANA, sendo bastante variável, pois depende da operação da hidrelétrica e da reservação da barragem.

A partir de dados fornecidos pela ANA, por meio do sistema *Hidroweb*, foi possível acessar a série histórica de vazões para os anos de 1998 a 2015. Os dados foram retirados das medições referentes à estação fluviométrica 6174080 – Barragem UHE Igarapava, a qual considera a vazão defluente.

A vazão $Q_{95\%}$ de rio Grande foi calculada pelo software SisCAH – 1.0, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa, utilizando dados da série histórica da estação 6174080 da Agência Nacional de Águas (ANA).

É calculada a vazão mínima relacionada a vazão defluente, associada a disponibilidade hídrica condicionado aos dados da barragem a montante do ponto, pois as vazões naturais $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$ são descaracterizadas de seu valor original, pois uma usina hidrelétrica de grande porte altera a dinâmica natural de vazões.

Tabela 4.1 – Vazão $Q_{95\%}$ calculada - Série histórica ANA

Vazões (m ³ /s) - ANA	
$Q_{7,10}$	255,00
$Q_{95\%}$	298,00

Fonte: ANA (2022) e software SisCAH

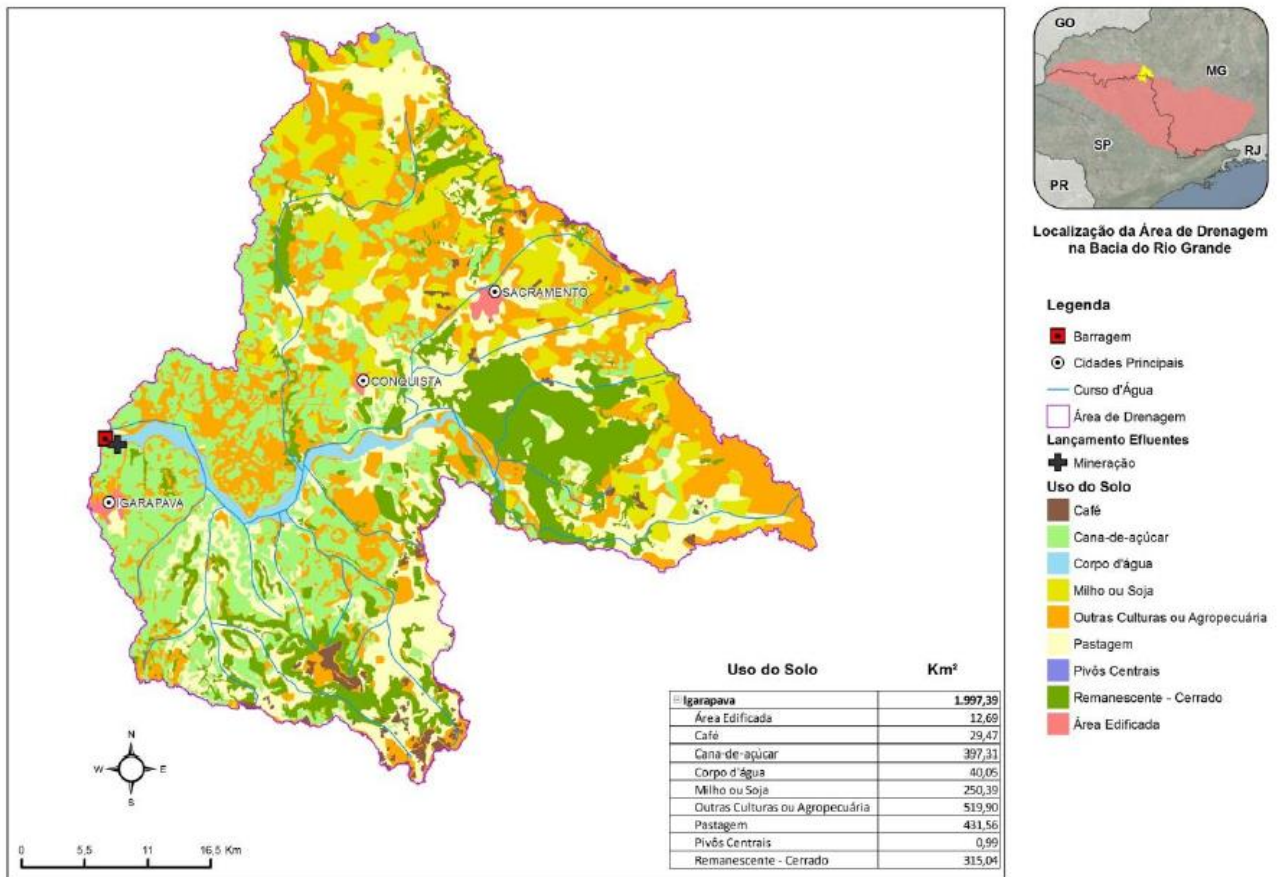


Figura 4.10 – área da bacia da UHE Igarapava (uso do solo e recursos hídricos)

Fonte: PARH - ANA (2015)

Para que fosse possível basear a vazão medida pela estação da ANA, foram recebidos dados da usina UHE Igarapava, com controle diário e horário do ano de 2021 e 2022. São apresentados os valores de vazões mínimas mensais, de acordo com o controle da UHE Igarapava.

Tabela 4.2 –Vazão defluente mensal do Rio Grande – UHE Igarapava - 2021

	Mês	Mínima (m ³ /s)	Média (m ³ /s)	Máxima (m ³ /s)
01	Janeiro	300,88	848,52	1388,01
02	Fevereiro	272,84	531,50	927,30
03	Março	236,54	433,71	598,93
04	Abril	234,12	424,54	639,22
05	Maio	237,35	391,86	617,32
06	Junho	302,69	961,18	1451,91
07	Julho	237,67	791,12	1349,30
08	Agosto	308,95	824,82	1286,57
09	Setembro	253,04	491,20	832,59
10	Outubro	263,47	431,60	584,29
11	Novembro	217,20	690,07	1096,27
12	Dezembro	291,83	409,16	584,90

Fonte: UHE Igarapava (2021)

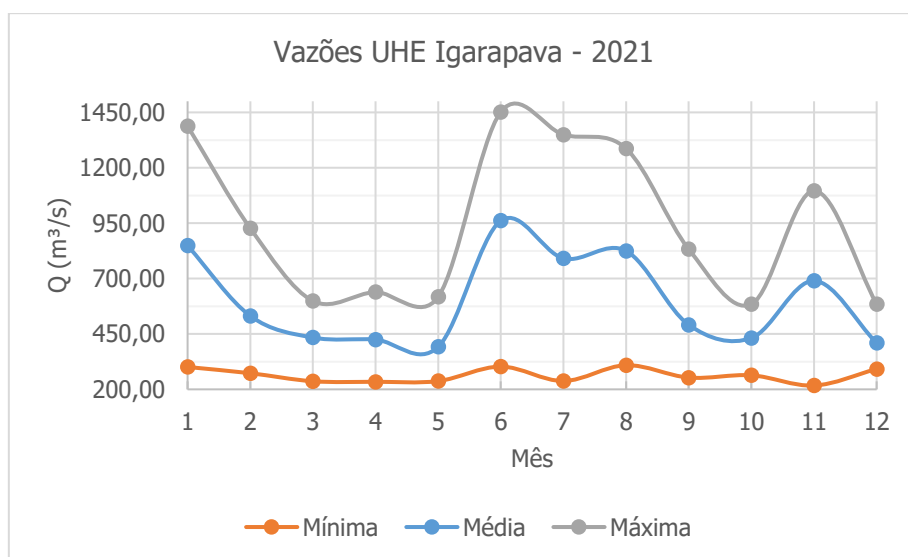


Figura 4.11 - Vazão defluente mensal do Rio Grande – UHE Igarapava - 2021

Fonte: UHE Igarapava (2021)

O gráfico apresenta os valores mínimos, médios e máximos de vazão defluente da usina. As vazões mínimas se aproximam da ordem de valor de 200 e 350 m³/s; as vazões médias da ordem de 400 a 970 m³/s; as vazões máximas na ordem de 580 a 1500 m³/s.

A vazão defluente mínima **disponível após a barragem da usina foi de 217 m³/s**, ocorrida no **mês de novembro** de 2021, valor que se aproxima da Q_{95%} calculada pelo SisCAH, **reforçando a ordem de grandeza da vazão calculada, de 298 m³/s**.

4.1.3 Vazão Outorgável

Atualmente, Minas Gerais apresenta critérios de outorga homogêneos para todo o Estado, sem grandes particularidades por UGH, considerando a vazão de referência Q_{7,10} (vazão média mínima de 7 dias com 10 anos de período de retorno) e percentuais outorgáveis em cada seção do curso d'água.

A Agência Nacional de Águas (ANA) considera outra vazão de referência, a Q_{95%} (vazão de permanência com 95% no tempo) e percentual outorgável de 70%, podendo variar de acordo com as peculiaridades de cada região. Além disso, a vazão outorgada pode ser de no máximo 20% da vazão outorgável, para cada usuário individualmente.

A Lei Nº 9.433/1997 institui a política de recursos hídricos, seguida pela ANA para análise quanto aos mananciais e domínio federal.

Tabela 4.3 – Vazão outorgável

ANA – rios federais	
Q _{95%}	298,00 m ³ /s
Taxa outorgável	70%
Vazão outorgável	208,69 m³/s

Considerando 70% da vazão Q_{95%}, tem-se valor de **208,690 m³/s (208.690 L/s ou 751.284 m³/h)**, para comparação e análise de outorga a ser concedida para a CODAU, caso venha-se captar neste manancial.

4.1.3.1 Vazões outorgadas

Existem autorizações concedidas próximas ao local de interesse, sendo para irrigação, indústria, mineração e lançamento de efluente. As vazões outorgadas são importantes para avaliar a disponibilidade água para novas concessões de uso do recurso.

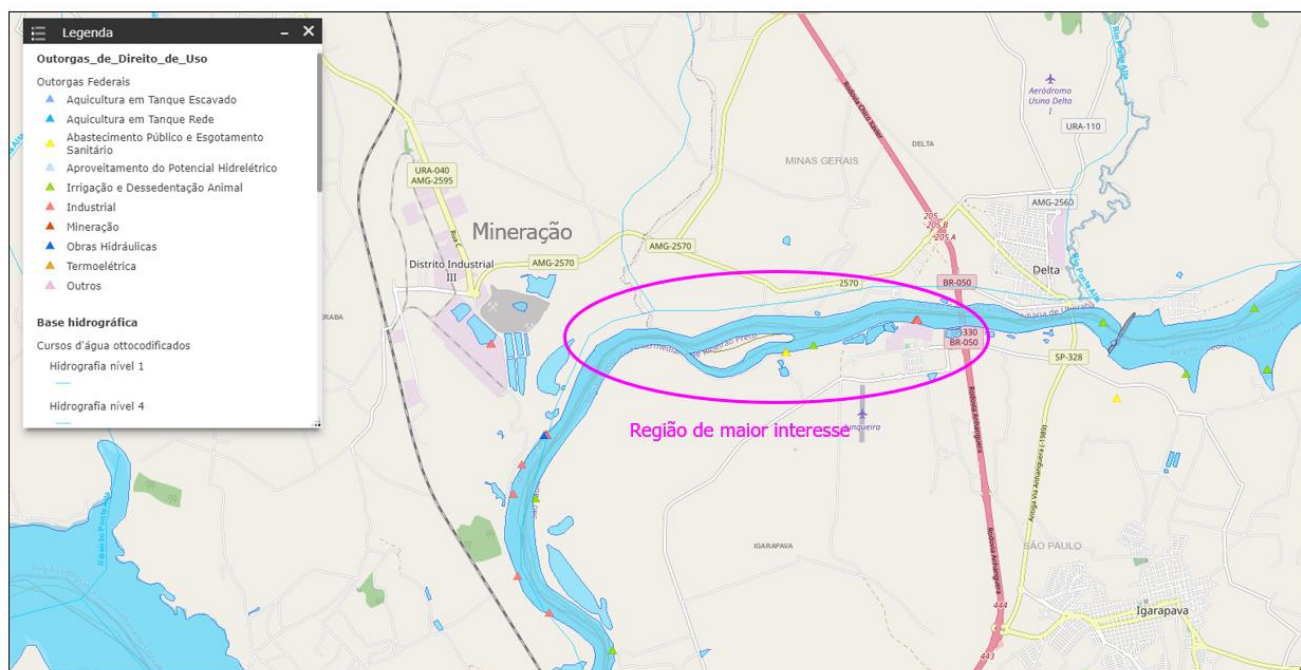


Figura 4.12 – Outorgas concedidas na região de interesse - Rio Grande

Fonte: SNIRH, 2022

Tabela 4.4 – Outorgas concedidas na região de interesse – rio Grande

Resolução	Nome	Finalidade	Vazão outorgada (m³/h)
2063/2017	Raízen Energia S.A.	Indústria	800,00
2063/2017	Raízen Energia S.A.	Lançamento efluente	30,00
189/2003	COSAN S/A	Indústria	550,00
1663/2016	Inga Eng. e Consultoria	Irrigação	5,00
-	Total	-	1.385,00

Fonte: SNIRH, 2022

A somatória de vazão outorgada no trecho da região de interesse **totaliza 1.385 m³/h (0,385 m³/s)** em pontos do rio Grande. Em relação à vazão máxima outorgável (taxa de 70% da vazão defluente - **751.284 m³/h**), a vazão de outorga atual representa apenas **0,2%** da vazão outorgável.

Todas as intervenções anteriores à barragem da usina UHE Igarapava são desconsideradas, visto a condicionalidade da vazão com a UHE.

4.1.4 Qualidade da água

Os dados de monitoramento utilizados foram disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) – órgão responsável pelo monitoramento da qualidade no estado de Minas Gerais. Os dados estão disponíveis no intervalo entre os anos de 2001 e 2013 para um total 182 pontos de monitoramento em operação na bacia do rio Grande, dos quais 6, entre aqueles da rede do IGAM em Minas Gerais, estavam localizados na GD 08 (informação válida para 2015), conforme apresentado na Figura 4.13. A frequência de coleta nesses pontos de monitoramento apresentou média de 3,7 coletas/ano em 2013.

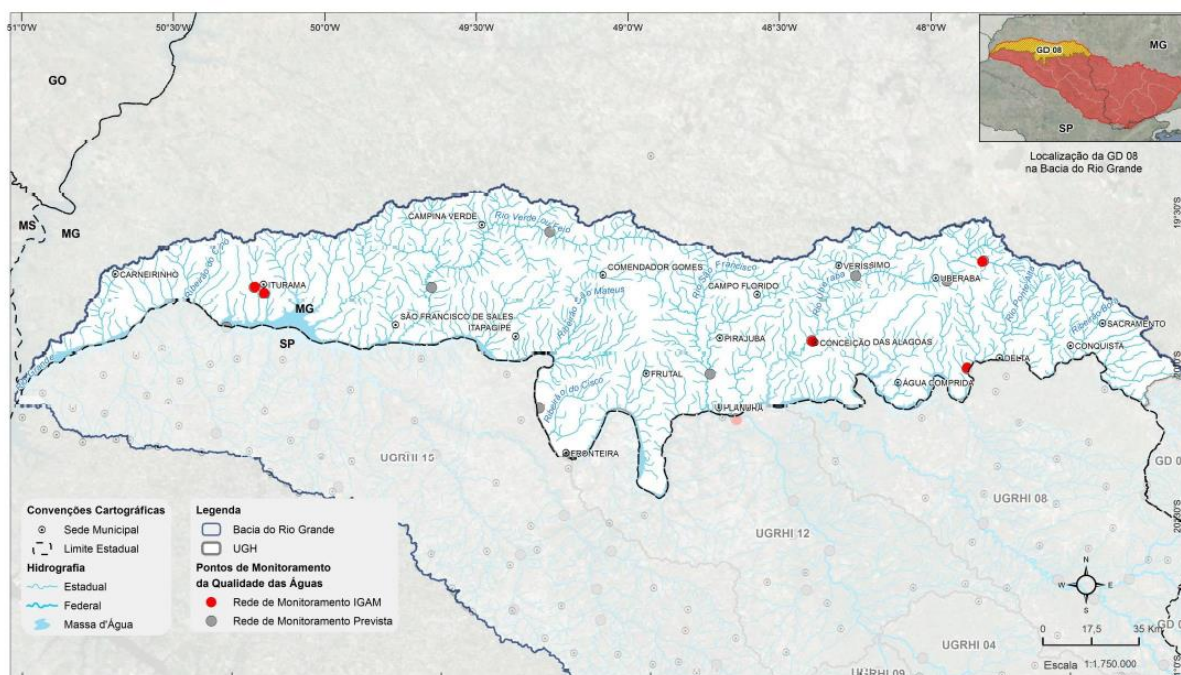


Figura 4.13 - Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Implementada e as Ampliações Previstas a partir da RNQA na GD 08 - Baixo Grande

Fonte: PARH (ANA, 2017)

Na GD 08 os corpos hídricos ainda não possuem classe de enquadramento definida, de forma que, para o desenvolvimento do balanço hídrico qualitativo que será apresentado adiante, serão considerados os limites de enquadramento em Classe 2, segundo determina a Resolução do CONAMA nº 357/2005.

O Índice de Qualidade da Água (IQA) combina nove diferentes parâmetros para representar a qualidade da água considerando sua utilização para o abastecimento público. São eles: temperatura,

16 3412 3995
contato@projetae.com

  /projetae | www.projetae.com
São Carlos – SP, Brasil

pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais e turbidez. Com base nesses parâmetros é obtido um valor de IQA e pode-se categorizar o corpo hídrico segundo classificação adotada pela CETESB (2013).

Tabela 4.5 – Categorias do Índice de Qualidade da Água

Valor do IQA	Classes	Significado
$79 < IQA \leq 100$	ÓTIMA	Água própria para o abastecimento público após o tratamento convencional.
$51 < IQA \leq 79$	BOA	
$36 < IQA \leq 51$	REGULAR	Água imprópria para o abastecimento público após o tratamento convencional, sendo necessários tratamentos mais avançados.
$19 < IQA \leq 36$	RUIM	
$IQA \leq 19$	PÉSSIMA	

Fonte: PARH (ANA, 2017)

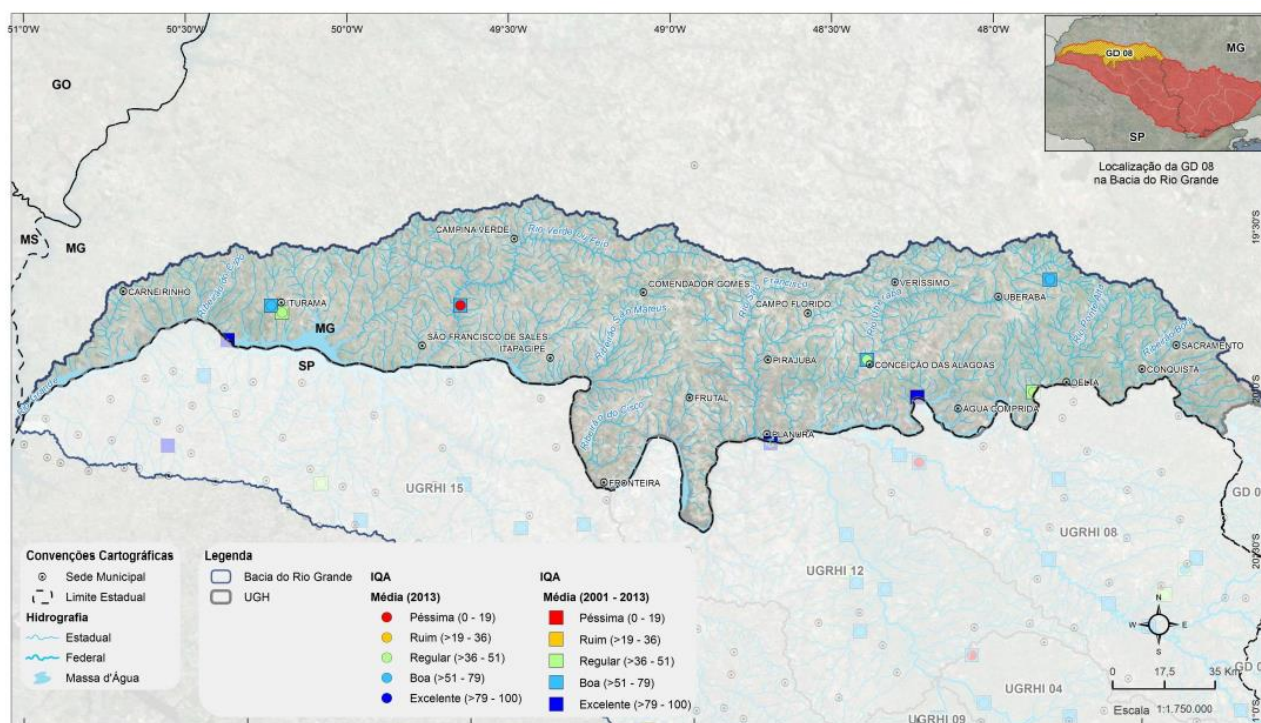


Figura 4.14 - Valores Médios do IQA em 5 Categorias de Qualidade nos Pontos de Monitoramento na GD 08 - Baixo Grande – 2001 a 2013

Fonte: PARH (ANA, 2017)

Com base na análise da Figura, observa-se que os resultados de IQA indicam uma situação não uniforme ao longo da GD 08, assim como os resultados das análises individuais dos parâmetros de qualidade da água. Nota-se também que a maioria dos valores de IQA encontrados indica “boa” ou “regular” para a qualidade da água. Isso se deve ao fato de o IQA ser uma ponderação de nove

diferentes parâmetros de qualidade e, por vezes, o resultado de um parâmetro mais crítico pode ser contrabalanceado por resultados de outros parâmetros.

No ano de 2021 e 2022 foram realizadas diversas coletas e análises em laboratório, pela empresa Bioética Ambiental, em que analisou de forma completa os parâmetros da água bruta do rio Grande.

Todos os parâmetros resultaram dentro dos limites definidos para rios de Classe 2, de acordo com a CONAMA Nº 357/2005 (Nº 430/2011).

4.2 RIO ARAGUARI

4.2.1 Caracterização da Bacia

4.2.1.1 Localização

A bacia do rio Araguari, localiza-se na porção oeste de Minas Gerais, abrangendo as regiões de planejamento do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Divide-se em 20 municípios, sendo a nascente localizada no município de São Roque de Minas e foz na divisa dos municípios de Araguari e Tupaciguara.

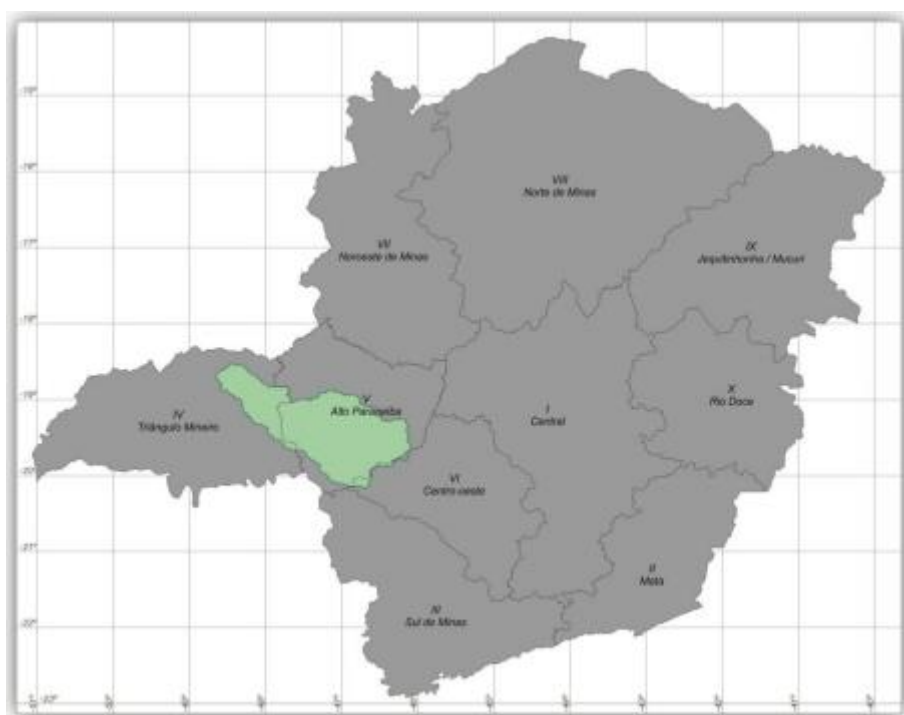


Figura 4.15 – Macrolocalização da Bacia do Rio Araguari

Fonte: PRH bacia do Rio Araguari (MontePlan, 2011)

A bacia do rio Araguari possui uma grande rede de drenagem, que permite a sua divisão em unidade de planejamento internas.



Figura 4.16 – Distribuição das sub bacias na bacia do Rio Araguaí

Fonte: PRH bacia do Rio Araguaí (MontePlan, 2011)

Os municípios que a compõem são: Araguaí, Araxá, Campos Altos, Ibiá, Indianópolis, Iraí de Minas, Nova Ponte, Patrocínio, Pedrinópolis, Perdizes, Pratinha, Rio Paranaíba, São Roque de Minas, Sacramento, Santa Juliana, Serra do Salitre, Tapira, Tupaciguara, Uberaba e Uberlândia. O município de Uberaba está inserido em parte nas sub bacias do Rio Uberabinha, Médio Araguaí e Rio Claro, porém o centro urbano principal do município localiza-se fora da bacia do Rio Araguaí.



4.2.1.2 Pedologia, Relevo e Declividade

16 3412 3995
contato@projetae.com
ae | www.projetae.com
São Carlos – SP, Brasil

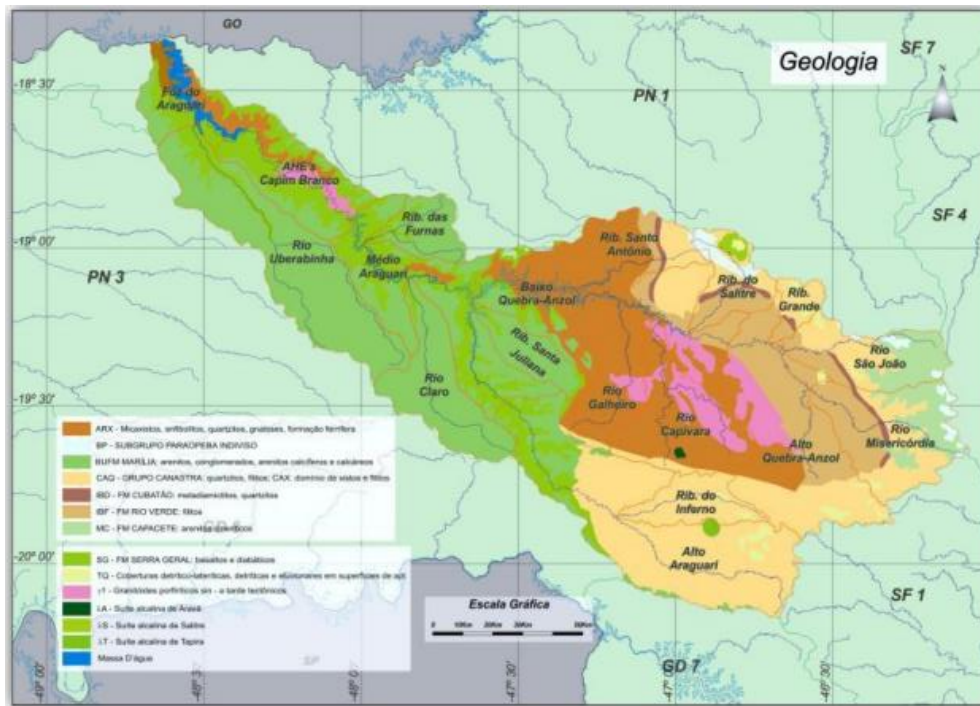


Figura 4.18 – Geologia da bacia do Rio Araguaí

Fonte: PRH bacia do Rio Araguaí (MontePlan, 2011)

Baseado nas declividades críticas para determinado tipo de uso da terra, foram mapeadas as seguintes classes de declividade: menor do que 3 % (relevo plano), 3 a 8% (relevo suave ondulado), 8 a 12 % (relevo medianamente ondulado), 12 a 20 % (relevo ondulado) e maior do que 20 % (relevo fortemente ondulado).

Tabela 4.6 – Área ocupada pelas diferentes categorias de declividade

Categorias (%)	Área (km ²)	Área (%)
Menor 3	13.438	60,57
3-8	2.392	10,78
8-12	2.085	9,40
12-20	2.590	11,67
Maior 20	1.681	7,58
Total	22.186	100,0

Fonte: PRH bacia do Rio Araguaí (MontePlan, 2011)

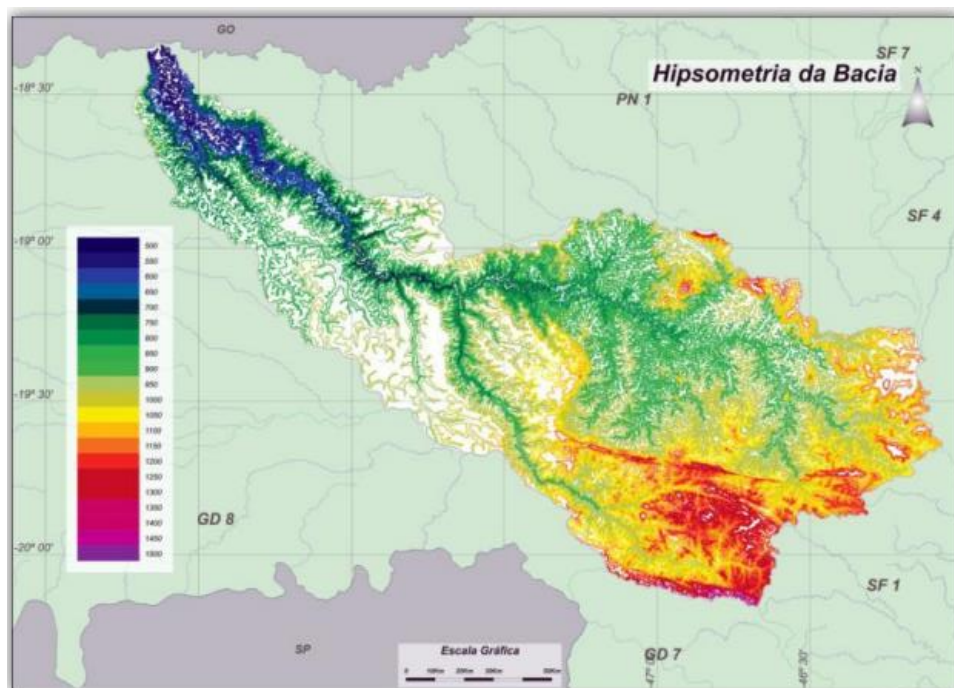


Figura 4.19 – Hipsometria da bacia do Rio Araguari

Fonte: PRH bacia do Rio Araguari (MontePlan, 2011)

Rosende (2010), fez um estudo a respeito dos tipos de solo da região e concluiu que a região é majoritariamente ocupada por solos do tipo latossolos. Esses ocorrem em declives planos a suave-ondulados ($< 8\%$), sendo considerados de grande potencial para a produção agrícola de culturas anuais e perenes e para pastagens. Os argissolos são solos moderadamente profundos com acentuada diferenciação entre os horizontes em decorrência da iluviação de argilas da camada superficial para a subsuperficial. Os solos do tipo cambissolos são fracamente desenvolvidos e apresentam um horizonte B com uma espessura menor do que 50 cm, constituídos de material parcialmente intemperizados, encontrados em declividade de 8-30% ou superior. Os gleissolos são solos relativamente rasos, associados com a flutuação do lençol freático, que induz a uma intensa redução dos óxidos de ferro, o que resulta na formação da cor acinzentada.

Tabela 4.7 – Classe de solos da Bacia do Rio Araguari

Símbolo	Área ocupada (km²)	Área ocupada (%)
Latossolo Vermelho Amarelo		
LVAw	5.016	22,61
LVAd	5.857	26,40
Latossolo Vermelho		
LVd	1.015	4,58
LVdf	1.112	5,01
Nitrossolo Vermelho		
Nvef	1.414	6,37
Argissolo Vermelho Amarelo		
PVAe	812	3,66
Cambissolo		
CXd1	748	3,37
CXd2	3.114	14,03
CXd3	1.858	8,37
Gleissolo		
Gxbe	796	3,58
Neossolo		
RLd	443	2,00
Total	22.185	100,00

Fonte: Rosende (2010).

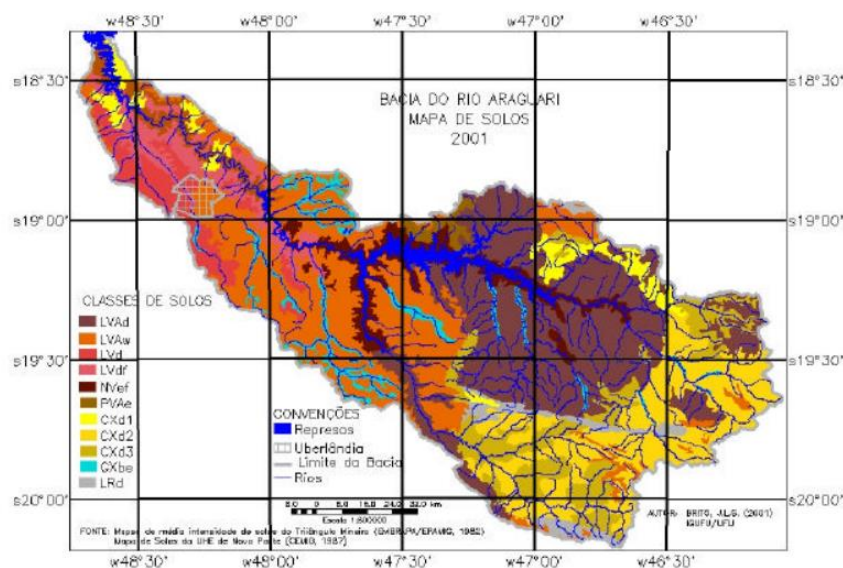


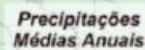
Figura 4.20 – Mapa de solos da Bacia do Rio Araguari

Fonte: Rosende (2010).

4.2.1.3 Pluviometria

Para Rosende (2010), o clima confunde-se com o Centro Oeste e grande parte do sudeste do Brasil e apresenta estações climáticas bem definidas, uma seca, que abrange os meses de abril a setembro, e outra úmida, de outubro a março. Destaca-se a pluviometria anual com irregularidade considerável, variando de 800 a 2000 mm, com uma média variando entre 1200 e 1500 mm/ano. Essa condição climática favorece alto potencial agrícola para a bacia do rio Araguari, levando em conta o período de crescimento de que necessitam as culturas para obter pleno desenvolvimento (período seco e período chuvoso).

O comportamento do clima, ao longo do ano, depende da dinâmica dos sistemas de circulação atmosférica que atuam nos diferentes períodos do ano. A estabilidade do ar, que se observa entre os meses de maio a setembro, é derivada da instalação da Massa de Ar Polar, que se tropicaliza e se estabiliza sobre o Planalto Central Brasileiro, impedindo o fluxo de umidade proveniente da Amazônia. É nesse período que, além de seco, o ar torna-se mais frio, particularmente nas madrugadas, embora, durante o dia, a insolação seja quase que permanente.



Fonte: PRH bacia do Rio Araguaia (MontePlan, 2011)

4.2.1.4 Bioma e Vegetação

A vegetação predominante na região em estudo está inserida no bioma Cerrado e na bacia existem algumas unidades de conservação de recursos naturais, assim como novas áreas de conservação.

Unidades de conservação existentes

- Parque Municipal de Pratinha (proteção dos córregos Prata e da Guarda, de abastecimento da cidade, com 40 hectares – área desapropriada, mas sem implantação);
- Parque Municipal do Sabiá (proteção da nascente do córrego Jataí) em Uberlândia;
- Área de Proteção Especial (proteção de manancial de abastecimento de Araxá, com 148 km² – falta plano de manejo);
- RPPN do Galheiro, com 2.800 ha – compensação ambiental da UHE de Nova Ponte;
- RPPN do Jacó, com 360 ha – compensação ambiental da UHE de Miranda;
- RPPN Serrote, com 548 ha – município de Ibiá;

Novas áreas de conservação

- Parque Estadual do Pau Furado em Araguari (para criação);
- APA do rio Claro (proteção de manancial de abastecimento de Uberaba – para criação);
- Parque Municipal da Mata do Desamparo, de São Roque de Minas (para criação);
- Áreas de baixa produtividade e alta declividade no município de Serra do Salitre (a ser criada, demanda da comunidade local);

Dessas novas áreas apontadas, o Parque Estadual do Pau Furado constitui-se em medida compensatória das AHE's do Consórcio Capim Branco de Energia no rio Araguari.

4.2.1.5 Uso e ocupação do solo

A ocupação do solo da bacia é distribuída nas áreas e proporções apresentadas na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Ocupação do Solo na bacia do Rio Araguari

Ocupação	Área (km ²)	Proporção
Agricultura e Pastagem	9.530,00	43,15%
Lagos	637,00	2,88%
Áreas urbanas	176,00	0,80%
Cultura em Pivô Central	178,00	0,81%
Mata de Galeria	250,00	1,13%
Savana Arbórea - Cerrado	93,00	0,42%
Savana Gramíneo Lenhosa e Pasto	11.089,00	50,21%
Silvicultura	133,00	0,60%
Total	22.086,00	100%

Fonte: PRH bacia do Rio Araguari (MontePlan, 2011)

Na observação dessa distribuição são destacados dois aspectos:

- Agricultura e pecuária: Presença em todas as unidades de sub bacias; somada a área irrigada por pivô central, representa 43,96% da área total da bacia;
- Savana Gramíneo Lenhosa e Pasto Natural: Presença em todas as unidades; somada às demais áreas de vegetação natural, representa 51,76% da bacia.

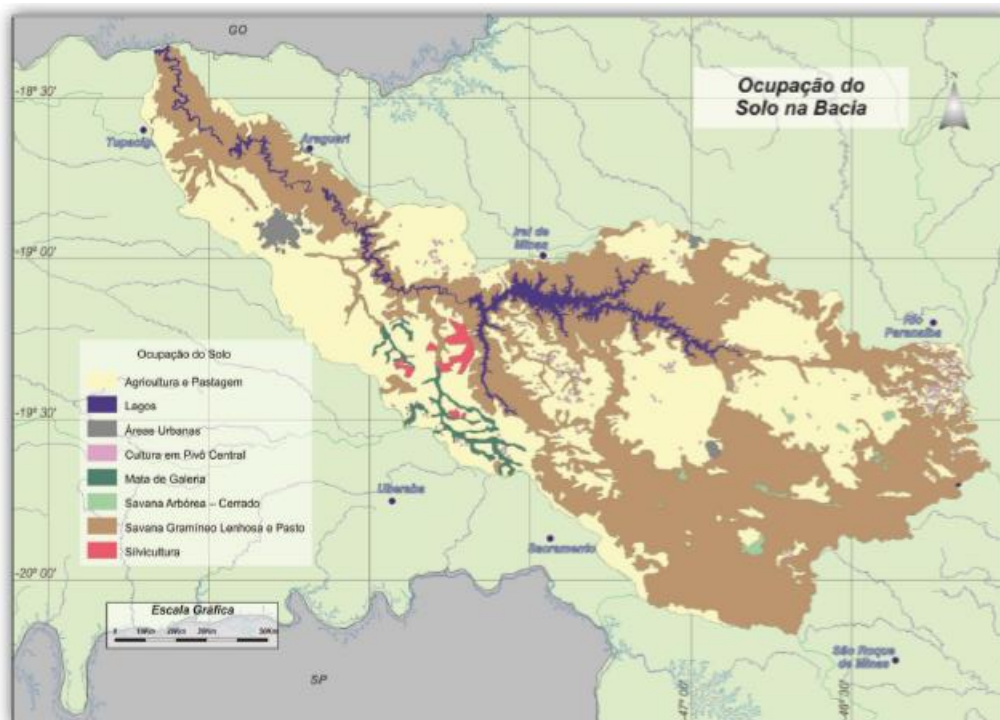


Figura 4.22 – Ocupação do solo na bacia do Rio Araguaari

Fonte: PRH bacia do Rio Araguaari (MontePlan, 2011)

4.2.1.6 Eventos hidrológicos críticos

Uma breve observação da disponibilidade hídrica nas sub bacias e sua comparação com a demanda, considerando que a vazão outorgável em 2010 era de 30% da $Q_{7,10}$ determinada pela metodologia contida no material Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais, é possível determinar que em algumas destas unidades já existe demanda maior que a disponibilidade.

Tabela 4.9 – Utilização da vazão disponível nas sub bacias em conflito

Unidade	Disponibilidade 30% $Q_{7,10}$ (L/s)	Vazão utilizada (L/s)	Utilização da Disponibilidade (%)
Rio Uberabinha	2.411,40	8.730	362,03%
Ribeirão das Furnas	660,9	2.456	371,61%
Rio Claro	1.048,80	1.304	124,33%
Ribeirão Santa Juliana	394,80	1.388	351,57%
Ribeirão Santo Antônio	1.265,70	1.543	121,91%
Rio São João	1.567,20	2.236	142,67%

Fonte: PRH bacia do Rio Araguaari (MontePlan, 2011)

Em algumas sub bacias onde a disponibilidade é maior que a demanda bem como naquelas onde a demanda já supera a disponibilidade, há trechos onde é declarado conflito.

Tabela 4.10 – Área de conflito em trechos de sub bacias

Sub bacia	Manancial de Conflito
Rio Uberabinha	Rio Uberabinha
Ribeirão das Furnas	Ribeirão Mandaguari
Rio Claro	Rio Claro
Ribeirão Santa Juliana	Ribeirão Santa Juliana
Ribeirão Santo Antônio	Ribeirão Rangel ou Pavões
Rio São João	Rio São João
Foz Rio Araguari	Córrego do Sapé
Baixo Rio Quebra Anzol	Córrego dos Patos

Fonte: PRH bacia do Rio Araguari (MontePlan, 2011)



Figura 4.23 – Regiões de conflito na bacia do Rio Araguari

Fonte: PRH bacia do Rio Araguari (MontePlan, 2011)

A região de maior interesse avaliada para o presente estudo, localiza-se na região do médio Araguari, classificado como sub bacia sem conflito.

4.2.1 Vazões

O local de maior interesse se localiza na região entre os municípios de Uberaba e Sacramento (MG), sentido leste a rodovia MG-190, com coordenadas 19°32'32.75"S; 47°29'27.66"O. Caracteriza-se como a área mais provável de instalação para adução de água bruta no rio Araguari.

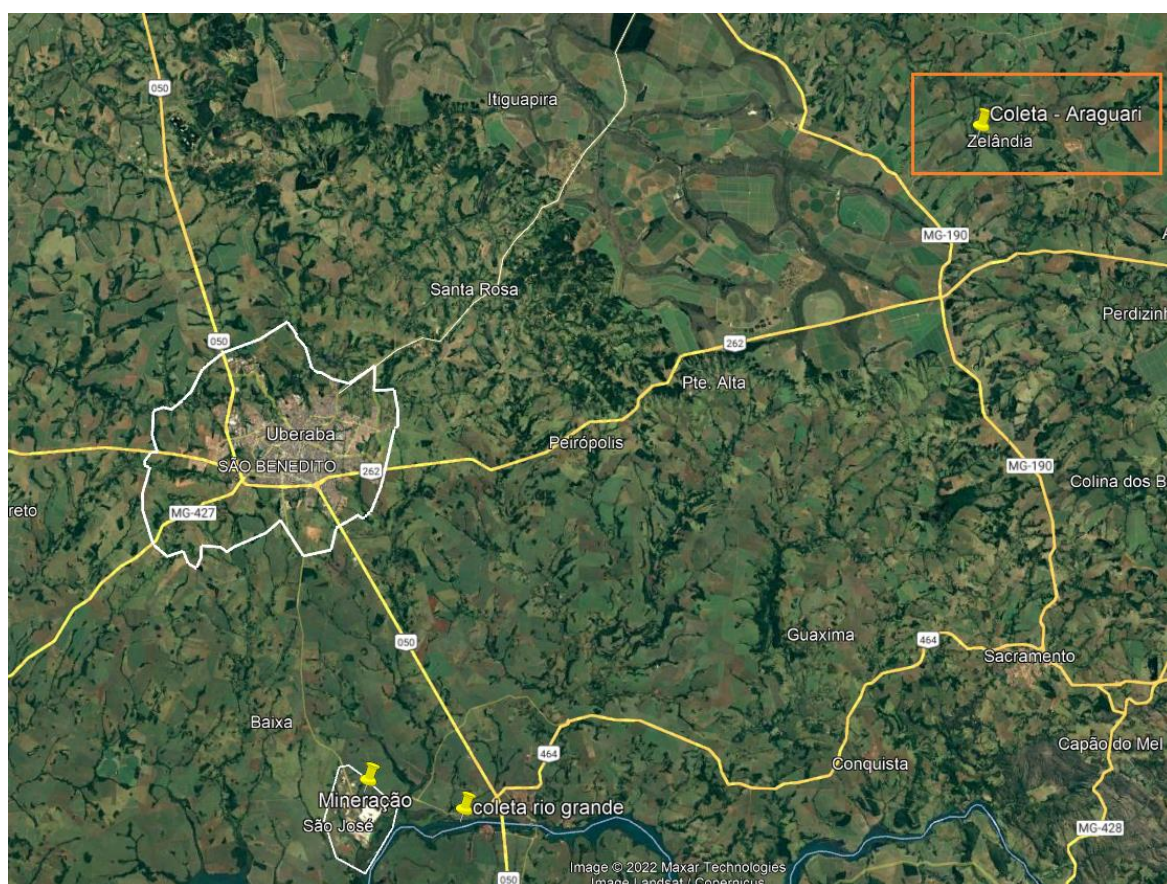


Figura 4.24 – Localização da região de maior interesse para captação – Rio Araguari

Fonte: Google Earth (2022)

De acordo com o sistema Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema), plataforma de dados geoespaciais do estado de MG, tem-se o valor da vazão $Q_{7,10}$ para o rio Araguari:

Tabela 4.11 – Vazão $Q_{7,10}$ IDE-Sisema

Vazão (m ³ /s)	
$Q_{7,10}$	13,424

Fonte: IDE-Sisema (2022)

Existe outra referência do IGAM, desenvolvida por Hidrossistemas Engenharia de Recursos Hídricos Ltda, publicado pela COPASA em 1993, no material Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais, com base no modelo de chuva-vazão, que se utiliza de dados contidos nas séries históricas das estações de monitoramento climático existentes na bacia. Devido à fraca cobertura de estações produtora de referências, o modelo não permitiu uma calibragem precisa em algumas das sub bacias.

Para operação do modelo chuva-vazão foi desenvolvido um software, com permissão de alimentação de dados de precipitação e vazão que no futuro, com a ampliação da rede coletora de informações, será uma ferramenta de excelente valor na definição das vazões mínimas, que a cada período decorrido, tornando-se mais representativo dos eventos reais.

A aplicação da metodologia contida no material Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais - DSEMG e do Modelo Chuva-Vazão da Bacia do Rio Araguari foi utilizada para determinação das vazões de referência nas sub bacias.

A região definida para análise da **vazão $Q_{7,10}$ é a do Alto Araguari**, uma vez que a coleta de água para análise de tratabilidade foi realizada nessa sub-bacia (destacado no mapa). Além disso, é a região mais próxima da cidade de Uberaba, o que reduz os custos de implantação e manutenção de uma possível adutora de captação do rio Araguari.

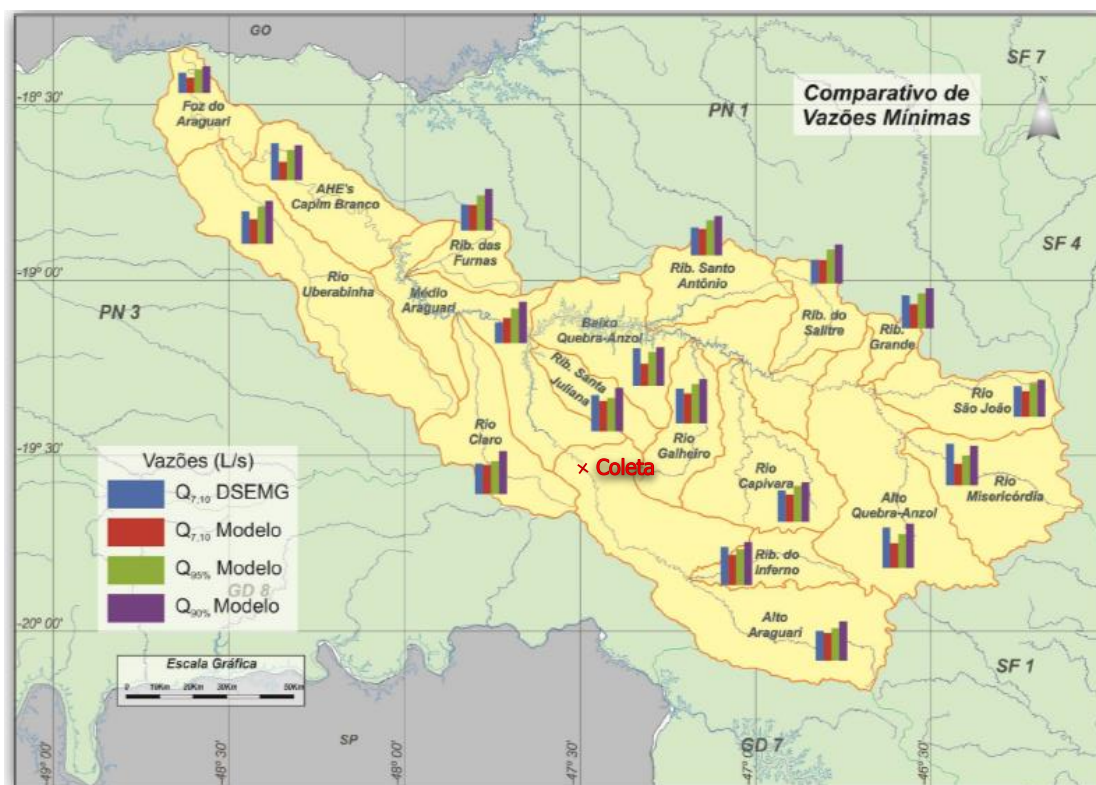


Figura 4.25- Comparativo de Vazões Mínimas Superficiais

Fonte: PRH bacia do Rio Araguaí (MontePlan, 2011)

A vazão a ser trabalhada é a do Modelo Chuva-Vazão, **de 17630 L/s (17,63 m³/s)**, valor calculado pela metodologia de Deflúvios Superficiais, sendo adotado para um cenário conservador de vazão.

Tabela 4.12 – Comparação entre as disponibilidades previstas para as sub bacias

Ponto	DSEMG Q _{7,10} (L/s)	Vazões naturais (L/s)		
		Q _{7,10}	Q _{95%}	Q _{90%}
Alto Araguaí	19.268,14	17.630,00	20.980,00	25.340,00

Fonte: PRH bacia do Rio Araguaí (MontePlan, 2011)

4.2.2 Vazão Outorgável

Atualmente, Minas Gerais apresenta critérios de outorga homogêneos para todo o Estado, sem grandes particularidades por UGH, considerando a vazão de referência $Q_{7,10}$ (vazão média mínima de 7 dias com 10 anos de período de retorno) e percentuais outorgáveis em cada seção do curso d'água.

A Lei Nº 13.199/1999 institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, pelo estado de Minas Gerais. A Resolução Conjunta SEMAD-IGAM Nº 1548/2012 dispõe sobre a vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do estado.

O percentual de 30% da $Q_{7,10}$ como vazão outorgável foi utilizada para todo o estado de Minas Gerais até a nova resolução da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) em conjunto com o Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM): Resolução Conjunta SEMAD – IGAM nº 1548, de 29 de março de 2012, em que estabelece o limite máximo de captações e lançamento a serem outorgados nas bacias hidrográficas de Minas Gerais. No artigo 2:

“O limite máximo de captações e lançamentos a serem outorgados nas bacias hidrográficas do Estado, por cada seção considerada em condições naturais, **será de 50% (cinquenta por cento) da $Q_{7,10}$, ficando garantidos a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos equivalentes a 50% (cinquenta por cento) da $Q_{7,10}$.**”

Tabela 4.13 – Vazão outorgável

IGAM – rio estadual	
$Q_{7,10}$	13,424 m ³ /s
Taxa outorgável	50%
Vazão outorgável	6,712 m³/s

Considerando 50% da vazão $Q_{7,10}$, tem-se valor de **6,712 m³/s (6.712 L/s ou 24.163,2 m³/h)**, para comparação e análise de outorga a ser concedida para a CODAU.

4.2.2.1 Vazões outorgadas

Existem autorizações concedidas próximas ao local de interesse, sendo para irrigação, indústria, mineração e lançamento de efluente. As vazões outorgadas são importantes para avaliar a disponibilidade água para novas concessões de uso do recurso.

As vazões superficiais significantes outorgadas foram analisadas a montante da região de interesse de captação do rio Araguari, na bacia do Alto Araguari.

Tabela 4.14 – Vazões significantes outorgadas - Alto Araguari

Ponto	Resolução	Vazão outorgada (L/s)	Validade da outorga	Modo de uso	Finalidade de uso
A	12/2009	80 L/s	2031	Captação em corpos de água (Rios, Lagoas Naturais etc.)	Irrigação
B	12/2009	56 L/s*	2030	Captação em corpos de água (Rios, Lagoas Naturais etc.)	Irrigação
C	12/2009	79,17 L/s	2031	Captação em corpos de água (Rios, Lagoas Naturais etc.)	Irrigação
Total		215,17			

*Outorgada dos meses de abril a outubro, por 21 dias ao mês

Fonte: IDE SISEMA (2022)

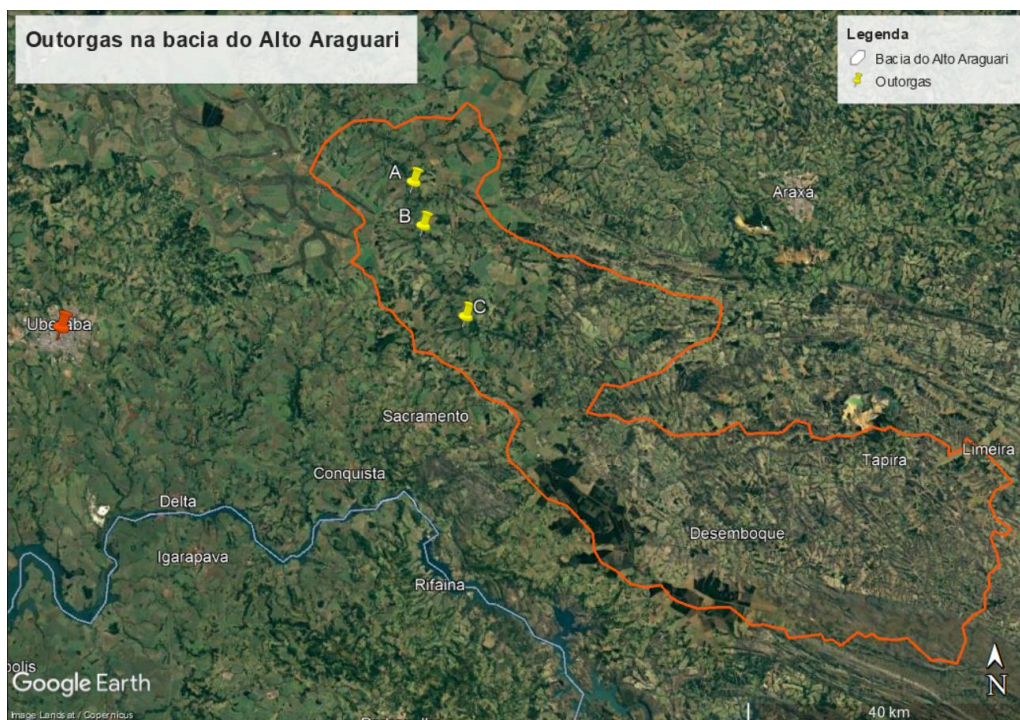


Figura 4.26 – Outorgas significantes superficiais no rio Araguari

Fonte: IDE SISEMA (2022) e Google Earth (2022).

A somatória de vazão outorgada no trecho da região de interesse **totaliza 215,17 L/s** em pontos do rio Araguari. Em relação a taxa de 50% da vazão defluente, essa vazão representa **3,2%** da vazão outorgável.



Figura 4.27 – Agricultura na região do rio Araguari

Fonte: Google Earth (2022)

Além das outorgas existentes e outorgadas pelo IGAM a montante do ponto de coleta, a região do rio Araguari prevalece com grandes áreas de agricultura, convencionais e de pivô central, em que são atividades utilizadoras de água em grandes quantidades, as quais podem interferir na disponibilidade hídrica do rio.

Considerando o uso e ocupação do solo da caracterização da bacia, praticamente 50% são área de agricultura e pecuária, as quais apesar de outorgadas, se mantém a realidade de disputa e conflito pela água, principalmente em momentos de estiagem.

Dessa forma, de acordo com a vazão outorgável (**6,712 m³/s ou 6.712 L/s**), sendo 215,17 L/s a vazão outorgada a montante, representam 3,2% da vazão outorgável. Para a futura outorga da CODAU para captação de Uberaba (**600 L/s**) irá representar **9% da vazão outorgável**.

Apesar da disponibilidade de vazão, tem-se a questão do conflito pela água bastante presente na região, além da segurança da água. Corpos hídricos com presença de agricultura em seu entorno ficam vulneráveis a contaminação por químicos, como fertilizantes e defensivos, por infiltração no solo e escoamento superficial pela chuva.

Assim, por questões de segurança da água, entende-se que a diluição de contaminação por químicos depende da vazão do rio, e para rio Araguari, a diluição é menor pois sua vazão apesar de considerável, corre risco e tem menor capacidade de diluição se comparado ao rio Grande.

4.2.3 Qualidade de água

Os dados de monitoramento utilizados foram disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) – órgão responsável pelo monitoramento da qualidade no estado de Minas Gerais. Há na bacia 08 estações de monitoramento, nas quais são coletadas informações de qualidade através de 52 indicadores, que define nas faixas de quantidade encontrada o Índice de Qualidade de Água – IQA, variável de 0 a 100.



Figura 4.28 – Localização das estações de monitoramento da qualidade de água na bacia do Rio Araguari

Fonte: PRH bacia do Rio Araguari (MontePlan, 2011)

A classificação da qualidade da água é realizada em níveis de qualidade que vão de Excelente à Muito Ruim, com base em resultados de IQA. análise da qualidade da água, realizada trimestralmente, tem os resultados para o ano de 2009 apresentados a seguir.

Tabela 4.15 – Categorias do Índice de Qualidade da Água

Nível de Qualidade	Faixa
Excelente	90 < IQA < 100
Bom	70 < IQA < 90
Médio	50 < IQA < 70
Ruim	25 < IQA < 50
Muito Ruim	0 < IQA < 25

Fonte: PRH bacia do Rio Araguari (MontePlan, 2011)

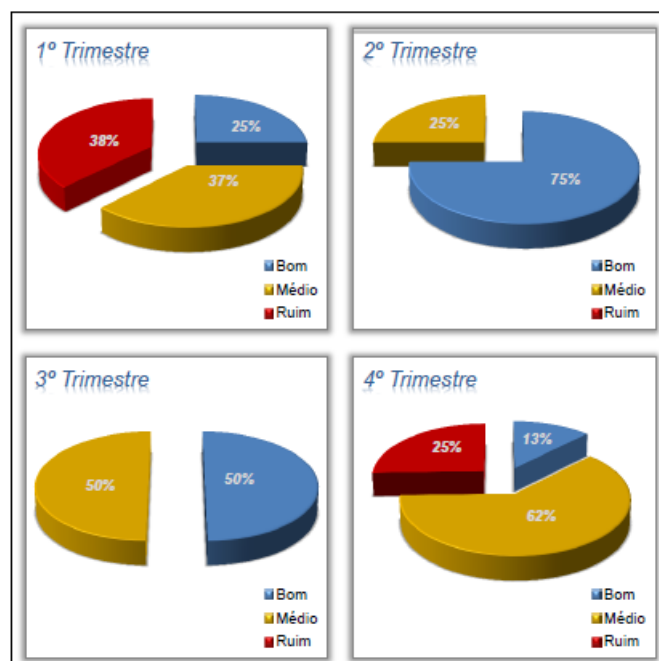


Figura 4.29 – Frequência de ocorrência de IQA na bacia do Rio Araguari em 2009

Fonte: PRH bacia do Rio Araguari (MontePlan, 2011)

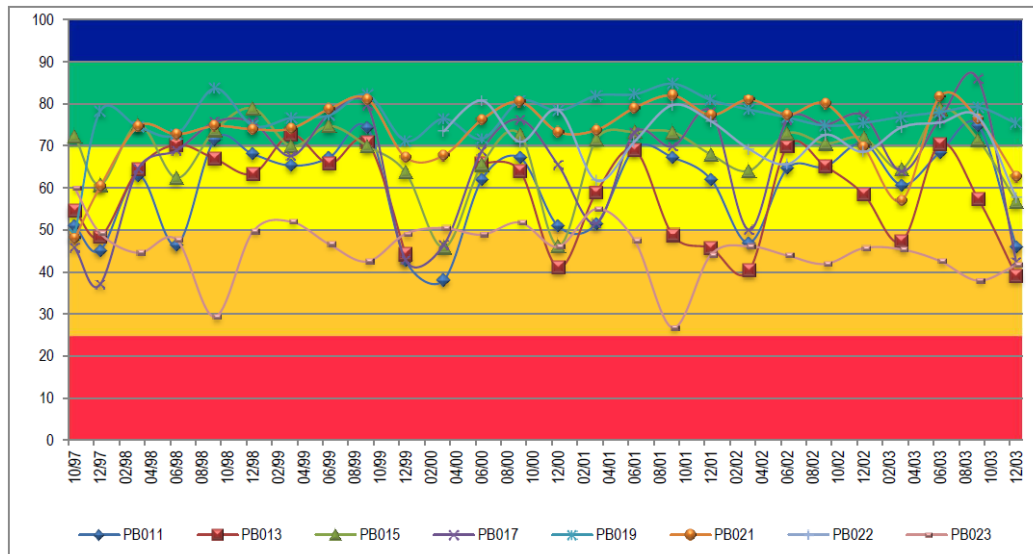


Figura 4.30 – Registro histórico da qualidade de água nas estações de monitoramento da bacia do Rio Araguari

De acordo com a frequência de ocorrência do IQA na bacia do rio Araguari, tem-se maiores ocorrências na classificação de bom, seguido de médio, identificando no geral uma boa qualidade da água bruta do manancial.

5 TRATABILIDADE – CONSIDERAÇÕES GERAIS

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O estudo de tratabilidade contempla análise de águas de dois mananciais, sendo rio Grande (rio federal) e rio Araguari (rio estadual), para compor a avaliação dos parâmetros e dos resultados dos ensaios, auxiliando na escolha do manancial para abastecimento complementar de Uberaba.

5.2 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO

As Estações de Tratamento de Água tem a função de remover os poluentes presentes nas águas das fontes de abastecimento por meio da combinação de processos e de operações de tratamento.

A seleção da tecnologia deve satisfazer três conceitos fundamentais: múltiplas barreiras, tratamento integrado e tratamento por objetivos. No sistema de abastecimento de água, o conceito de múltiplas barreiras sugere a necessidade de haver mais de uma etapa de tratamento para alcançar condições de baixo risco; juntas devem, progressivamente, remover os contaminantes para produzir água de qualidade satisfatória e promover máxima proteção contra agentes de veiculação hídrica. O conceito de tratamento integrado, por sua vez, sugere que as barreiras devam ser combinadas de forma a produzir o efeito esperado. A estratégia de tratamento por objetivos considera que cada fase de tratamento possui uma meta específica de remoção relacionada a algum tipo de risco.

O estudo de tratabilidade contribui para a identificação de métodos e técnicas mais adequados para tratamento da água bruta, com custos operacionais alinhados com a complexidade do tratamento.

6 ESTUDO DE TRATABILIDADE DO RIO GRANDE

6.1 COLETA E ANÁLISE DA ÁGUA BRUTA – RIO GRANDE

A localização aproximada da coleta tem coordenadas 19°59'9.19"S; 47°49'0.42"O, a montante da mineração, às margens do rio Grande. Foi coletado volume de 500 L, na data de 09 de maio de 2022.

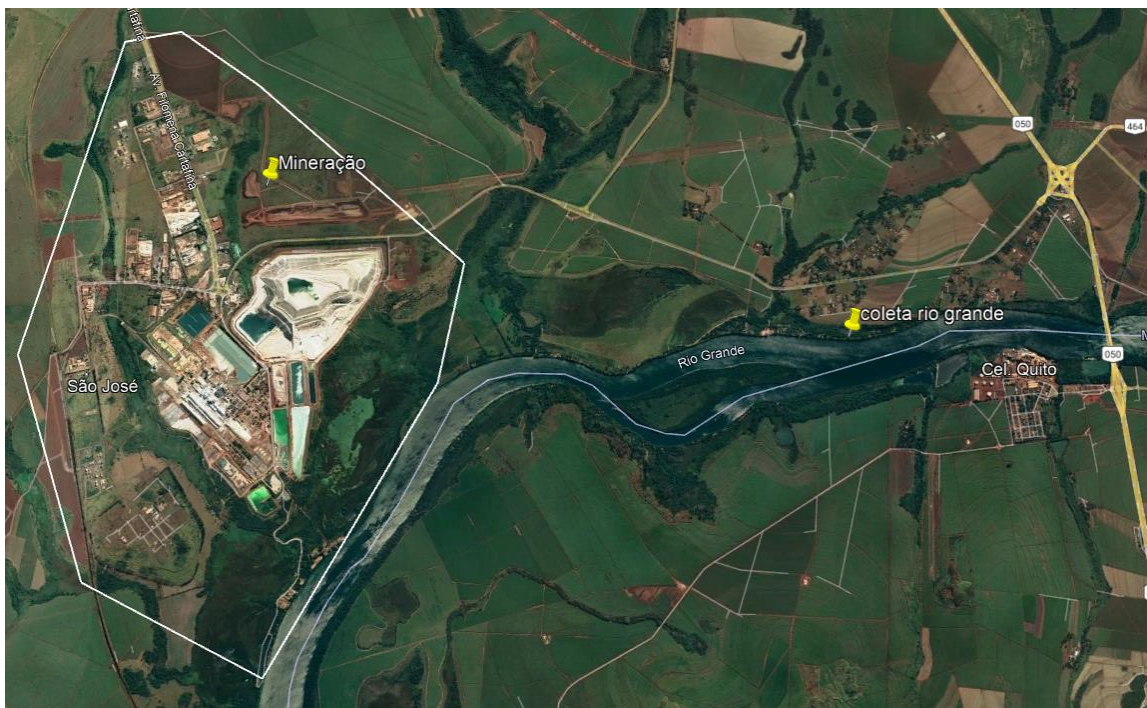


Figura 6.1 – Localização do ponto de coleta de água - rio Grande

Fonte: Google Earth (2022)

Os ensaios foram realizados pelos laboratórios:

- . Laboratório UNAERP – Parâmetros gerais e tratabilidade;
- . Mérieux NutriSciences (Bio Agri) – parâmetros Portaria Nº 888 e agrotóxicos;
- . Biotace (USP / São Carlos) – organismos fitoplanctônicos.

6.1.1 Características da água bruta – Rio Grande

Os parâmetros analisados da água bruta são fundamentais para sua caracterização, avaliação da tratabilidade, e definição de dosagens de químicos para tratamento.

Foram analisados os parâmetros de acordo com os padrões estabelecidos pela CONAMA Nº 357 para rios de Classe II, analisados pelo laboratório da Unaerp.

Além disso, foram analisados os parâmetros orgânicos e agrotóxicos estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde Nº 888 / 2021, para verificação de presença de outros poluentes.

Tabela 6.1 – Características da água bruta - Rio Grande

Caracterização Água Bruta - Rio Grande			
Parâmetro	Unidade	Resultado (Média)	Resolução 357 - Águas de classe 02
Gerais			
pH	adimensional	7,42	6,0 - 9,0
Cor aparente	uH	24,67	-
Cor verdadeira	uH	7,00	75,00
Turbidez	uT (NTU)	4,42	100,00
Cloro Residual	mg/L	0,00	0,01
Condutividade	µS/cm	53,70	-
Dureza total	mg/L CaCO ₃	15,00	-
Alcal. bicarbonato	mg/L CaCO ₃	22,67	-
Sulfato	mg/L SO ₄	2,48	250,00
Sulfeto	mg/L	0,80	0,002
Cloretos	mg/L	2,15	250,00
Amoniacal	mg/L NH ₃	0,05	0,50
Nitrato	mg/L NO ₃	0,65	10,00
Nitrito	mg/L NO ₂	0,01	1,00
Fluoreto		0,00	1,40
Fosfato	mg/L PO ₄	0,09	-
Fósforo	mg/L P	0,03	-
Sólidos totais	mg/L	29,00	-
Sólidos suspensos totais	mg/L	10,67	-
Sólidos dissolvidos	mg/L	18,33	500,00
COT	mg/L C	9,00	-
COD	mg/L C	8,33	-
Bacteriológico			
Coliformes Totais	UFC/100mL	30,33	-
Termotolerantes	UFC/100mL	9,67	1000,00
Inorgânico			
Boro	mg/L B	0,00	0,50
Cianeto	mg/L	0,001	0,005 (livre)
Alumínio	mg/L Al	0,01	0,1 (dissolvido)

16 3412 3995

contato@projetae.com

  /projetae | www.projetae.com

São Carlos – SP, Brasil

Arsênio	mg/L Ar	0,00	0,01
Cadmio	mg/L Cd	0,00	0,001
Cobalto	mg/L Co	0,00	0,05
Cobre	mg/L Cd	0,00	0,009 (dissolvido)
Cromo	mg/L Cd	0,00	0,05
Chumbo	mg/L Pb	0,00	0,01
Cálcio	mg/L Ca	2,37	-
Magnésio	mg/L Mg	1,20	-
Mercúrio	mg/L Hg	0,00	0,0002
Níquel	mg/L Ni	0,00	0,025
Prata	mg/L Ag	0,00	0,01
Ferro	mg/L Fe	0,38	0,3 (dissolvido)
Manganês	mg/L Mn	0,00	0,10
Sódio	mg/L Na	3,45	-
Potássio	mg/L K	2,27	-
Zinco	mg/L Zn	0,00	0,18

Parâmetro	Unidade	Resultado	Portaria GM/MS 888/2021
Inorgânico			
Antimônio	mg/L	0,00133	0,01
Bário	mg/L	0,0218	0,70
Selênio	mg/L	<0,0005	0,01
Urânio	mg/L	<0,0005	0,02
Orgânico			
1,2-Dicloroetano	µg/L	< 1	5
Acrilamida	µg/L	< 0,1	0,50
Benzeno	µg/L	< 0,5	5
Benzo(a)pireno	µg/L	< 0,01	0,40
Cloreto de Vinila	µg/L	< 0,5	0,50
Di(2-etilhexil)ftalato	µg/L	< 1	8
Diclorometano	µg/L	< 1	20
1,4-Dioxano	µg/L	< 1	
Epicloridrina	µg/L	< 0,1	0,40
Etilbenzeno	µg/L	< 1	300
Pentaclorofenol	µg/L	< 0,05	9
Tetracloro de Carbono	µg/L	< 0,5	4
Tetracloroetano	µg/L	< 1	40
Tolueno	µg/L	< 1	30
Tricloroetano	µg/L	< 0,5	4
Xilenos	µg/L	< 3	500
1,2-Diclorobenzeno	mg/L	< 0,001	0,001
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	< 0,0003	0,000
Monoclorobenzeno	mg/L	< 0,001	0,02
Agrotóxicos			
2,4-D	µg/L	< 0,05	30
Alacloro	µg/L	< 0,05	20
Aldicarb + Aldicarb Sulfona + Aldicarb Sulfóxido	µg/L	< 3	10
Aldrin + Dieldrin	µg/L	< 0,02	0,03
Ametrina	µg/L	< 1	60

Atrazina + S-Clorotriazinas (DEA, DIA, DACT)	µg/L	< 2	2
Carbendazim	µg/L	< 1	120
Carbofuran	µg/L	< 1	7
Ciproconazol	µg/L	< 1	30
Trans Clordano (Gama Clordano)	µg/L	< 0,01	0,20
Clorotalonil	µg/L	< 0,05	45
Clorpirifós + Clorpirifós-oxon	µg/L	< 2	30
p,p-DDT + p,p-DDD + p,p-DDE	µg/L	< 0,03	1
Difenoconazol	µg/L	< 1	30
Dimetoato + Ometoato	µg/L	< 1,05	1,20
Diuron	µg/L	< 1	20
Epoxiconazol	µg/L	< 1	60
Fipronil	µg/L	0,14	1,20
Flutriafol	µg/L	< 1	30
Glifosato + AMPA	µg/L	< 15	500
Hidroxi-Atrazina	µg/L	< 1	120
Lindano (g-HCH)	µg/L	< 0,01	2
Malationa	µg/L	< 0,05	60
Mancozebe + ETU	µg/L	< 7	8
Metamidofós + Acefato	µg/L	< 2	7
Metolacoloro	µg/L	< 0,01	10
Metribuzim	µg/L	< 1	25
Molinato	µg/L	< 0,05	6
Picloram	µg/L	< 0,05	60
Paraquate	µg/L	< 10	13
Profenofós	µg/L	< 0,1	0,30
Propargito	µg/L	< 1	30
Protioconazol + ProtioconazolDestio	µg/L	< 3	3
Simazina	µg/L	< 0,05	2
Tebuconazol	µg/L	< 1	180
Terbufós	µg/L	< 0,05	1,20
Tiametoxam	µg/L	< 1	36
Tiodicarbe	µg/L	< 1	90
Tiram	µg/L	< 5	6
Trifluralina	µg/L	< 0,05	20
Cianotoxinas			
Cilindrospermopsina	µg/L	< 0,05	1,00
Microcistinas	µg/L	< 0,1	1,00
Saxitoxinas (Totais)	µg/L	0,03	3,00

Para os parâmetros gerais, o sulfeto (H_2S não dissociado) apresenta resultado acima do valor máximo permitido pela CONAMA Nº 357/2005, de **0,002 mg/L**, enquanto a média de concentração das amostras analisadas foi de **0,80 mg/L**, valor acima do permitido (400 vezes maior). A principal

fonte de sulfeto em águas brutas é o lançamento de efluentes sanitários e industriais que contenham sulfato, localizados à montante do ponto de captação.

Os demais parâmetros gerais se encontram abaixo dos limites máximos estabelecidos pela Conama.

Coliformes totais e termotolerantes, sendo parâmetros bacteriológicos, resultaram abaixo dos limites.

Para os parâmetros inorgânicos, apenas o ferro apresenta resultado das amostras **(0,38 mg/L)** próximo do permitido pela **norma (0,30 mg/L)**. Para o ferro, o valor elevado pode ser em decorrência do solo da região que, devido a sua formação, contém alto teor de ferro.

Em relação a Portaria GM/MS Nº 888/2021, os metais (inorgânicos), apresentam valores inferiores aos limites estabelecidos, assim como os parâmetros orgânicos, agrotóxicos e cianotoxinas analisadas.

Os organismos fitoplanctônicos foram analisados, a fim de compor a caracterização da água bruta.

Tabela 6.2 – Ensaio – Organismos fitoplanctônicos

Organismo	Densidade (indivíduos/mL)	Abundância relativa (%)
Organismos fitoplanctônicos		
Cyanobacteria - Cylindrospermopsis	221,1	25,0
Chlorophyceae - Chamydomonas	55,3	6,3
Chlorophyceae – Closteriopsis	248,7	28,1
Bacylariophyceae - Melosira	110,6	12,5
Bacylariophyceae – Nitzia	27,6	3,1
Bacylariophyceae - Navicula	82,9	9,4
Euglenophyceae - Trachelomonas	82,9	9,4
Dynophyceae - Peridinium	55,3	6,3
Total	884,4	100

O ensaio apresentou baixo número de organismos, com densidade fitoplanctônica total de 884,4 indivíduos/ml. A maioria dos organismos é Clorofícea, seguido de Cianobacteria filamentosa.

A partir dos resultados das amostras de água bruta coletada de rio Grande apresenta qualidade praticamente em total acordo com os padrões da CONAMA para rios de Classe II; além da ausência de micropoluentes e organismos fitoplanctônicos, conferindo qualidade e simplicidade no tratamento pela ETA.

6.2 ENSAIOS DE TRATABILIDADE DA ÁGUA DO RIO GRANDE

6.2.1 PRÉ-OXIDAÇÃO

A etapa de oxidação (ou pré-oxidação), consiste na adição de composto químico para realizar a oxidação da matéria orgânica presente na água bruta, além de compostos inorgânicos, íons metálicos e auxiliar na coagulação e floculação. Uma dosagem adequada contribui para a otimização dos processos de coagulação e floculação, e pode auxiliar na redução das dosagens de coagulante e demais químicos.

O químico a ser utilizado no tratamento de Uberaba é o cloro (hipoclorito de sódio), produzido *in loco* pela tecnologia da Hidrogeron. O sistema é considerado como de baixo custo, com praticidade de aplicação, gera residual persistente e efetivo na inativação de micro-organismos patogênicos quando comparado aos demais oxidantes.

Um dos cuidados na avaliação da dosagem do oxidante se dá por conta da reação química, em que é possível a formação de subprodutos orgânicos halogenados (SOHs) indesejados, como os trialometanos (TAMs) e ácidos haloacéticos (AHAs), quando há presença de matéria orgânica natural (MON) na água (FRANCO *et al.*, 2020).

Os trialometanos, considerados os principais subprodutos da cloração, são formados por compostos de carbono simples substituídos por halogênicos e possuem a fórmula geral CHX_3 , onde X pode ser cloro, bromo, iodo ou suas combinações.

Podem estar presentes na água potável, como subprodutos resultante da reação entre substâncias químicas utilizadas no tratamento oxidativo (cloro livre) e matéria orgânica (ácidos húmicos e fúlvicos); em que a matéria orgânica se encontra naturalmente em mananciais de superfície utilizados para o abastecimento (água bruta). Portanto, a sua formação tem sido relacionada ao uso do cloro. (PASCHOALATO, 2005).

Cloro - Hidrogeron

Foram realizados ensaios para a etapa de pré-oxidação do tratamento, com a variação dos volumes de dosagem de cloro (a partir da diluição), sendo obtidos os volumes de demanda e de Cloro Residual Livre (CRL).

O teor de cloro ativo foi obtido a partir de sua diluição (10x), titulação com tiosulfato, e determinação do teor para 3 testes. Foi obtida a média aritmética do teor de cloro ativo, e adotada para aplicação nos ensaios de demanda de cloro.

Tabela 6.3 – Teor de cloro ativo – solução Hidrogeron

	A	B	C
Diluição	10 x	10 x	10 x
V gasto (mL)	8,76	8,04	8,64
V amostra mL	50	50	50
N tiosulfado	0,1	0,1	0,1
f	1,009	1,009	1,009
PM cloro g/gmol	35,45	35,45	35,45
Teor cloro ativo (g/100mL = %)	0,63	0,58	0,62
Média (%)	0,61		

Em seguida, foi preparado ensaio de demanda de cloro com diluição do cloro em 50 e 10 vezes.

6.2.1.1 Ensaio com diluição solução de cloro (50x)

O primeiro ensaio foi realizado com a diluição do cloro em 50 vezes, sendo obtida a concentração da solução de cloro a ser aplicada no ensaio de demanda.

Tabela 6.4 – Diluição cloro - Hidrogeron

Hidrogeron	
Média (%)	0,61
Média (mg/L)	6.066
Diluição	50 x
Solução cloro (mg/L)	121,3

Tabela 6.5 – Ensaio Demanda Cloro 1

Dosagem (mg/L)	CRL (mg/L)	Demanda (mg/L)
Tempo de Contato = 5 min		
1,00	0,17	0,32
2,00	0,26	0,71
3,00	0,16	1,30
4,00	0,18	1,76
5,00	0,25	2,18
6,00	0,29	2,62
7,00	0,52	2,88
8,50	0,61	3,51
9,50	0,47	4,14
10,50	0,62	4,48
Tempo de Contato = 30 min		
1,00	0,04	0,45
2,00	0,2	0,77
3,00	0,1	1,36
4,00	0,11	1,83
5,00	0,13	2,30
6,00	0,25	2,66
7,00	0,37	3,03
8,50	0,35	3,77
9,50	0,56	4,05
10,50	0,51	4,59

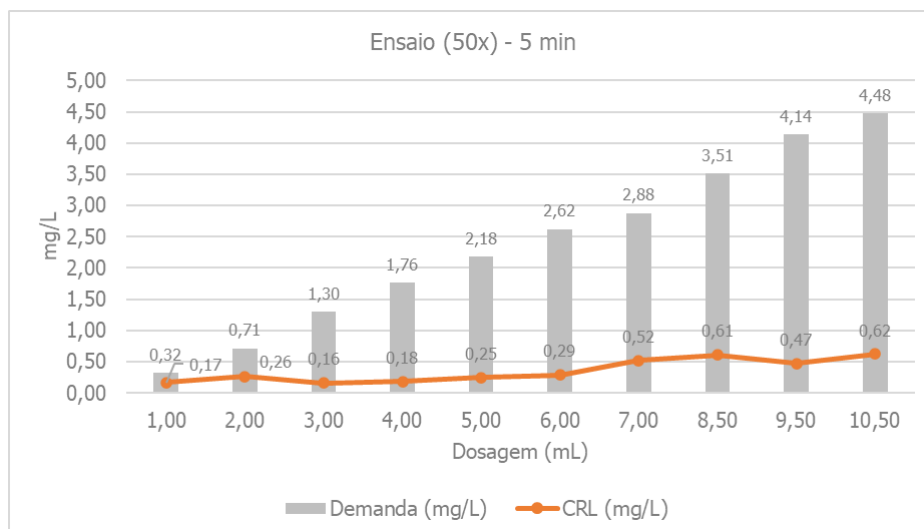


Figura 6.2 – Comparação da demanda e CRL (mg/L) em função das dosagens (mg/L) - 5 minutos

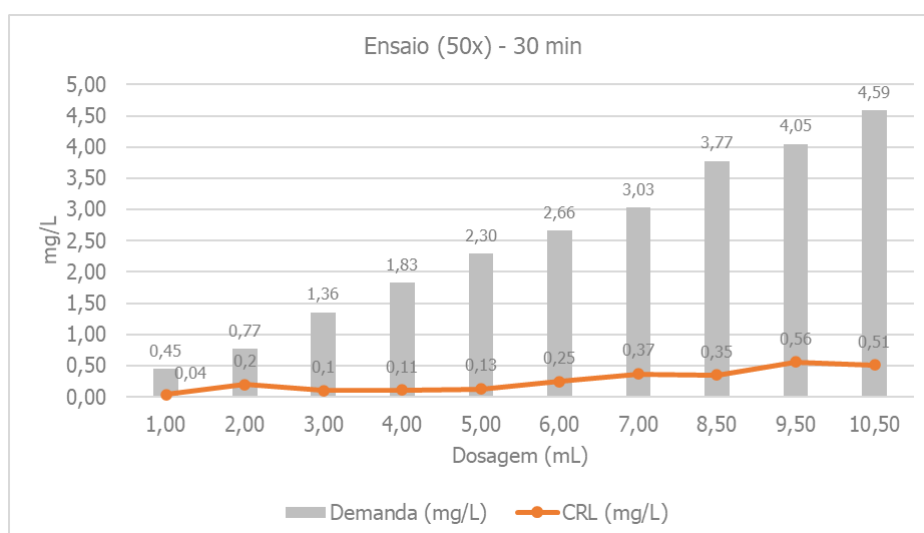


Figura 6.3 – Comparação da demanda e CRL (mg/L) em função das dosagens (mg/L) - 30 minutos

Para este ensaio, verifica-se que o cloro está sendo consumido para todos os volumes de aplicação de solução preparada (diluição 50x). Assim, o cloro residual livre (CRL) resulta em valores baixos em todos os ensaios, não ocorrendo residual relevante em nenhum momento para avaliação da melhor dosagem. Assim, essa concentração não é ideal para definir a dosagem de cloro na etapa de oxidação.

6.2.1.2 Diluição solução de cloro (10x)

O segundo ensaio foi realizado com a diluição do cloro em 10 vezes, sendo obtida a concentração da solução de cloro a ser aplicada no ensaio de demanda.

Tabela 6.6 – Diluição cloro - Hidrogeron

Hidrogeron	
Média (%)	0,61
Média (mg/L)	6.066
Diluição	10 x
Solução cloro (mg/L)	606,6

Tabela 6.7 – Ensaio Demanda Cloro 1

Dosagem (mg/L)	CRL (mg/L)	Demanda (mg/L)
Tempo de Contato = 5 min		
0,50	0,2	1,01
1,00	0,4	2,03
2,00	0,7	4,15
3,00	1,3	5,98
4,00	2,3	7,40
5,00	3,7	8,43
6,00	4,2	10,36
7,00	6,1	10,88
8,00	6,3	13,11
9,00	6,4	15,44
10,00	6,6	17,66
Tempo de Contato = 30 min		
0,50	0,3	0,91
1,00	0,4	2,03
2,00	0,6	4,25
3,00	1,5	5,78
4,00	2,6	7,10
5,00	4,2	7,93
6,00	5,1	9,46
7,00	6,7	10,28
8,00	7,7	11,71
9,00	8,0	13,84
10,00	8,3	15,96

Para este ensaio, verifica-se que o CRL “sobra”, a partir da dosagem de 2,00 mg/L, visto que entre as dosagens de 2,00 e 3,00 mg/L da solução (diluição 10x) tem valor de CLR praticamente dobrado (de 0,7 para 1,3 mg/L e 0,6 para 1,5 mg/L).

A partir da dosagem de 3,00 mg/L, todas as dosagens apresentam CLR em concentrações acima do necessário para oxidação (para tempo de contato de 5 min e 30 min). Dessa forma, **a dosagem de 2,00 mg/L é a mais adequada** para aplicação na etapa de pré-oxidação de tratamento da água bruta de rio Grande.

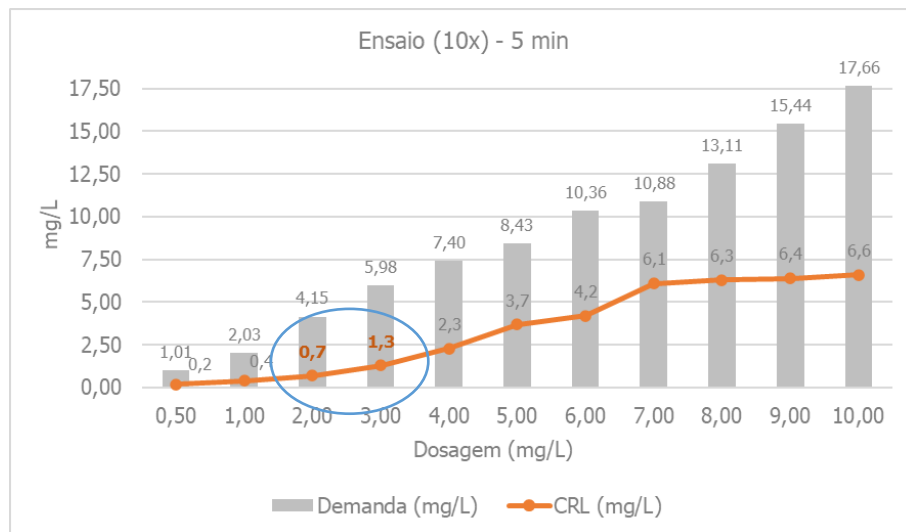


Figura 6.4 – Comparação da demanda e CRL (mg/L) em função das dosagens (mg/L) - 5 minutos

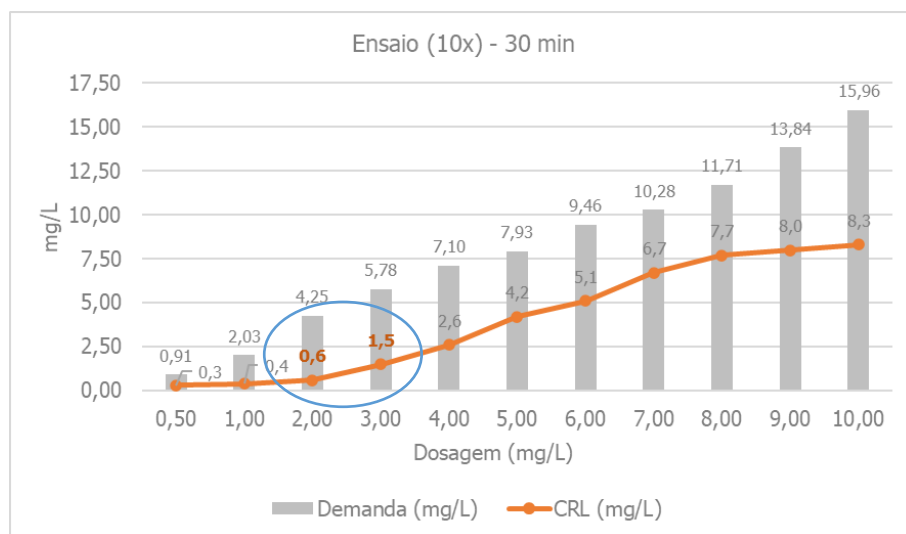


Figura 6.5 – Comparação da demanda e CRL (mg/L) em função das dosagens (mg/L) - 30 minutos

Os gráficos apresentam os resultados de como o CRL cresce ao longo das dosagens aplicadas, principalmente a **partir de 2,00 mg/L, localizando o ponto de mudança de comportamento da curva** em escala gráfica dos valores apresentados em tabela.

6.2.1.3 Dosagem escolhida

Para verificação da dosagem de 2,00 mg/L, escolhida de acordo com os ensaios de demanda, foi realizado ensaio em detalhes para dosagens próximas deste valor (entre 1,00 e 3,50 mg/L), para validação da dosagem final a ser aplicada. A aplicação de cloro é puro, sem diluição.

Tabela 6.8 – Diluição cloro - Hidrogeron

Hidrogeron	
Média (%)	0,61
Solução cloro puro (mg/L)	6065,53

Tabela 6.9 – Ensaio Demanda Cloro – dosagem escolhida

Dosagem (mg/L)	CRL – 5 min (mg/L)	CRL – 30 min (mg/L)
1,00	0,31	0,16
1,50	0,71	0,34
2,00	0,83	0,40
2,50	1,16	0,74
3,00	1,6	1,15
3,50	1,63	1,16

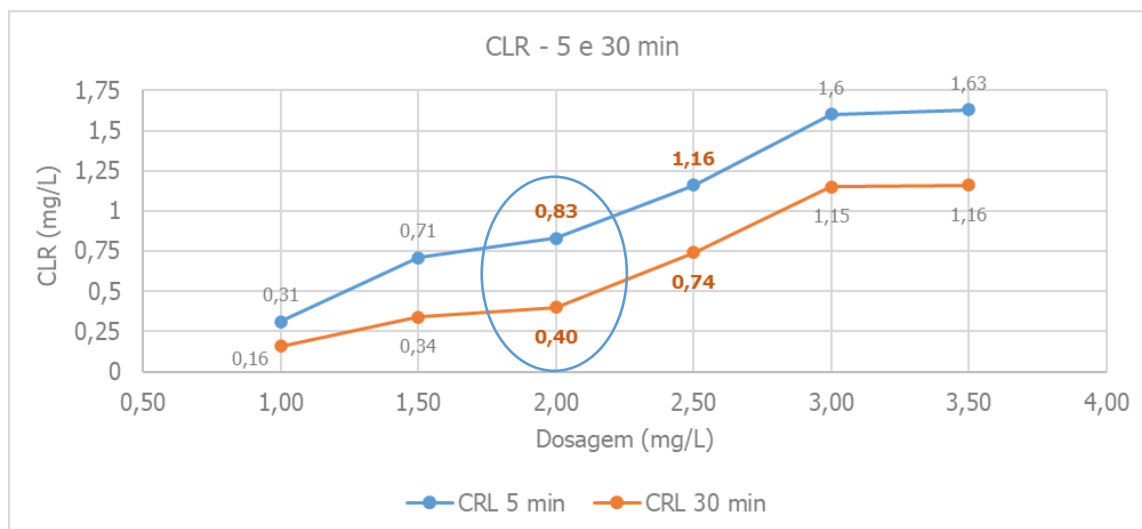


Figura 6.6 – Comparação do CLR (mg/L) em função das dosagens (mg) – 5 e 30 minutos

Verifica-se que para a dosagem de 2,00 mg/L para solução de cloro puro, confirma-se a relação de oxidação **adequada como dosagem máxima de 2,00 mg/L**, pois a partir de 2,50 mg/L, o CLR se aumenta gradativamente conforme a dosagem.

A análise é balizada para o valor de 0,5 ppm (ou mg/L) de CLR nos testes do ensaio, em que a partir de CLR acima de 0,5 ppm o cloro dosado aumenta diretamente o cloro residual, sem um aumento significativo da demanda. Este é o ponto de dosagem ótima para a pré-oxidação.

Os valores do gráfico que apresentam esse ponto estão destacados, como 0,83 mg/L e 1,16 mg/L para 5 min, e 0,40 mg/L e 0,74 mg/L para 30 min, confirmando que a **dosagem de 2,00 mg/L é ideal** para aplicação de cloro na pré-oxidação.

6.2.2 COAGULAÇÃO

A coagulação, seguida da floculação e sedimentação, são as principais etapas em uma ETA de ciclo completo e constituem o processo de clarificação da água, sendo a remoção de partículas em suspensão que não sedimentam naturalmente, condicionando a água para posterior filtração.

Inicialmente, realiza-se a etapa de coagulação, com adição de químico, de forma que desestabiliza e neutraliza as partículas coloidais, por meio da eliminação da carga eletrostática negativa contida na superfície das partículas, reduzindo a repulsão entre elas e proporcionando maior facilidade para

sua aglutinação. Esse processo ocorre com a mistura rápida, a qual promove choques entre as partículas e sua consequente agregação na etapa de floculação.

Assim, a floculação consiste na união das partículas previamente desestabilizadas em flocos. Por meio de uma mistura lenta, os flocos têm seu peso e tamanho aumentados, fator que permite sua sedimentação ao fundo do tanque pela ação das forças gravitacionais, assim que a mistura é cessada. Desta maneira, é possível realizar a separação de partículas potencialmente patológicas na água de abastecimento.

Para a análise descrita, o ensaio Jar Test foi realizado para simular as condições de uma ETA para os processos de coagulação, floculação e sedimentação, proporcionando misturas rápidas e lentas, assim como a decantação das partículas em suspensão. Dessa maneira é possível realizar a análise da eficiência dos processos relacionados ao pH da água, o qual pode ser ajustado pela adição de químicos (como hidróxido de sódio), sendo aplicados diferentes concentrações de coagulante.

Desta forma, podem ser definidas as condições ideais para a máxima remoção de partículas suspensas, de acordo com as características químicas da água a ser tratada. Os diagramas de coagulação são feitos para avaliar a remoção da turbidez e da cor aparente, por meio de Jar-test.

Foram realizados ensaios de ciclo completo para verificação das condições de coagulação utilizando Policloreto de Alumínio (PAC) como coagulante. O químico PAC é utilizado na ETA existente de Uberaba.

- Coagulante: Policloreto de Alumínio (PAC);
- Alcalinizante: Geocálcio. Tempo de mistura = 50 segundos;
- Mistura rápida: TMR = 10 s; GMR = 1000 s⁻¹ (436 rpm);
- Mistura lenta: TML = 20 min; GML = 25s⁻¹ (40 rpm).

Com a curva de titulação determina-se o volume de alcalinizante a ser aplicado nos jarros de Jar Test, considerando faixas de coagulante pré-estabelecidos.

Os ensaios de Jar Test demonstram como o coagulante se comporta na amostra, de forma que se pode verificar o potencial de tratabilidade da água bruta mediante processos físico-químicos.

A partir da variação de coagulante, alcalinizante, tempo de mistura e do gradiente de velocidade do agitador, pode-se acompanhar os processos de coagulação (Tempo de Mistura Rápida - TMR), de

floculação (Tempo de Mistura Lenta - TML) e sedimentação. Dessa forma, pode ser avaliada a remoção de turbidez.

Figura 6.7 – Primeiro ensaio do Jar Test de coagulação

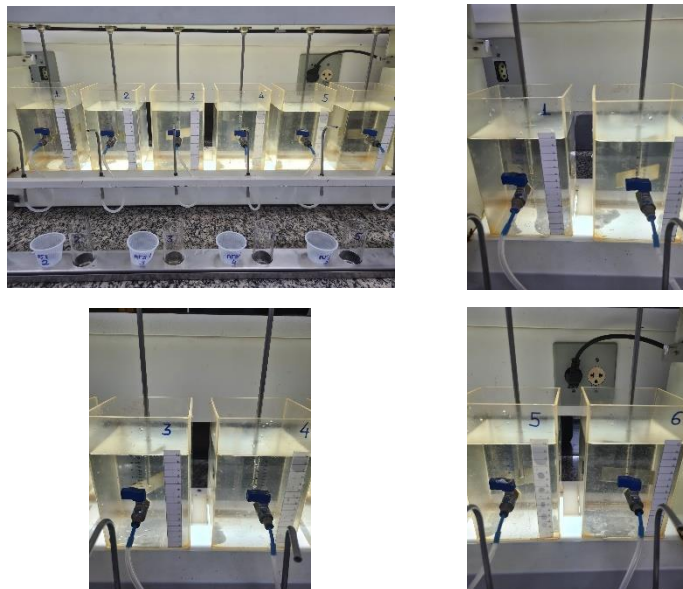


Figura 6.8 – Segundo ensaio do Jar Teste de coagulação

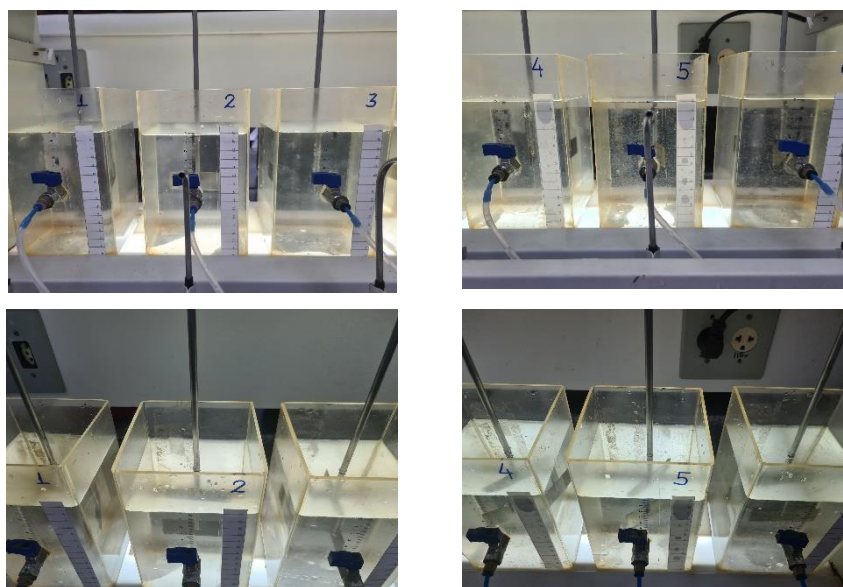


Figura 6.9 - Terceiro ensaio do Jar Teste de coagulação

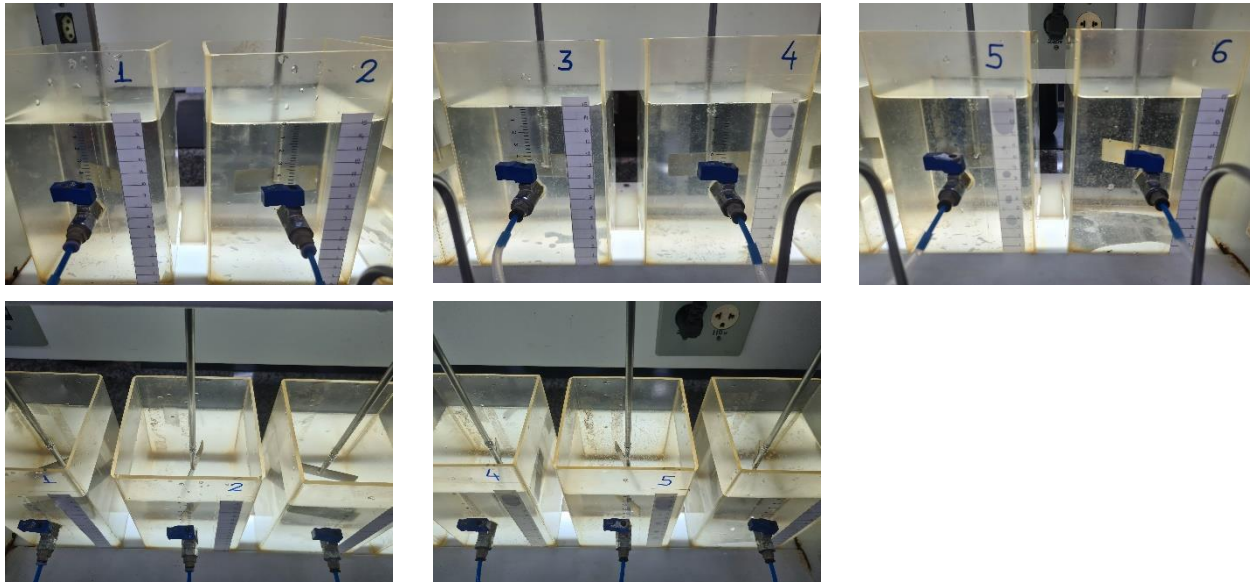


Figura 6.10 - Quarto ensaio do Jar Teste de coagulação

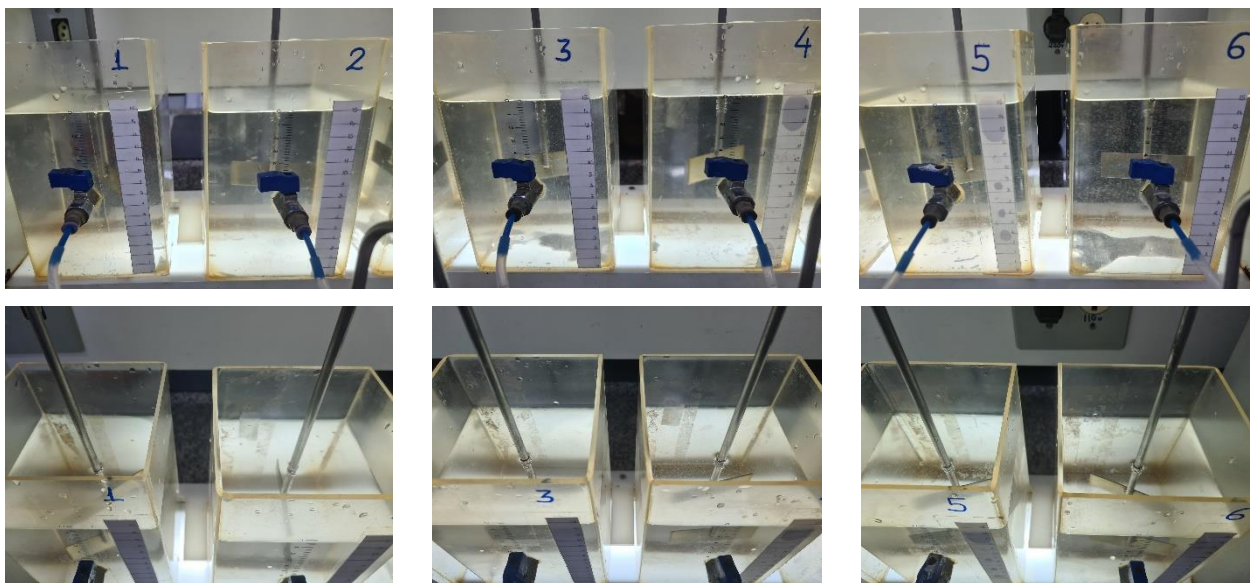


Figura 6.11 - Quinto ensaio do Jar Teste de coagulação

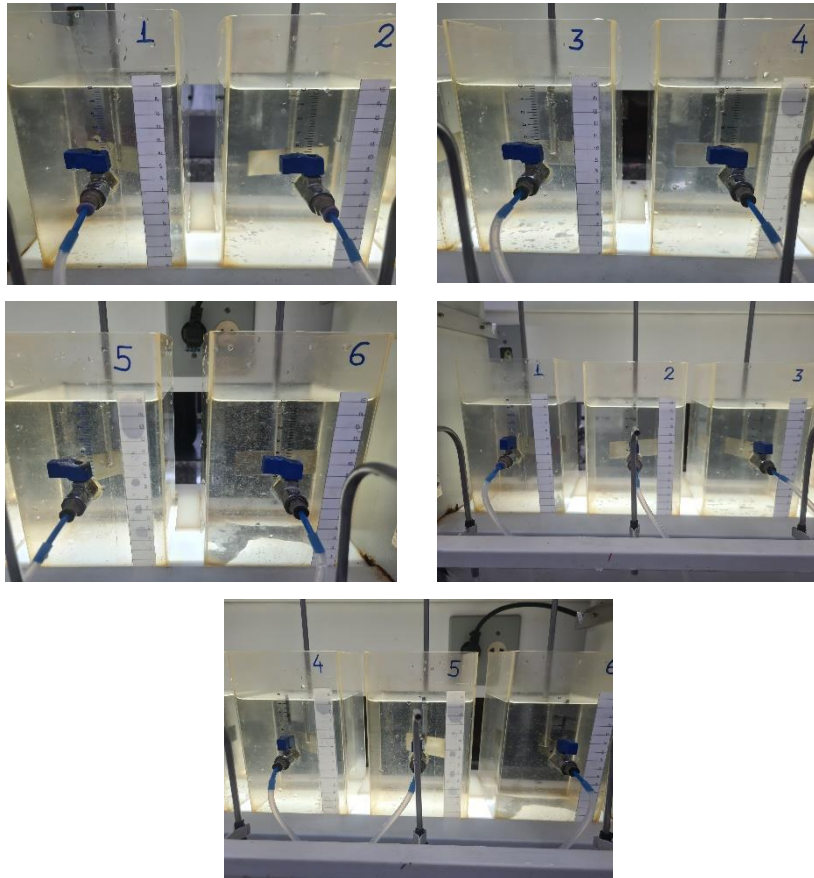


Figura 6.12 – Sexto ensaio do Jar Teste de coagulação

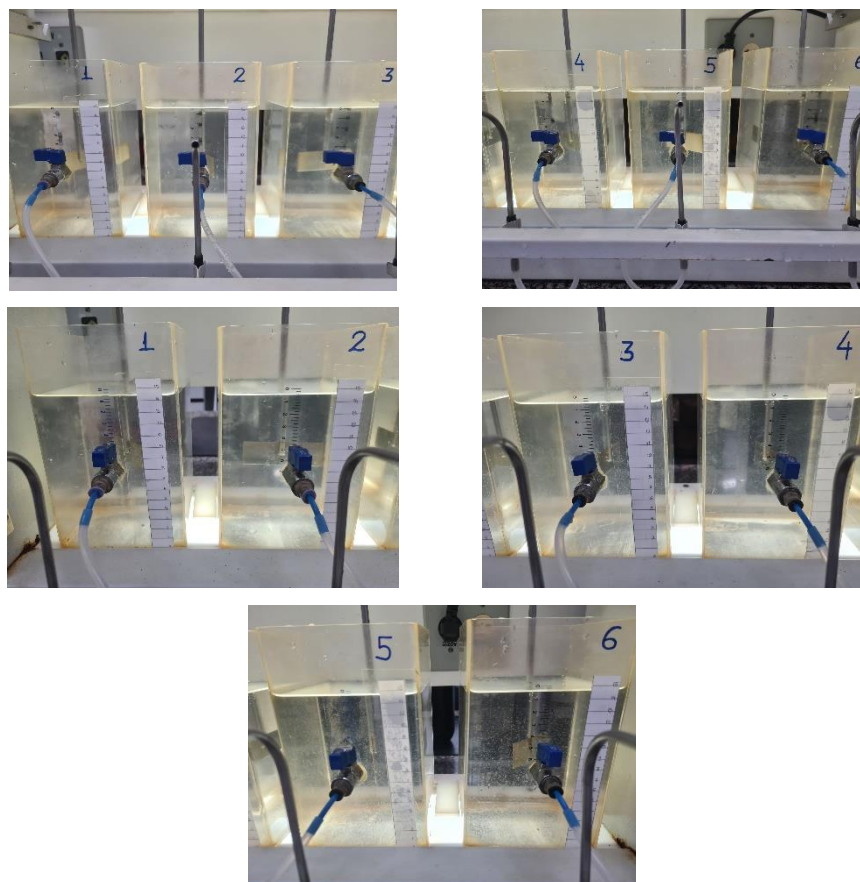


Figura 6.13 – Sétimo ensaio do Jar Teste de coagulação

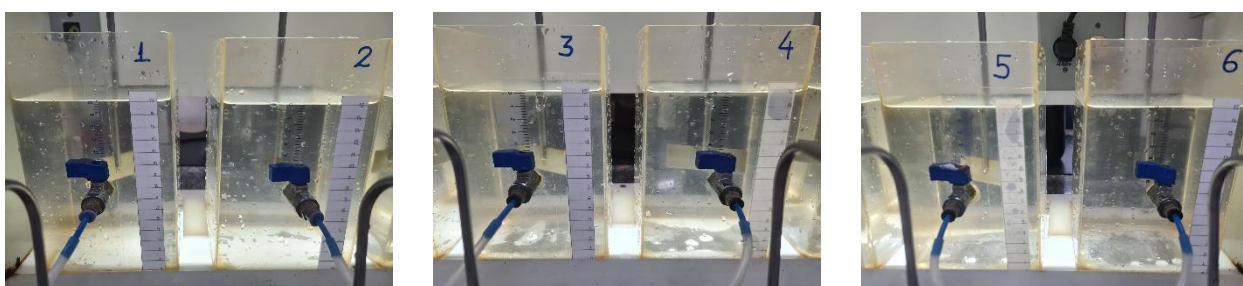


Figura 6.14 – Oitavo ensaio do Jar Teste de coagulação

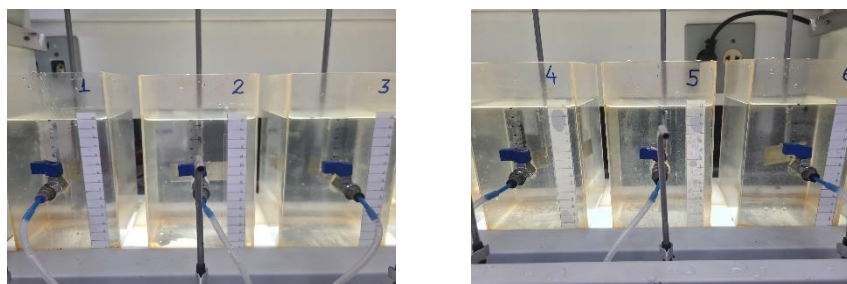


Tabela 6.10 – Ensaio Coagulação PAC

Jarro	Alcalinizante (mg/L)	Coagulante (mg/L)	pH	Vs1 = 2 cm/min		Vs2 = 1 cm/min	
	Geocálcio	PAC		ts = 3,5 min		ts = 7 min	
				Cor	Turbidez	Cor	Turbidez
1	-	5	7,28	23,0	4,63	23,0	4,46
2	-	10	7,27	23,0	4,69	23,0	4,53
3	-	15	7,24	17,0	4,30	14,0	3,81
4	-	20	7,21	14,0	4,05	14,0	2,44
5	-	25	7,15	6,0	2,40	5,0	1,81
6	-	30	7,13	<1	1,89	<1	1,39
1	2,50	5	7,48	<1	5,56	<1	4,49
2	2,50	10	7,46	<1	4,41	<1	4,33
3	2,50	15	7,32	<1	4,56	<1	4,13
4	2,50	20	7,31	<1	3,53	<1	2,91
5	2,50	25	7,18	<1	2,70	<1	2,18
6	2,50	30	7,28	<1	2,47	<1	1,45
1	5,00	5	7,73	<1	4,89	<1	4,31
2	5,00	10	7,72	<1	4,81	<1	4,39
3	5,00	15	7,64	<1	4,66	<1	4,43
4	5,00	20	7,46	<1	3,78	<1	3,63
5	5,00	25	7,33	<1	2,52	<1	2,40
6	5,00	30	7,40	<1	2,61	<1	2,59
1	7,50	5	8,34	<1	5,14	<1	4,86
2	7,50	10	8,10	<1	5,27	<1	5,15
3	7,50	15	7,94	<1	6,11	<1	5,18
4	7,50	20	7,64	<1	5,04	<1	4,65
5	7,50	25	7,59	<1	4,29	<1	2,55

Jarro	Alcalinizante (mg/L)	Coagulante (mg/L)	pH	Vs1 = 2 cm/min		Vs2 = 1 cm/min	
	Geocálcio	PAC		ts = 3,5 min		ts = 7 min	
				Cor	Turbidez	Cor	Turbidez
6	7,50	30	7,55	<1	3,68	<1	1,90
1	10,0	5	8,55	<1	6,10	<1	5,38
2	10,0	10	8,43	<1	5,46	<1	5,03
3	10,0	15	8,22	<1	6,01	<1	5,42
4	10,0	20	8,05	<1	5,26	<1	5,17
5	10,0	25	7,89	<1	4,95	<1	4,65
6	10,0	30	7,79	<1	3,89	<1	3,25
1	12,50	5	9,00	<1	6,42	<1	5,38
2	12,50	10	8,82	<1	6,37	<1	5,41
3	12,50	15	8,70	<1	5,55	<1	5,27
4	12,50	20	8,60	<1	5,15	<1	5,05
5	12,50	25	8,48	<1	4,80	<1	4,72
6	12,50	30	8,32	<1	3,59	<1	3,57
1	15,0	5	9,24	<1	6,65	<1	5,64
2	15,0	10	9,15	<1	6,19	<1	5,84
3	15,0	15	9,03	<1	6,40	<1	6,22
4	15,0	20	8,88	<1	6,57	<1	5,80
5	15,0	25	8,75	<1	6,75	<1	6,15
6	15,0	30	8,59	<1	6,56	<1	6,08
1	6,25	5	7,67	<1	3,81	<1	3,74
2	11,25	10	8,51	<1	3,89	<1	3,75
3	11,25	15	8,18	<1	4,34	<1	3,96
4	11,25	20	7,92	<1	3,45	<1	3,01
5	11,25	25	7,81	<1	2,90	<1	2,17
6	11,25	30	7,67	<1	2,21	<1	1,72

De maneira geral, observou-se poucos ganhos com a aplicação de alcalinizante, sendo que somente a dosagem de PAC foi suficiente para atingir a eficiência de decantação desejável para a filtração (turbidez < 5 uT e eficiência de remoção na decantação > 50%).

Para o primeiro ensaio, verifica-se que o ponto ótimo se encontra na aplicação de 25 mg/L de PAC, resultando em uma remoção de turbidez com bom desempenho, anterior de 2,44 NTU (20 mg/L PAC) para 1,81 NTU (25 mg/L PAC), para ensaio sem aplicação de Geocálcio (para Vs = 1 cm/min).

Para o segundo ensaio, verifica-se que o ponto ótimo se encontra na aplicação de 20 mg/L de PAC, resultando em uma remoção de turbidez com bom desempenho, anterior de 4,13 NTU (15 mg/L PAC) para 2,91 NTU (20 mg/L PAC), para ensaio com aplicação de Geocálcio de 2,50 mg/L (para $V_s = 1\text{cm/min}$).

Para o terceiro ensaio, verifica-se que o ponto ótimo se encontra na aplicação de 25 mg/L de PAC, resultando em uma remoção de turbidez com bom desempenho, anterior de 3,63 NTU (20 mg/L PAC) para 2,40 NTU (25 mg/L PAC), para ensaio com aplicação de Geocálcio de 5,00 mg/L (para $V_s = 1\text{cm/min}$).

Para o quarto ensaio, verifica-se que o ponto ótimo se encontra na aplicação de 25 mg/L de PAC, resultando em uma remoção de turbidez com bom desempenho, anterior de 4,65 NTU (20 mg/L PAC) para 2,55 NTU (25 mg/L PAC), para ensaio com aplicação de Geocálcio de 7,50 mg/L (para $V_s = 1\text{cm/min}$).

Para o quinto ensaio, verifica-se que o ponto ótimo se encontra na aplicação de 30 mg/L de PAC, resultando em uma remoção de turbidez com bom desempenho, anterior de 4,65 NTU (25 mg/L PAC) para 3,25 NTU (30 mg/L PAC), para ensaio com aplicação de Geocálcio de 10,00 mg/L (para $V_s = 1\text{cm/min}$).

Para o sexto ensaio, verifica-se que o ponto ótimo se encontra na aplicação de 30 mg/L de PAC, resultando em uma remoção de turbidez com bom desempenho, anterior de 4,72 NTU (25 mg/L PAC) para 3,57 NTU (30 mg/L PAC), para ensaio com aplicação de Geocálcio de 12,50 mg/L (para $V_s = 1\text{cm/min}$).

Para o sétimo ensaio, não se verifica ponto ótimo, pois os valores de turbidez remanescente oscilam e não performam com boa remoção, ficando entre valores de 5,64 e 6,22 NTU.

Para o oitavo ensaio, verifica-se que o ponto ótimo se encontra na aplicação de 25 mg/L de PAC, resultando em uma remoção de turbidez com bom desempenho, anterior de 3,01 NTU (20 mg/L PAC) para 2,17 NTU (25 mg/L PAC), para ensaio com aplicação de Geocálcio de 11,25 mg/L (para $V_s = 1\text{cm/min}$).

De acordo com os resultados, verifica-se que a remoção da turbidez foi mais efetiva para a **aplicação de 25 mg/L de PAC, para o primeiro ensaio, sem aplicação de Geocálcio.**

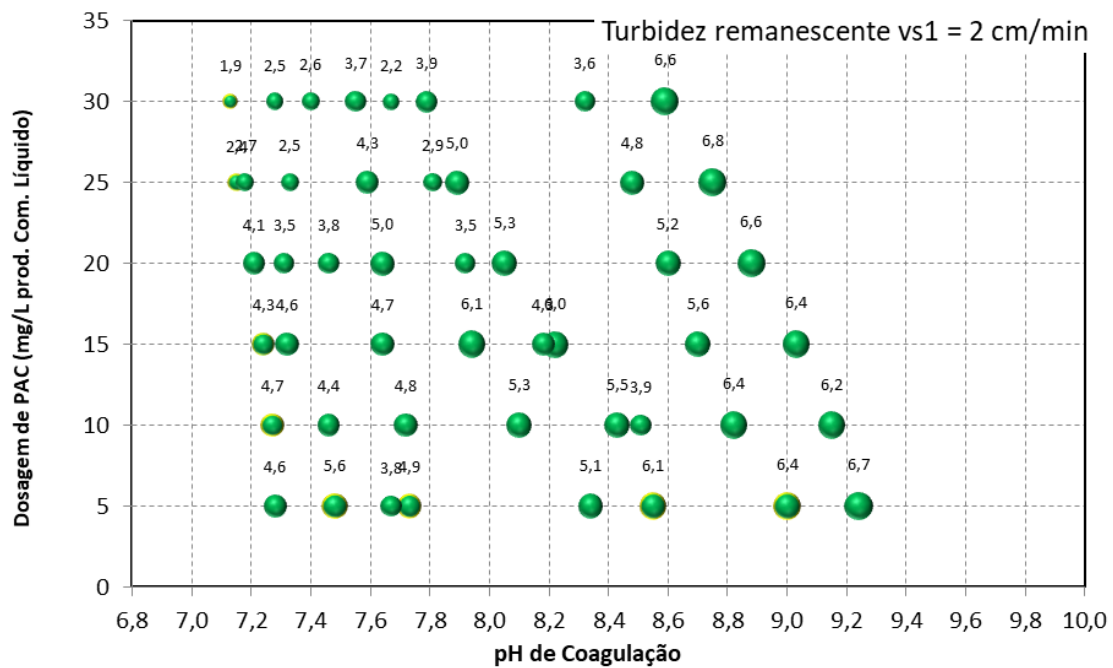


Figura 6.15 – Diagrama de coagulação – 1ª coleta (t=3,5 min)

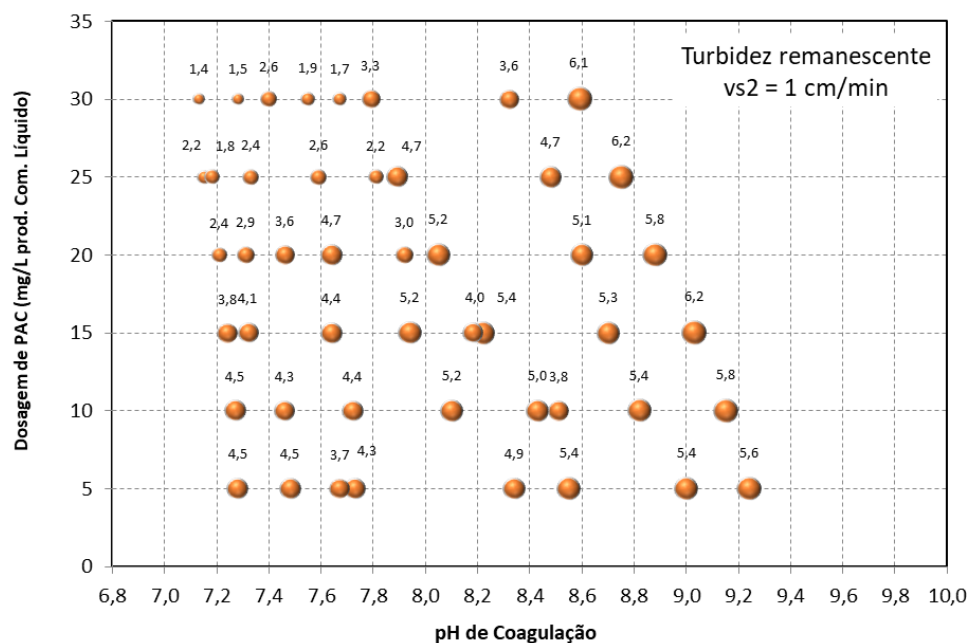


Figura 6.16 – Diagrama de coagulação – 2ª coleta (t=7 min)

6.2.1 ADSORÇÃO

Uma das técnicas de tratamento avançado adotadas em ETAs é a adsorção a partir do uso de carvão ativado em pó (CAP). Geralmente, se utiliza a aplicação da suspensão de carvão ativado, antes do início do tratamento, podendo haver tempo de contato prévio ou o tempo de contato sendo apenas o mesmo da floculação. Neste caso, é importante avaliar a capacidade de adsorção do CAP utilizado para que seja possível atender aos padrões de potabilidade para água estabelecidos (MÜLLER, *et al.*, 2009). Para Lima *et al.*, (2007 *apud* Biscola, 2019), o tratamento em ciclo completo precedido da adsorção em CAP apresenta resultados satisfatórios na remoção de micro contaminantes em águas contaminadas.

Dessa forma, foram realizados três ensaios para determinação do uso de carvão ativado pulverizado (CAP). O CAP aplicado foi do tipo CarboActiv K 600 Umectado, de aspecto de pó preto fino e inodoro, e em quantidade de 500 g, da empresa Brascarbo Agroindustrial Ltda.

Tabela 6.11 – Características - CAP

Análises	Lote 15
Número de Iodo	628,50 mg/g
Granulometria, Pas # 325 Mesh	91,15 %
Umidade	38,74 %
Cinzas Totais	6,31 %
pH	Alcalino
Densidade Aparente	0,40 g/cm ³

Foram testados dois tempos de contato, de 2 e 10 minutos, com variação das dosagens de carvão. Todos os ensaios foram precedidos de pré-oxidação, conforme parâmetros estabelecidos no item anterior.

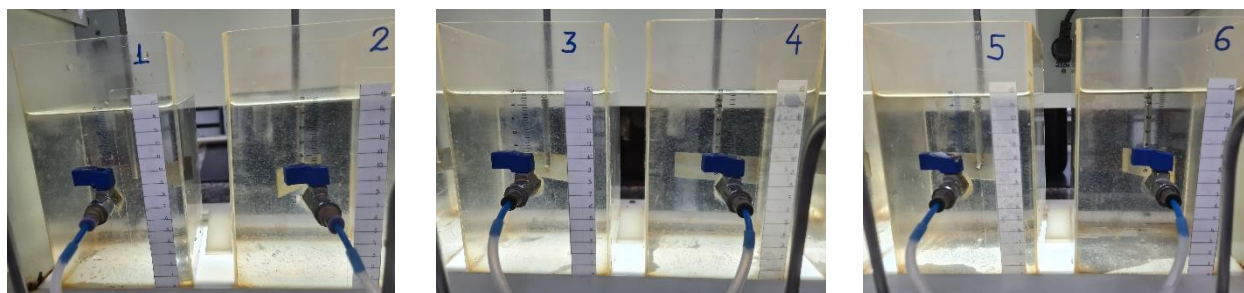


Figura 6.17 – Primeiro ensaio de adsorção

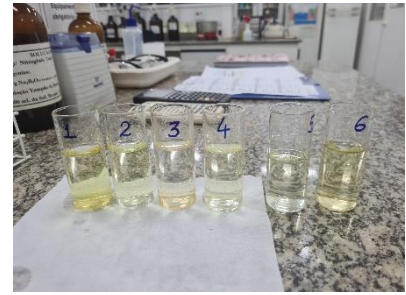
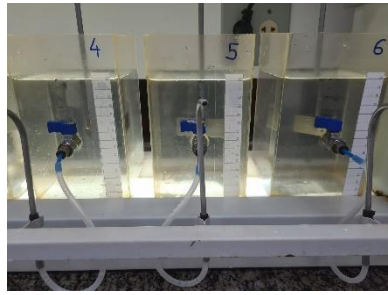
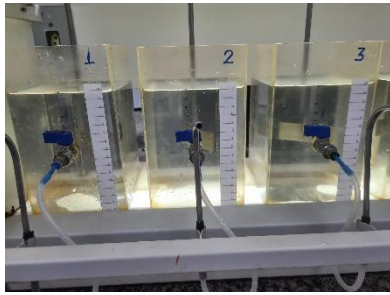


Figura 6.18 – Segundo ensaio de adsorção

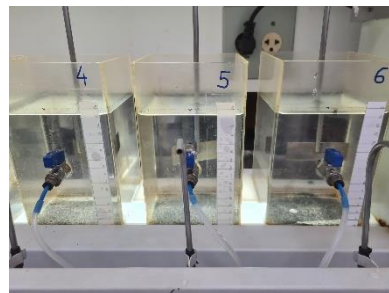
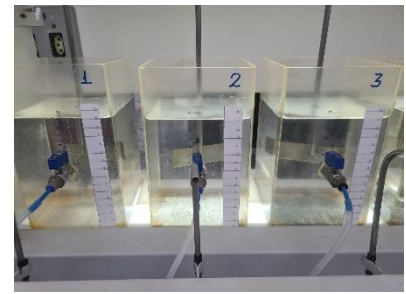
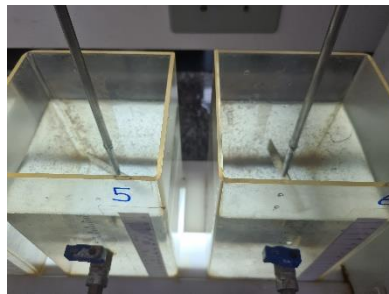
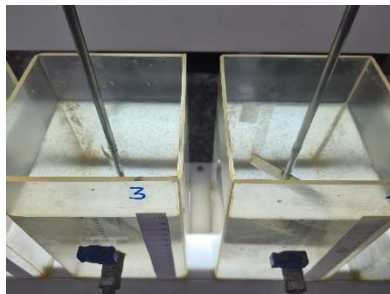
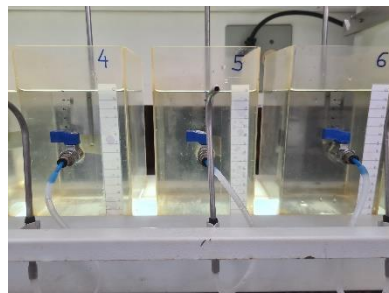
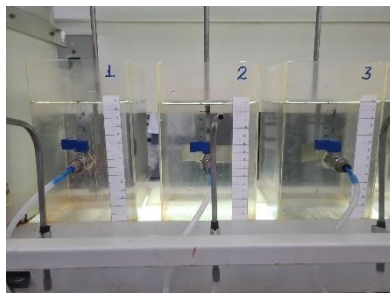


Figura 6.19 – Terceiro ensaio de adsorção

Tabela 6.12 – Resultados ensaio – adsorção

Jarro	Cloro			CAP 0,5%		Coagulante		pH	Cor (uH)	Turbidez (uT)	Cor (uH)	Turbidez (uT)
	(6066 mg/L)			(tc = 2 min)		(10 g/L PAC)			ts = 3,5 min		ts = 7 min	
	V (mL)	Dose (mg/L)	CRL (30 min)	V (mL)	CAP (mg/L)	V (mL)	PAC (mg/L)		Vs1 = 2 cm/min		Vs2 = 1 cm/min	
1	0,66	2	0,50	0	0	5	25	7,05	<1	2,9	<1	2,68
2	0,66	2	0,50	0,80	2,0	5	25	7,12	<1	3,5	<1	2,52
3	0,66	2	0,57	1,20	3,0	5	25	7,12	<1	4,3	<1	2,61
4	0,66	2	0,66	2,00	5,0	5	25	7,06	<1	2,9	<1	2,23
5	0,66	2	0,65	3,00	7,5	5	25	7,05	<1	2,0	<1	1,55
6	0,66	2	0,59	4,00	10,0	5	25	7,08	<1	2,7	<1	2,66
1	0,66	2	0,48	0	0	5	25	7,10	<1	3,7	<1	1,94
2	0,66	2	0,44	6	15	5	25	7,06	<1	1,9	<1	1,21
3	0,66	2	0,46	8	20	5	25	7,12	<1	3,1	<1	1,06
4	0,66	2	0,47	10	25	5	25	7,08	<1	1,8	<1	1,54
5	0,66	2	0,44	12	30	5	25	7,13	<1	1,9	<1	1,69
6	0,66	2	0,52	14	35	5	25	7,12	<1	2,2	<1	1,15
CAP 0,5% (tc = 10 min)												
1	0,66	2	0,46	0	0	5	25	6,93	<1	4,6	<1	2,52
2	0,66	2	0,52	6	15	5	25	6,93	<1	2,4	<1	1,82
3	0,66	2	0,49	8	20	5	25	7,02	<1	2,5	<1	2,19
4	0,66	2	0,58	10	25	5	25	6,98	<1	1,7	<1	1,24
5	0,66	2	0,5	12	30	5	25	6,92	<1	2,1	<1	1,52
6	0,66	2	0,62	14	35	5	25	6,91	<1	2,4	<1	1,53

16 3412 3995

contato@projetae.com

  /projetae | www.projetae.com

São Carlos – SP, Brasil

Para a análise de aplicação e CAP, foi realizado ensaio de Jar Test com adição de cloro (pré-oxidação), e coagulante com concentrações adotadas de acordo com ensaios anteriores, sendo de 2 mg/L de cloro, e 25 mg/L de PAC.

De acordo com os resultados do Jar Test, para o terceiro ensaio, a aplicação de **25 mg/L de CAP** (tempo de contato de 10 min) obteve melhor desempenho de tratabilidade, com resultado final de 1,24 uT de turbidez.

6.2.2 CICLO COMPLETO

O ensaio de ciclo completo é realizado para determinar os principais parâmetros e dosagens específicas para tratamento da água em análise, em que consiste a coagulação, floculação, decantação e filtração.

O ensaio foi realizado com 06 jarros de Jar-Test, sendo:

- . Jarros 1 e 2 – apenas adição de coagulante (PAC);
- . Jarros 3 e 4 – aplicação de coagulante (PAC) e cloro (pré-oxidação);
- . Jarros 5 e 6 - aplicação de coagulante (PAC), cloro (pré-oxidação) e Carvão ativado CAP (adsorção).

Tabela 6.13 – Resultados ensaio – Ciclo completo

Jarro	Cloro		CAP	Coagulante	pH	Cor (uH)	Turbidez (uT)	Cor (uH)	Turbidez (uT)	Filtrada				
			(10 min)	(10 g/L PAC)		ts = 3,5 min		ts = 7 min						
	Dosagem (mg/L)	CRL (30 min)	CAP (mg/L)	PAC (mg/L)		Vs1 = 2 cm/min		Vs2 = 1 cm/min		Cor (uH)	Turbidez (uT)	COT (mg/L)	CLR (mg/L)	Alumínio (mg/L)
1	-	-	-	25	7,08	<1	3,01	<1	2,09	4,0	0,92	6,55	-	0,02
2	-	-	-	25	7,00	<1	3,25	<1	1,91	9,0	0,82	6,75	-	<0,01
3	2	0,36	-	25	7,02	<1	3,08	<1	2,88	<1	0,65	6,21	<0,01	<0,01
4	2	0,40	-	25	7,08	<1	3,73	<1	3,33	<1	0,87	6,59	<0,01	<0,01
5	2	0,38	25	25	7,10	<1	2,29	<1	1,10	<1	0,87	6,31	<0,01	<0,01
6	2	0,40	25	25	7,08	<1	2,48	<1	1,36	<1	0,69	6,54	<0,01	<0,01

Para a análise do tratamento do ciclo completo, o resultado obtido no Jarro nº 2, com aplicação apenas de coagulante (PAC), de concentração 25 mg/L, com resultados de pH 7,00, cor 9,0 uH e turbidez de 1,91 uT após decantação, **e turbidez final após filtração de 0,82 uT.**

No Jarro nº3, apesar de apresentar pior resultado em relação a decantação (Vs2), obteve-se o melhor resultado em relação a turbidez da água filtrada, atingindo 0,65 uT. Os valores referentes a cor também foram reduzidos em relação ao Jarro nº2, sendo inferior a 1 uH.

Valores de COT para todas as amostras apresentaram concentrações de 6,21 a 6,75 mg/L, sendo praticamente inalterada com a adição de químicos.

A partir dos resultados, verifica-se que a tratabilidade para a água ensaiada pode ser simplificada para aplicação de apenas coagulante (PAC), na concentração de 25 mg/L, com resultados dentro dos limites de exigência para água filtrada, considerando ajustes de processo no momento de projeto da ETA.

Ressalta-se que os ensaios de filtração em jarrest podem estar sujeitos a efeitos secundários de caminhos preferenciais de parede, de contaminação referente a resíduos acumulados no meio filtrante ou de falhas referentes a hidráulica do processo como bolhas de ar ou caminhos preferenciais causados pelo mal assentamento do meio filtrante.

Ressalta-se que o desempenho da filtração em escala superior à de bancada, seja em piloto ou em escala real, produz resultado de qualidade muito superior aos resultados dos ensaios de bancada.

De acordo com a Portaria Nº 888/2021, o valor recomendado de turbidez ao final da filtração no ciclo completo deve ser de no máximo 0,5 uT, para 95% das amostras coletadas. Frente a esse valor, mesmo o ensaio apresenta resultado acima da norma, é esperado que a ETA em escala real produza resultados suficientes para atingir a qualidade desejada, de forma que o possa ser utilizado tratamento com aplicação apenas de PAC, com atenção quanto aos ajustes de processo na ETA para ser atingido valor limite de 0,5 uT.

7 ESTUDO DE TRATABILIDADE DO RIO ARAGUARI

7.1 COLETA E ANÁLISE DA ÁGUA BRUTA – RIO ARAGUARI

A localização aproximada da coleta tem coordenadas 19°32'32.75"S; 47°29'27.66"O, às margens do rio Araguari, próximo a ponte da rodovia AMG-0730. Foi coletado volume de 500 L, na data de 07 de junho de 2022.

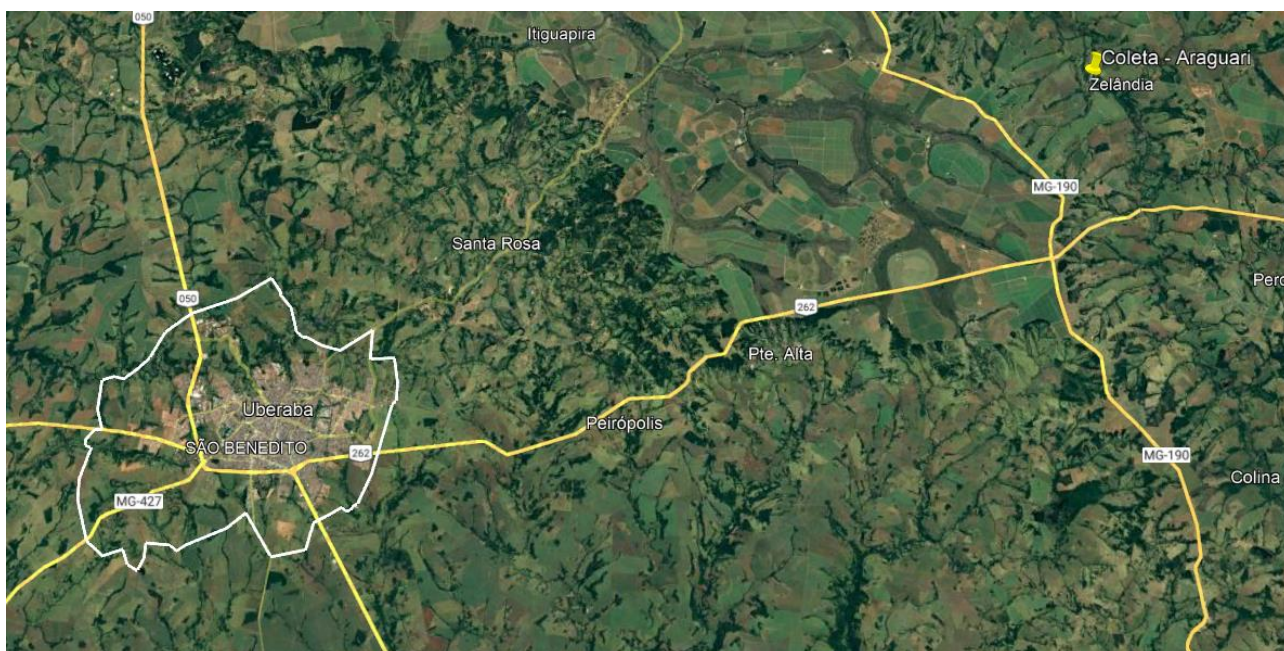


Figura 7.1 – Localização do ponto de coleta de água - rio Araguari

Fonte: Google Earth (2022)

Os ensaios foram realizados pelos laboratórios:

- . Laboratório UNAERP – Parâmetros gerais e tratabilidade;
- . Mérieux NutriSciences (Bio Agri) – parâmetros Portaria Nº 888 e agrotóxicos;
- . Biotace (USP / São Carlos) – organismos fitoplanctônicos.

7.1.1 Características da água bruta – Rio Araguari

Os parâmetros analisados da água bruta são fundamentais para sua caracterização, avaliação da tratabilidade, e definição de dosagens de químicos para tratamento.

Foram analisados os parâmetros de acordo com os padrões estabelecidos pela CONAMA Nº 357 e pela Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental nº 1 (COPAM/MG), para rios de Classe II, analisados pelo laboratório da UNAERP.

Além disso, foram analisados os parâmetros orgânicos e agrotóxicos estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde Nº 888 / 2021, para verificação de presença de outros poluentes.

Tabela 7.1 – Características da água bruta - Rio Araguari

Caracterização Água Bruta - Rio Araguari				
Parâmetro	Unidade	Resultado (Média)	Resolução 357 - Águas de classe 02	DN COPAM Nº1 - Águas de classe 02
Gerais				
pH	adimensional	7,27	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0
Cor aparente	uH	48,00	-	-
Cor verdadeira	uH	12,33	75,00	75,00
Turbidez	uT (NTU)	5,54	100,00	100,00
Cloro Residual	mg/L	0,00	0,01	0,01
Condutividade	µS/cm	15,43	-	-
Dureza total	mg/L CaCO ₃	8,97	-	-
Alcal. bicarbonato	mg/L CaCO ₃	20,28	-	-
Sulfato	mg/L SO ₄	2,61	250,00	250,00
Sulfeto	mg/L	0,00	0,002	0,002
Cloretos	mg/L	0,21	250,00	-
Amoniacal	mg/L NH ₃	0,04	0,50	0,50
Nitrato	mg/L NO ₃	0,65	10,00	10,00
Nitrito	mg/L NO ₂	0,00	1,00	1,00
Fluoreto	mg/L F-	0,00	1,40	1,40
Fosfato	mg/L PO ₄	0,09	-	-
Fósforo	mg/L P	0,03	-	-
Sólidos totais	mg/L	57,33	-	-
Sólidos suspensos totais	mg/L	4,33	-	-
Sólidos dissolvidos	mg/L	53,00	500,00	500,00
COT	mg/L C	12,89	-	-
COD	mg/L C	4,11	-	-
Bacteriológico				
Coliformes Totais	UFC/100mL	37,00	-	-
Termotolerantes	UFC/100mL	14,33	1000,00	1000,00

Inorgânico				
Boro	mg/L B	0,00	0,50	0,50
Cianeto	mg/L	0,00	0,005 (livre)	0,005 (livre)
Alumínio	mg/L Al	0,03	0,1 (dissolvido)	0,1 (dissolvido)
Arsênio	mg/L Ar	0,00	0,01	0,01
Cadmio	mg/L Cd	0,00	0,001	0,001
Cobalto	mg/L Co	0,00	0,05	0,05
Cobre	mg/L Cd	0,00	0,009 (dissolvido)	0,009 (dissolvido)
Cromo	mg/L Cd	0,00	0,05	0,05
Chumbo	mg/L Pb	0,00	0,01	0,01
Cálcio	mg/L Ca	1,45	-	-
Magnésio	mg/L Mg	1,10	-	-
Mercúrio	mg/L Hg	0,00	0,0002	0,0002
Níquel	mg/L Ni	0,00	0,025	0,025
Prata	mg/L Ag	0,00	0,01	0,01
Ferro	mg/L Fe	0,43	0,3 (dissolvido)	0,3 (dissolvido)
Manganês	mg/L Mn	0,00	0,10	0,10
Sódio	mg/L Na	0,86	-	-
Potássio	mg/L K	0,66	-	-
Zinco	mg/L Zn	0,02	0,18	0,18
Parâmetro	Unidade	Resultado	Portaria GM/MS 888/2021	
Inorgânico				
Antimônio	mg/L	< 0,0005	0,01	
Bário	mg/L	0,012	0,70	
Selênio	mg/L	< 0,0005	0,01	
Urânio	mg/L	< 0,0005	0,02	
Orgânico				
1,2-Dicloroetano	µg/L	< 1	5	
Acrilamida	µg/L	< 0,1	0,50	
Benzeno	µg/L	< 0,5	5	
Benzo(a)pireno	µg/L	< 0,01	0,40	
Cloreto de Vinila	µg/L	< 0,5	0,50	
Di(2-etilhexil)ftalato	µg/L	< 1	8	
Diclorometano	µg/L	< 1	20	
1,4-Dioxano	µg/L	< 1		
Epicloridrina	µg/L	< 0,1	0,40	
Etilbenzeno	µg/L	< 1	300	
Pentaclorofenol	µg/L	< 0,05	9	
Tetracloroeto de Carbono	µg/L	< 0,5	4	
Tetracloroetano	µg/L	< 1	40	
Tolueno	µg/L	< 1	30	
Tricloroetano	µg/L	< 0,5	4	
Xilenos	µg/L	< 3	500	
1,2-Diclorobenzeno	mg/L	< 0,001	0,001	
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	< 0,0003	0,000	
Monoclorobenzeno	mg/L	< 0,001	0,02	
Agrotóxicos				
2,4-D	µg/L	< 0,05	30	
Alacloro	µg/L	< 0,05	20	

Aldicarb + Aldicarb Sulfona + Aldicarb Sulfóxido	µg/L	< 3	10
Aldrin + Dieldrin	µg/L	< 0,02	0,03
Ametrina	µg/L	< 1	60
Atrazina + S-Clorotriazinas (DEA, DIA, DACT)	µg/L	< 2	2
Carbendazim	µg/L	< 1	120
Carbofuran	µg/L	< 1	7
Ciproconazol	µg/L	< 1	30
Trans Clordano (Gama Clordano)	µg/L	< 0,01	0,20
Clorotalonil	µg/L	< 0,05	45
Clorpirifós + Clorpirifós-oxon	µg/L	< 2	30
p,p-DDT + p,p-DDD + p,p-DDE	µg/L	< 0,03	1
Difenoconazol	µg/L	< 1	30
Dimetoato + Ometoato	µg/L	< 1,05	1,20
Diuron	µg/L	< 1	20
Epoxiconazol	µg/L	< 1	60
Fipronil	µg/L	< 0,05	1,20
Flutriafol	µg/L	< 1	30
Glifosato + AMPA	µg/L	< 15	500
Hidroxi-Atrazina	µg/L	< 1	120
Lindano (g-HCH)	µg/L	< 0,01	2
Malationa	µg/L	< 0,05	60
Mancozebe + ETU	µg/L	< 7	8
Metamidofós + Acefato	µg/L	< 2	7
Metolacoloro	µg/L	< 0,01	10
Metribuzim	µg/L	< 1	25
Molinato	µg/L	< 0,05	6
Picloram	µg/L	< 0,05	60
Paraquate	µg/L	< 10	13
Profenofós	µg/L	< 0,1	0,30
Propargito	µg/L	< 1	30
Protioconazol + ProtioconazolDestio	µg/L	< 3	3
Simazina	µg/L	< 0,05	2
Tebuconazol	µg/L	< 1	180
Terbufós	µg/L	< 0,05	1,20
Tiametoxam	µg/L	< 1	36
Tiodicarbe	µg/L	< 1	90
Tiram	µg/L	< 5	6
Trifluralina	µg/L	< 0,05	20
Cianotoxinas			
Cilindrospermopsina	µg/L	< 0,05	1,00
Microcistinas	µg/L	< 0,1	1,00
Saxitoxinas (Totais)	µg/L	< 0,02	3,00

Todos os parâmetros gerais se encontram abaixo dos limites máximos estabelecidos pela CONAMA Nº 357/2005. Coliformes totais e termotolerantes, sendo parâmetros bacteriológicos, resultaram abaixo dos limites.

Para os parâmetros inorgânicos, apenas o ferro apresenta resultado das amostras **(0,43 mg/L)** acima do permitido pela **norma (0,30 mg/L)**. Para o ferro, o valor encontrado pode ser em decorrência do solo da região que, devido a sua formação, contém alto teor de ferro.

Em relação a Portaria GM/MS Nº 888/2021, os metais (inorgânicos), apresentam valores inferiores aos limites estabelecidos, assim como os parâmetros orgânicos, agrotóxicos e cianotoxinas analisadas.

Dessa forma, a amostra de água bruta coletada do rio Araguari apresenta qualidade praticamente em total acordo com os padrões da CONAMA para rios de Classe II; além da ausência de micropoluentes, conferindo qualidade quanto ao potabilidade de água pela Portaria GM/MS Nº 888/2021.

Os organismos fitoplanctônicos foram analisados, a fim de compor a caracterização da água bruta.

Tabela 7.2 – Ensaio – Organismos fitoplanctônicos

Organismo	Densidade (indivíduos/mL)	Abundância relativa (%)
Organismos fitoplanctônicos		
Chlorophyceae - Chorella	221,1	10,1
Chlorophyceae - Scenedesmus	386,9	17,7
Euglenophyceae - Trachelomonas	304,0	13,9
Euglenophyceae - Lepocinclis	27,6	1,3
Euglenophyceae - Euglena	221,1	10,1
Euglenophyceae - Phacus	27,6	1,3
Bacylariophyceae – Lyrella	55,3	2,5
Bacylariophyceae – Nitzia	193,5	8,9
Bacylariophyceae - Navicula	138,2	6,3
Bacylariophyceae - Aulacoseira	442,2	20,3
Dynophyceae - Peridinium	165,8	7,6
Total	2183,4	100

O ensaio apresentou baixo número de organismos, com densidade fitoplanctônica total de 2183,4 indivíduos/mL. A maioria dos organismos é Bacylariophyceae.

A partir dos resultados das amostras de água bruta coletada do rio Araguari apresenta qualidade praticamente em total acordo com os padrões da CONAMA para rios de Classe II; além da ausência de micropoluentes e organismos fitoplanctônicos, conferindo qualidade e simplicidade no tratamento pela ETA.

7.2 ENSAIOS DE TRATABILIDADE

7.2.1 PRÉ-OXIDAÇÃO

A etapa de oxidação (ou pré-oxidação), consiste na adição de químico para realizar a oxidação da matéria orgânica presente na água bruta, além de compostos inorgânicos, íons metálicos e auxiliar na coagulação e floculação. Uma dosagem adequada contribui para a otimização dos processos de coagulação e floculação, e reduz as dosagens ótimas de coagulante e demais químicos.

O produto químico a ser utilizado no tratamento de Uberaba é o cloro (hipoclorito de sódio), produzido *in loco* pela tecnologia da Hidrogeron. O sistema é considerado como de baixo custo, com praticidade de aplicação, gera residual persistente e efetivo na inativação de micro-organismos patogênicos quando comparado aos demais oxidantes.

Um dos cuidados na avaliação da dosagem do oxidante se dá por conta da reação química, em que é possível a formação de subprodutos orgânicos halogenados (SOHs) indesejados, como os trihalometanos (THMs) e ácidos haloacéticos (HAAs), quando há presença de matéria orgânica natural (MON) na água (FRANCO *et al.*, 2020).

Os trihalometanos, considerados os principais subprodutos da cloração, são formados por compostos de carbono simples substituídos por halogênicos e possuem a fórmula geral CHX_3 , onde X pode ser cloro, bromo, iodo ou suas combinações.

Podem estar presentes na água potável, como subprodutos resultante da reação entre substâncias químicas utilizadas no tratamento oxidativo (cloro livre) e matéria orgânica (ácidos húmicos e fúlvicos); em que a matéria orgânica se encontra naturalmente em mananciais de superfície

utilizados para o abastecimento (água bruta). Portanto, a sua formação tem sido relacionada ao uso do cloro. (PASCHOALATO, 2005).

Cloro - Hidrogeron

Foram realizados ensaios para a etapa de pré-oxidação do tratamento, com a variação dos volumes de dosagem de cloro (a partir da diluição), sendo obtidos os volumes de demanda e de Cloro Residual Livre (CRL).

O teor de cloro ativo foi obtido a partir de sua diluição (10x), titulação com tiosulfato, e determinação do teor para 3 testes. Foi obtida a média aritmética do teor de cloro ativo, e adotada para aplicação nos ensaios de demanda de cloro.

Tabela 7.3 – Teor de cloro ativo – solução Hidrogeron

	A	B	C
Diluição	10 x	10 x	10 x
V gasto (mL)	8,14	8,19	8,28
V amostra mL	50	50	50
N tiosulfado	0,1	0,1	0,1
f	1,009	1,009	1,009
PM cloro g/gmol	35,45	35,45	35,45
Teor cloro ativo (g/100mL = %)	0,58	0,58	0,59
Média (%)	0,59		

Em seguida, foi realizado o ensaio de demanda de cloro com a solução pura de 5868 mg/L.

Tabela 7.4 – Ensaio Demanda Cloro

Dosagem (mg/L)	CRL (mg/L)	Demanda (mg/L)
Tempo de Contato = 5 min		
1,00	0,09	0,91
1,50	0,17	1,33
2,00	0,21	1,79
2,50	0,34	2,16
3,00	0,42	2,58
3,50	0,76	2,74
4,00	0,88	3,12
4,50	1,30	3,20
5,00	1,45	3,55
6,00	1,90	4,10
7,50	2,92	4,58
10,00	4,00	6,00
Tempo de Contato = 30 min		
1,00	0,06	0,94
1,50	0,10	1,40
2,00	0,19	1,81
2,50	0,30	2,20
3,00	0,35	2,65
3,50	0,66	2,84
4,00	0,86	3,14
4,50	1,19	3,31
5,00	1,32	3,68
6,00	1,82	4,18
7,50	2,68	4,82
10,00	3,84	6,16

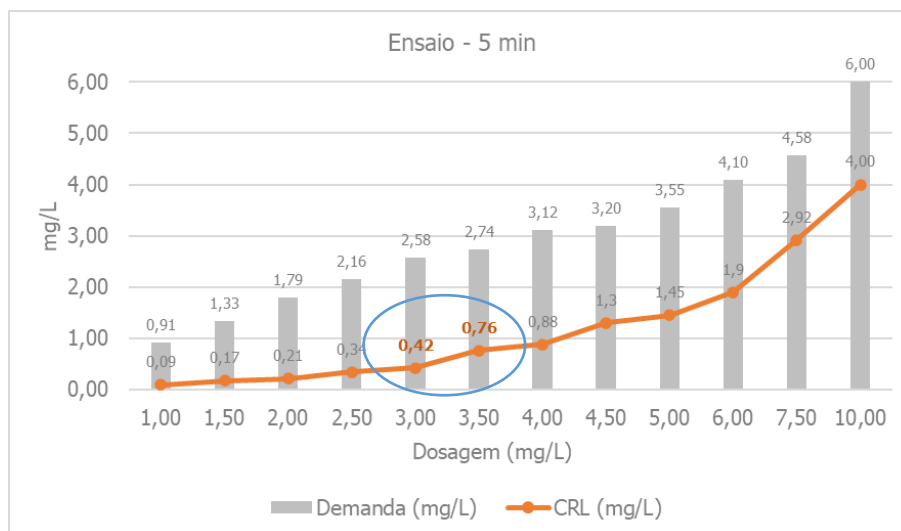


Figura 7.2 – Comparação da demanda e CRL (mg/L) em função das dosagens (mg/L) - 5 minutos

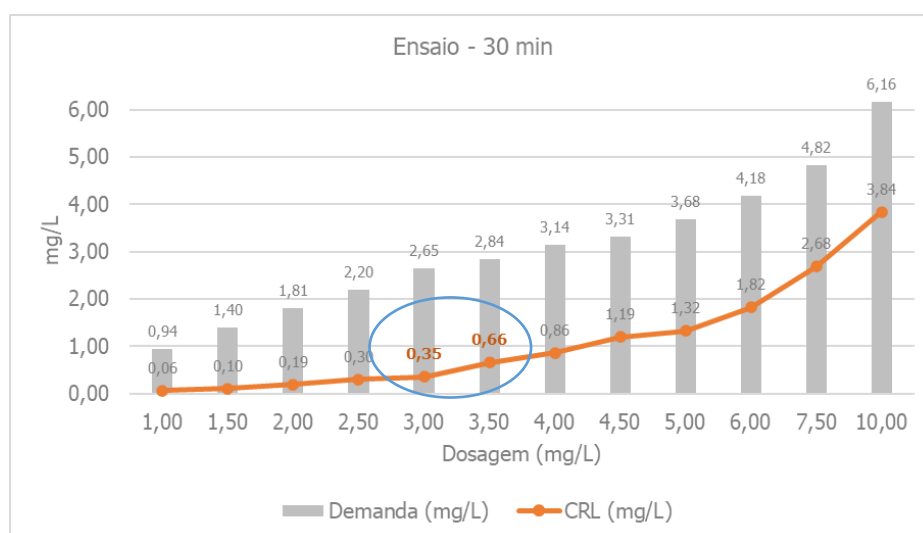


Figura 7.3 – Comparação da demanda e CRL (mg/L) em função das dosagens (mg/L) - 30 minutos

Para este ensaio, verifica-se que o CRL “sobra”, a partir da dosagem de 3,50 mg/L, visto que entre as dosagens de 3,00 e 3,50 mg/L da solução pura tem valor de CLR acima do necessário para oxidação da água bruta (de 0,35 para 0,66 mg/L para tempo de contato de 30 min).

Os valores do gráfico que apresentam esse ponto estão destacados, como 0,42 mg/L e 0,76 mg/L para 5 min, e 0,35 mg/L e 0,66 mg/L para 30 min, confirmando que a **dosagem de 3,50 mg/L é ideal** para aplicação de cloro na pré-oxidação.

7.2.1.1 Dosagem escolhida

Verifica-se que para a dosagem de 3,50 mg/L para solução de cloro puro, confirma-se a relação de oxidação **adequada como dosagem máxima de 3,50 mg/L**, pois a partir desse valor de dosagem o CLR se encontra em excessividade, ultrapassando o ponto de consumo da demanda, a partir do qual o aumento de dosagem aumenta o cloro residual.

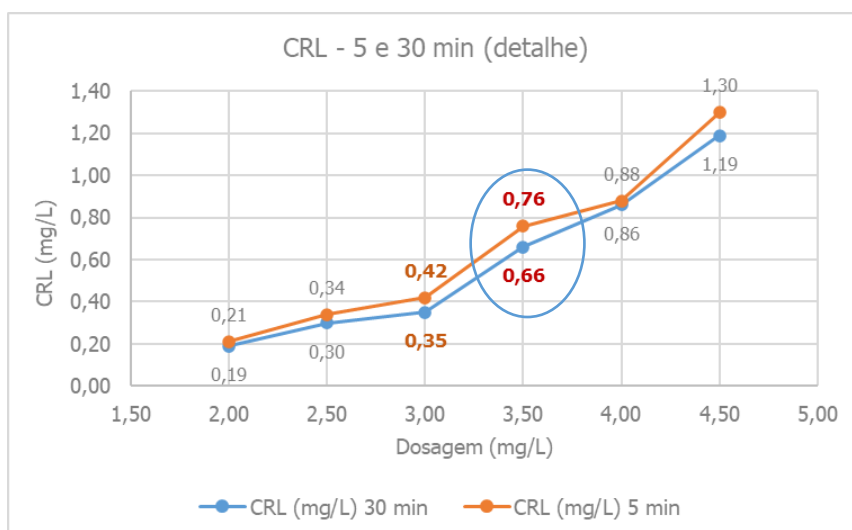


Figura 7.4 – Comparação do CLR (mg/L) em função das dosagens (mg) – 5 e 30 minutos (detalhe)

Os valores do gráfico que apresentam esse ponto são 0,42 mg/L e 0,76 mg/L para 5 min, e 0,35 mg/L e 0,66 mg/L para 30 min, confirmando que a **dosagem de 3,50 mg/L é adequada** para aplicação de cloro na pré-oxidação.

A partir da dosagem de 3,50 mg/L, todas as dosagens apresentam CLR em concentrações acima do necessário para oxidação (para tempo de contato de 5 min e 30 min).

A análise é balizada para o valor de 0,5 ppm (ou mg/L) de CLR nos testes do ensaio, em que a partir de CLR acima de 0,5 ppm o cloro da demanda já foi consumido e, a partir desta dosagem, o aumento da dosagem aumenta o residual de cloro também.

Dessa forma, **a dosagem de 3,50 mL é a mais adequada** para aplicação na etapa de pré-oxidação de tratamento da água bruta.

7.2.2 COAGULAÇÃO

A coagulação, seguida da floculação e sedimentação, são as principais etapas em uma ETA de ciclo completo e constituem o processo de clarificação da água, sendo a remoção de partículas em suspensão que não sedimentam naturalmente para posterior filtração.

Inicialmente, realiza-se a etapa de coagulação, com adição de químico, de forma que desestabiliza e neutraliza as partículas coloidais, por meio da eliminação da carga eletrostática negativa contida na superfície das partículas, reduzindo a repulsão entre elas e proporcionando maior facilidade para sua aglutinação. Esse processo ocorre com a mistura rápida, a qual promove choques entre as partículas e sua consequente agregação na etapa de floculação.

Assim, a floculação consiste na união das partículas previamente desestabilizadas em flocos. Por meio de uma mistura lenta, os flocos têm seu peso e tamanho aumentados, fator que permite sua sedimentação ao fundo do tanque pela ação das forças gravitacionais, assim que a mistura é cessada. Desta maneira, é possível realizar a separação de partículas potencialmente patológicas na água de abastecimento.

Para a análise descrita, o ensaio Jar Test foi realizado para simular as condições de uma ETA para os processos de coagulação, floculação e sedimentação, proporcionando misturas rápidas e lentas, assim como a decantação das partículas em suspensão. Desta maneira é possível realizar a análise da eficiência dos processos relacionados ao pH da água, o qual pode ser ajustado pela adição de químicos (como hidróxido de sódio), sendo aplicados diferentes concentrações de coagulante.

Desta forma, podem ser definidas as condições ideais para a máxima remoção de partículas suspensas, de acordo com as características químicas da água a ser tratada.

Os diagramas de coagulação são feitos para avaliar a remoção da turbidez e da cor aparente, por meio de Jar-test.

Foram realizados ensaios de ciclo completo para verificação das condições de coagulação utilizando Policloreto de Alumínio (PAC) como coagulante. O químico PAC é utilizado na ETA existente de Uberaba.

- Coagulante: Policloreto de Alumínio (PAC);
- Alcalinizante: Geocálcio. Tempo de mistura = 50 segundos;
- Mistura rápida: TMR = 10 s; GMR = 1000 s-1 (436 rpm);
- Mistura lenta: TML = 20 min; GML = 25s-1 (40 rpm).

Com a curva de titulação determina-se o volume de alcalinizante a ser aplicado nos jarros de Jar Test, considerando faixas de coagulante pré-estabelecidos.

Os ensaios de Jar Test demonstram como o coagulante se comporta na amostra, de forma que se pode verificar o potencial de tratabilidade da água bruta mediante processos físico-químicos.

A partir da variação de coagulante, alcalinizante, tempo de mistura e do gradiente de velocidade do agitador, pode-se acompanhar os processos de coagulação (Tempo de Mistura Rápida - TMR), de floculação (Tempo de Mistura Lenta - TML) e sedimentação. Dessa forma, pode ser avaliada a remoção de turbidez.

Tabela 7.5 – Ensaio Coagulação PAC

Jarro	Alcalinizante (mg/L)	Coagulante (mg/L)	pH	Vs1 = 2 cm/min		Vs2 = 1 cm/min	
	Geocálcio (5g/L)	PAC (10 g/L)		ts = 3,5 min		ts = 7 min	
1	-	5	7,08	48	5,40	46	5,29
2	-	10	7,06	37	6,13	35	5,73
3	-	15	6,98	23	3,26	19	2,50
4	-	20	6,96	20	2,79	14	1,91
5	-	25	6,87	26	3,87	18	2,38
6	-	30	6,82	36	5,17	31	4,88
1	2,50	5	7,10	49	6,05	48	5,86
2	2,50	10	7,08	48	6,29	47	5,31

Jarro	Alcalinizante (mg/L)	Coagulante (mg/L)	pH	Vs1 = 2 cm/min		Vs2 = 1 cm/min	
	Geocálcio (5g/L)	PAC (10 g/L)		ts = 3,5 min		ts = 7 min	
3	2,50	15	7,00	30	3,43	27	2,84
4	2,50	20	6,97	21	2,40	14	1,79
5	2,50	25	6,90	15	1,85	14	1,61
6	2,50	30	6,84	17	2,49	14	1,84
1	7,50	5	7,59	41	6,18	40	6,17
2	7,50	10	7,53	43	6,98	38	6,04
3	7,50	15	7,39	29	7,13	22	4,26
4	7,50	20	7,29	10	2,79	6	1,90
5	7,50	25	7,18	3	2,01	2	1,70
6	7,50	30	7,09	<1	1,44	<1	1,32
1	12,50	5	8,77	48,0	6,64	34,0	5,79
2	12,50	10	8,62	43,0	5,95	33,0	5,80
3	12,50	15	8,32	36,0	5,52	32,0	5,49
4	12,50	20	8,14	18,0	4,52	16,0	3,99
5	12,50	25	7,91	5,0	3,14	2,0	2,19
6	12,50	30	7,74	5,0	2,47	<1	1,79
1	10,0	5	8,38	42,0	6,38	38,0	5,39
2	10,0	10	8,14	40,0	5,55	37,0	5,35
3	10,0	15	7,89	24,0	5,13	22,0	4,19
4	10,0	20	7,65	12,0	3,27	6,0	2,53
5	10,0	25	7,51	8,0	2,16	1,0	1,57
6	10,0	30	7,47	2,0	1,50	1,0	1,22
1	5,00	5	7,40	44,0	5,73	43,0	5,68
2	5,00	10	7,37	32,0	6,27	18,0	5,19
3	5,00	15	7,29	20,0	3,87	13,0	3,37
4	5,00	20	7,20	19,0	3,20	4,0	1,97
5	5,00	25	7,08	8,0	2,21	2,0	1,63
6	5,00	30	7,01	10,0	3,09	8,0	2,64
1	8,80	5	8,00	45,0	6,19	44,0	6,07
2	8,80	10	7,86	51,0	5,91	44,0	5,89
3	8,80	15	7,71	31,0	3,90	30,0	3,38
4	8,80	20	7,47	18,0	2,96	17,0	2,15
5	8,80	25	7,31	24,0	2,95	12,0	1,55
6	8,80	30	7,19	21,0	1,92	9,0	1,26

Para o primeiro ensaio, verifica-se que o ponto ótimo se encontra na aplicação de 20 mg/L de PAC, resultando em uma remoção de turbidez com bom desempenho, anterior de 2,450 NTU (15 mg/L PAC) para 1,91 NTU (20 mg/L PAC), para ensaio sem aplicação de Geocálcio (para $V_s = 1\text{cm/min}$).

Para o segundo ensaio, verifica-se que o ponto ótimo se encontra na aplicação de 15 mg/L de PAC, resultando em uma remoção de turbidez com bom desempenho, anterior de 5,31 NTU (10 mg/L PAC) para 2,84 NTU (15 mg/L PAC), para ensaio com aplicação de Geocálcio de 2,50 mg/L (para $V_s = 1\text{cm/min}$).

Para o terceiro ensaio, verifica-se que o ponto ótimo se encontra na aplicação de 20 mg/L de PAC, resultando em uma remoção de turbidez com bom desempenho, anterior de 4,26 NTU (15 mg/L PAC) para 1,90 NTU (20 mg/L PAC), para ensaio com aplicação de Geocálcio de 7,50 mg/L (para $V_s = 1\text{cm/min}$).

Para o quarto ensaio, verifica-se que o ponto ótimo se encontra na aplicação de 25 mg/L de PAC, resultando em uma remoção de turbidez com bom desempenho, anterior de 3,99 NTU (20 mg/L PAC) para 2,19 NTU (25 mg/L PAC), para ensaio com aplicação de Geocálcio de 12,50 mg/L (para $V_s = 1\text{cm/min}$).

Para o quinto ensaio, verifica-se que o ponto ótimo se encontra na aplicação de 20 mg/L de PAC, resultando em uma remoção de turbidez com bom desempenho, anterior de 4,19 NTU (15 mg/L PAC) para 2,53 NTU (20 mg/L PAC), para ensaio com aplicação de Geocálcio de 10,00 mg/L (para $V_s = 1\text{cm/min}$).

Para o sexto ensaio, verifica-se que o ponto ótimo se encontra na aplicação de 15 mg/L de PAC, resultando em uma remoção de turbidez com bom desempenho, anterior de 5,19 NTU (10 mg/L PAC) para 3,37 NTU (15 mg/L PAC), para ensaio com aplicação de Geocálcio de 5,00 mg/L (para $V_s = 1\text{cm/min}$).

Para o sétimo ensaio, verifica-se que o ponto ótimo se encontra na aplicação de 15 mg/L de PAC, resultando em uma remoção de turbidez com bom desempenho, anterior de 5,89 NTU (10 mg/L PAC) para 3,38 NTU (15 mg/L PAC), para ensaio com aplicação de Geocálcio de 8,80 mg/L (para $V_s = 1\text{cm/min}$).

De acordo com os resultados, verifica-se que a remoção da turbidez foi mais efetiva para a aplicação de 20 mg/L de PAC, para o primeiro ensaio, sem aplicação de Geocálcio.

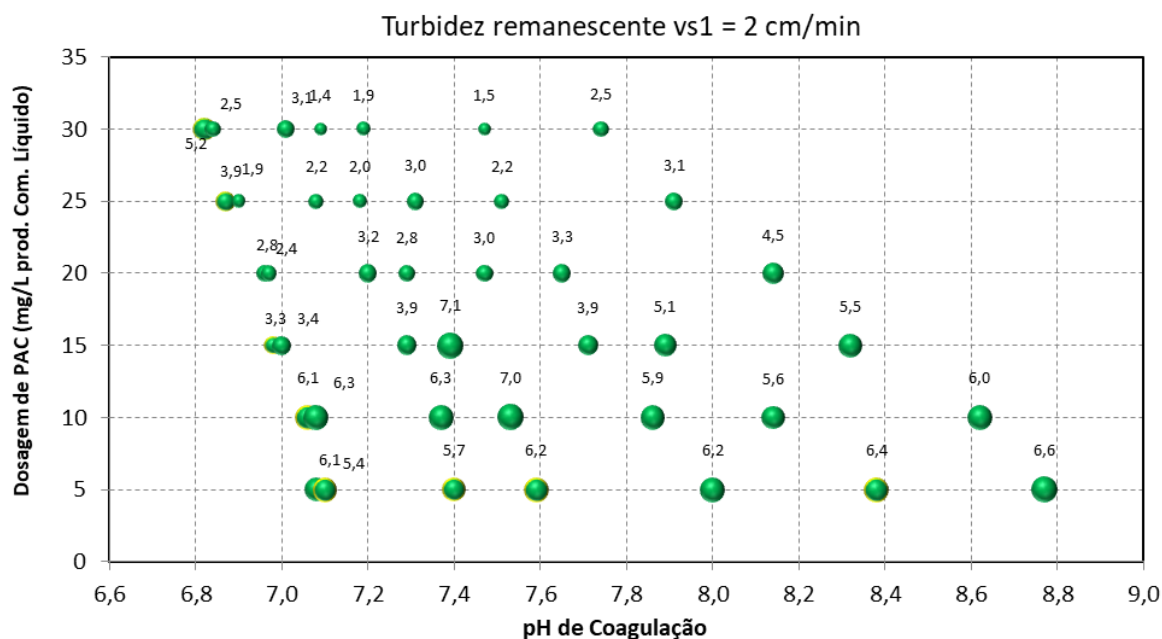


Figura 7.5 – Diagrama de coagulação – 1ª coleta (t=3,5 min)

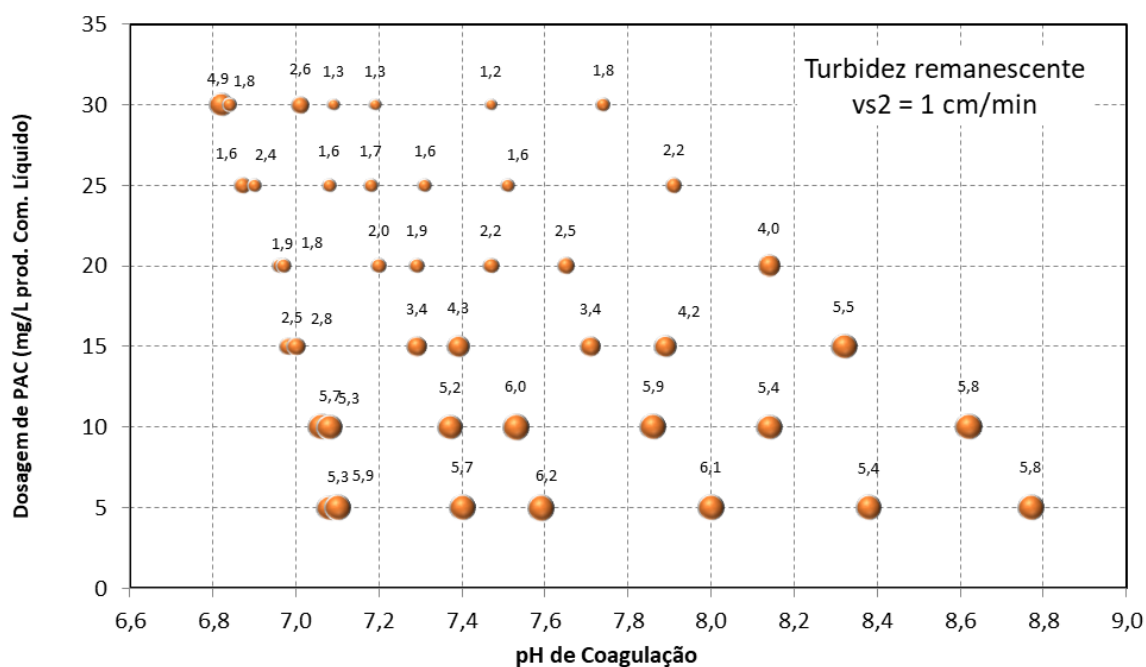


Figura 7.6 – Diagrama de coagulação – 2ª coleta (t=7 min)

7.2.1 ADSORÇÃO

Uma das técnicas de tratamento adotadas em ETAs é a adsorção a partir do uso de carvão ativado em pó (CAP), sendo este dosado antes do tratamento, sendo importante avaliar a capacidade de adsorção do CAP utilizado para que seja possível atender aos padrões de potabilidade para água estabelecidos (MÜLLER, *et al.*, 2009). Para Lima *et al.*, (2007 *apud* Biscola, 2019), o tratamento em ciclo completo seguido da adsorção em CAP apresenta resultados satisfatórios na remoção de micro contaminantes em águas contaminadas.

Dessa forma, foram realizados três ensaios para determinação do uso de carvão ativado pulverizado (CAP). O CAP aplicado foi do tipo CarboActiv K 600 Umectado, de aspecto de pó preto fino e inodoro, e em quantidade de 500 g, da empresa Brascarbo Agroindustrial Ltda.

Tabela 7.6 – Características - CAP

Análises	Lote 15
Número de Iodo	628,50 mg/g
Granulometria, Pas # 325 Mesh	91,15 %
Umidade	38,74 %
Cinzas Totais	6,31 %
pH	Alcalino
Densidade Aparente	0,40 g/cm ³

Tabela 7.7 – Resultados ensaio – adsorção

Jarro	Cloro		CAP 0,5%	Coagulante		pH	Cor (uH)	Turbidez (uT)	Cor (uH)	Turbidez (uT)
			(2 min)	(10 g/L PAC)			ts = 3,5 min		ts = 7 min	
	Dosagem (mg/L)	CRL (30 min)	CAP (mg/L)	PAC (mg/L)			Vs1 = 2 cm/min		Vs2 = 1 cm/min	
1	3,50	0,00	0	20	6,93	15	3,50	<1	3,52	
2	3,50	0,63	15	20	7,10	11	2,30	<1	1,43	
3	3,50	0,66	20	20	7,08	7	1,60	<1	1,52	
4	3,50	0,58	25	20	7,06	<1	1,90	<1	1,42	
5	3,50	0,65	30	20	7,10	<1	2,00	<1	1,56	
6	3,50	0,62	20	20	7,04	<1	1,50	<1	1,23	
(10 min)										
1	3,50	0,00	0	20	6,86	18	3,50	12,0	2,92	
2	3,50	0,60	15	20	7,01	2	1,50	1,0	1,39	
3	3,50	0,60	20	20	7,15	6	1,80	4,0	1,73	
4	3,50	0,52	25	20	7,09	<1	1,60	<1	1,28	
5	3,50	0,56	30	20	6,97	2	1,20	2,0	1,20	
6	3,50	0,62	35	20	7,01	4	1,40	3,0	1,27	

16 3412 3995

contato@projetae.com

  /projetae | www.projetae.com

São Carlos – SP, Brasil

Para a análise de aplicação e CAP, foi realizado ensaio de Jar Test com adição de cloro (pré-oxidação), e coagulante com concentrações adotadas de acordo com ensaios anteriores, sendo de 3,50 mg/L de cloro, e 20 mg/L de PAC.

De acordo com os resultados do Jar Test, para o segundo ensaio, a aplicação de **25 mg/L de CAP** (tempo de contato de 10 min) obteve melhor desempenho de tratabilidade, com resultado final de 1,28 uT de turbidez.

7.2.1 CICLO COMPLETO

O ensaio de ciclo completo é realizado para determinar os principais parâmetros e dosagens específicas para tratamento da água em análise, em que consiste a coagulação, floculação, decantação e filtração.

O ensaio foi realizado com 06 jarros de Jar-Test, sendo:

- . Jarros 1 e 2 – apenas adição de coagulante (PAC);
- . Jarros 3 e 4 – aplicação de coagulante (PAC) e cloro (pré-oxidação);
- . Jarros 5 e 6 - aplicação de coagulante (PAC), cloro (pré-oxidação) e Carvão ativado CAP (adsorção).

Tabela 7.8 – Resultados ensaio – Ciclo completo

Jarro	Cloro		CAP 0,5%	Coagulante	pH	Cor (uH)	Turbidez (uT)	Cor (uH)	Turbidez (uT)	Filtrada				
			(10 min)	(10 g/L PAC)		ts = 3,5 min		ts = 7 min						
	Dose (mg/L)	CRL (30 min)	CAP (mg/L)	PAC (mg/L)		Vs1 = 2 cm/min		Vs2 = 1 cm/min		Cor (uH)	Turbidez (uT)	COT (mg/L)	CLR (mg/L)	Alumínio (mg/L)
1	-	-	-	20	6,93	21	3,55	21	3,51	5,0	0,55	4,185	-	0,006
2	-	-	-	20	6,97	22	3,39	22	3,19	4,0	0,58	4,128	-	0,001
3	3,50	0,50	-	20	7,06	13	2,52	7	1,52	<1	0,26	4,018	0,55	0,009
4	3,50	0,54	-	20	7,06	14	2,13	8	1,42	<1	0,25	4,062	0,56	0,013
5	3,50	0,52	25	20	7,02	<1	1,38	<1	1,35	<1	0,20	3,606	0,05	0,003
6	3,50	0,66	25	20	6,99	<1	1,40	<1	1,39	<1	0,26	3,637	0,05	0,002

16 3412 3995

contato@projetae.com

  /projetae | www.projetae.com

São Carlos – SP, Brasil

Para a análise do tratamento do ciclo completo, o resultado obtido no Jarro nº 2 foi o mel, com aplicação apenas de coagulante (PAC), de concentração 20 mg/L, com resultados de pH 6,97, cor 5,0 uH e turbidez de 3,19 uT após decantação, **e turbidez final após filtração de 0,58 uT.**

Os resultados com a utilização de oxidante e adsorvente apresentaram melhora nos valores de turbidez, cor e COT, apresentando piora em relação ao alumínio residual.

Valores de COT para todas as amostras apresentaram concentrações de 3,606 a 4,185 mg/L, sendo afetados positivamente pela oxidação e adição de CAP.

A partir dos resultados, verifica-se que a tratabilidade pode ser simplificada para aplicação de apenas coagulante (PAC), na concentração de 20 mg/L, com resultados dentro dos limites de exigência para água filtrada, considerando ajustes de processo no momento de projeto da ETA. A utilização de oxidantes e adsorventes no processo podem auxiliar no atendimento a potabilidade.

Ressalta-se que os ensaios de filtração em jarrest podem estar sujeitos a efeitos secundários de contaminação referente a resíduos acumulados no meio filtrante ou de falhas referentes a hidráulica do processo como bolhas de ar ou caminhos preferenciais causados pelo mal assentamento do meio filtrante.

De acordo com a Portaria Nº 888/2021, o valor recomendado de turbidez ao final da filtração no ciclo completo deve ser de no máximo 0,5 uT, para 95% das amostras coletadas.

Frente a esse valor, o ensaio apresenta resultado acima da norma (diferença de 0,08 uT), indicando possibilidade de tratamento com aplicação apenas de PAC, com ressalvas quanto aos ajustes de processo na ETA para ser atingido valor limite de 0,5 uT.

8 CONCLUSÕES

O estudo hidrológico de rio Grande e do rio Araguari analisou as vazões, vazão outorgável, vazão outorgada e a disponibilidade hídrica para nova captação de Uberaba.

Tabela 8.1 – Disponibilidade hídrica – mananciais

Manancial	Domínio	Vazão referência	Vazão (m³/s)	Vazão outorgável (Taxa)	Vazão outorgável (m³/s)	Vazão outorgada (m³/s)	Vazão disponível (m³/s)	Vazão captação CODAU (m³/s)
Rio Grande	Federal	Q _{95%}	298,000	ANA- 70%	208,600	0,385	208,215	0,600
Rio Araguari	Estadual	Q _{7,10}	13,424	IGAM- 50%	6,712	0,215	6,500	0,600

A vazão do rio Grande é balizada pela Q_{95%}, sendo 298,00 m³/s, de domínio federal. Sua vazão outorgável é de 70% da Q_{95%}, de acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA). A vazão outorgável (208,60 m³/s) menos a vazão outorgada a montante (0,385 m³/s) resulta em uma disponibilidade de 208,215 m³/s para uso consultivo. A vazão projetada para captação da CODAU para Uberaba é de 0,600 m³/s. Considerando rio Grande, a captação representa 0,3% da vazão disponível, descontada as vazões outorgadas.

A vazão do rio Araguari é balizada pela Q_{7,10}, sendo 13,424 m³/s, de domínio estadual. Sua vazão outorgável é de 50% da Q_{7,10}, de acordo com o IGAM. A vazão outorgável (6,712 m³/s) menos a vazão outorgada a montante (0,215 m³/s) resulta em uma disponibilidade de 6,500 m³/s para uso consultivo. A vazão projetada para captação da CODAU para Uberaba é de 0,600 m³/s. Considerando rio Araguari, a captação representa 9,2% da vazão disponível, descontada as vazões outorgadas.

Apesar da disponibilidade de vazão de ambos os mananciais, tem-se o conflito pela água bastante presente na região, além da segurança da água. Corpos hídricos com presença de agricultura em seu entorno ficam vulneráveis a contaminação por químicos, como fertilizantes e defensivos, por infiltração no solo e escoamento superficial pela chuva.

Rio Grande apresenta maior segurança com relação a possibilidade de um impacto, pela maior disponibilidade hídrica e capacidade de diluição. Outro ponto relevante em relação ao rio Grande é a sua capacidade de clarificação natural da água devido as baixas velocidades de escoamento

causadas pelas barragens no manancial. A menor quantidade de sólidos na água bruta impacta diretamente na quantidade de lodo gerado na ETA (menor quantidade de massa seca de lodo gerada), possibilitando a diminuição de custos de disposição de lodo. **Assim, tem maior garantia associado a segurança da água, melhor qualidade e menor custo total de tratamento.**

Rio Grande – Tratabilidade

Com relação a tratabilidade da água bruta de rio Grande, tem-se resultados em acordo com a CONAMA Nº 357 / 2005 de todos os parâmetros para rios de Classe II, exceto ferro e sulfeto, por conta do tipo de solo e amostra com presença de efluente. Estes contaminantes são facilmente removidos com uso de pré-oxidação e demais etapas de tratamento de água, não representando riscos à água tratada. Os demais resultados de parâmetros orgânicos, inorgânicos, agrotóxicos, padrão de potabilidade (Portaria Nº 888/2021) e organismos fitoplanctônicos estão de acordo com os limites estabelecidos.

O ensaio de pré-oxidação resultou em uma concentração ideal de dosagem de cloro de 2,00 mg/L. O ensaio de coagulação apresentou dosagem ideal de 25 mg/L de PAC, sem adição de alcalinizante (Geocálcio). O ensaio de adsorção resultou em aplicação de 25 mg/L de CAP.

O ensaio de ciclo completo avaliou cenários com aplicação de apenas coagulante (PAC), PAC com cloro, e PAC, cloro e carvão ativado (CAP).

O Jarro nº3, apesar de apresentar pior resultado em relação a decantação (Vs2), obteve o melhor resultado em relação a turbidez da água filtrada, atingindo 0,85 uT. Os valores referentes a cor também foram reduzidos em relação ao Jarro nº2, sendo inferior a 1 uH.

De acordo com a Portaria Nº 888/2021, o valor recomendado de turbidez ao final da filtração no ciclo completo deve ser de no máximo 0,5 uT, para 95% das amostras coletadas. Apesar do ensaio apresentar resultado acima da norma, este indica a possibilidade de tratamento com aplicação apenas de PAC, na ETA em escala real, irá levar a atingir o valor abaixo do limite de 0,5 uT com facilidade.

Rio Araguari – Tratabilidade

Com relação a tratabilidade da água bruta do rio Araguari, tem-se resultados em acordo com a CONAMA Nº 357 / 2005 de todos os parâmetros para rios de Classe II, exceto ferro, por conta do tipo de solo. Os demais resultados de parâmetros orgânicos, inorgânicos, agrotóxicos, padrão de

potabilidade (Portaria Nº 888/2021) e organismos fitoplanctônicos estão de acordo com os limites estabelecidos.

O ensaio de pré-oxidação resultou em uma concentração ideal de dosagem de cloro de 3,50 mg/L. O ensaio de coagulação apresentou dosagem ideal de 20 mg/L de PAC, sem adição de alcalinizante (Geocálcio). O ensaio de adsorção resultou em aplicação de 25 mg/L de CAP.

O ensaio de ciclo completo avaliou cenários com aplicação de apenas coagulante (PAC), PAC com cloro, e PAC, cloro e carvão ativado (CAP).

O melhor resultado com aplicação apenas de coagulante (PAC), de concentração 20 mg/L, foi obtido no Jarro nº 2 resultando em turbidez final após filtração de 0,58 uT.

Os resultados com a utilização de oxidante e adsorvente apresentaram melhora nos valores de turbidez, cor e COT, apresentando piora em relação ao alumínio residual.

De acordo com a Portaria Nº 888/2021, o valor recomendado de turbidez ao final da filtração no ciclo completo deve ser de no máximo 0,5 uT, para 95% das amostras coletadas. Apesar do ensaio apresentar resultado acima da norma, este indica a possibilidade de tratamento com aplicação apenas de PAC, na ETA em escala real, irá levar a atingir o valor abaixo do limite de 0,5 uT com facilidade.

8.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Ambos mananciais apresentam-se como boas alternativas de fontes de água visando a produção de água potável, em termos de qualidade e de quantidade.
- De acordo com a disponibilidade hídrica, da tratabilidade, fator de diluição, segurança da água (qualidade e quantidade) e menor geração de lodo, o rio Grande apresenta melhor alternativa de captação e tratamento na nova ETA a ser construída em Uberaba.
- Ou seja, por questões de segurança da água, o rio Araguari apresenta menor fator de diluição de uma possível contaminação, correndo maior risco se comparado a rio Grande, mesmo este tendo maior exposição.
- Recomenda-se utilização de ETA com tecnologia de ciclo completo, dotada da possibilidade de tratamento avançado sazonal (em algumas épocas do ano) com pré-oxidação e adsorção, como alternativa adequada para o tratamento.

9 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Plano de Ações e Recursos Hídricos da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos – Baixo Grande (PARH – Baixo Grande)**, 2017.

Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM. **Resumo Executivo do Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Araguari**. Monte Plan Ltda, 2011.

10 RESPONSABILIDADE TÉCNICA

Adriano Gasparini Vidal

Engenheiro Ambiental
Mestre em Hidráulica e
Saneamento
CREA 5063737290 /SP
Sócio Diretor
PROJETAE Ltda.
(61) 99882-1102
adriano@projetae.com

Henrique Rossi Altero

Engenheiro Ambiental
Mestre em Hidráulica e
Saneamento
CREA 5069169110 /SP
Sócio Diretor
PROJETAE Ltda.
(16) 99731-3007
henrique@projetae.com

Paulo Eduardo Nogueira Voltan

Engenheiro Civil
Doutor em Hidráulica e
Saneamento
CREA 5062066120 /SP
Sócio Diretor
PROJETAE Ltda.
(16) 99245-1119
paulo@projetae.com