

ESTUDO TÉCNICO PRELIMINAR ANÁLISE DE ALTERNATIVAS PARA AQUISIÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA.

1. INFORMAÇÕES GERAIS

1.1. Identificação Estudo Técnico Preliminar

Nome do Estudo: Estudo Técnico Preliminar para análise de alternativas para aquisição de produtos químicos para o tratamento de água

Área Solicitante: Coordenadoria de Estações de Tratamento de Água

1.2. Introdução

O presente documento caracteriza a primeira etapa da fase de planejamento e apresenta os devidos estudos para a contratação de solução que atenderá à necessidade abaixo especificada.

O objetivo principal é estudar detalhadamente a necessidade e identificar no mercado a melhor solução para supri-la, em observância às normas vigentes e aos princípios que regem a Administração Pública.

Neste contexto, o presente documento apresenta o estudo técnico preliminar que visa assegurar a viabilidade (técnica e econômica) da contratação pretendida e o levantamento dos elementos essenciais que servirão para compor o anteprojeto, o termo de referência ou o projeto básico a serem elaborados caso se conclua pela viabilidade da aquisição/contratação.

1.3. Objeto

Aquisição de produtos químicos para o tratamento de água.

2. DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL

2.1. *Descrição do problema ou necessidade (art. 18, § 1º - I, da Lei 14.133/2021, art. 6º, I, do Anexo II, do Decreto Municipal nº 16.996/2023)

O acesso a água e ao saneamento é um direito legal assegurado pela Constituição Federal de 1988 e, de acordo com Amaral, et al. (2003), a água para consumo humano pode ser um dos principais responsáveis pela disseminação de enfermidades diarreicas de natureza infecciosa. Isto é, a água para consumo humano deve ser segura, livre de microrganismos, substâncias químicas ou demais contaminantes. Além disto, a Lei das Águas (1997) estabelece, que em casos de escassez, o uso prioritário deve ser o consumo humano, seguido da dessedentação animal. Em sua maioria, a obtenção de água para consumo humano nas cidades brasileiras ocorre através de sistemas de abastecimento público que tratam e distribuem água potável aos munícipes.

A água pode passar por vários tipos de contaminação, tais como: esgoto, metais pesados, agrotóxicos e fertilizantes. Todos esses tipos de contaminação ocorrem principalmente como consequência do descarte inadequado dessas substâncias e por acidentes que poderiam ser evitados se fossem seguidas as regras básicas de segurança. Segundo a OMS (Organização Mundial de Saúde), cerca de 2 bilhões de pessoas no mundo consomem água contaminada por material fecal. Expostas às doenças, como: cólera, disenteria, febre tifoide e pólio, essa população corre risco fatal todos os dias.

No Samae de Jaraguá do Sul, o tratamento de água é realizado através de duas Estações de Tratamento de Água convencionais, contendo as etapas de captação de água bruta, gradeamento e desarenação, coagulação, floculação, decantação/sedimentação, filtração e casa de química (desinfecção, fluoretação, correção de pH e quelação).

O tratamento físico-químico de água refere-se a um conjunto de processos utilizados para purificar e melhorar a qualidade da água por meio da aplicação de princípios físicos e químicos. Esses métodos são empregados para remover ou transformar contaminantes presentes na água, garantindo que ela atenda a padrões de segurança e qualidade para consumo, reuso ou descarte ambiental.

Neste estudo técnico, abordaremos a dimensão química do tratamento de água. Para uma compreensão mais aprofundada das necessidades desse tratamento, é fundamental entender as funções dos diferentes produtos químicos envolvidos:

a. Coagulação:

O coagulante desempenha um papel fundamental no tratamento de água, especialmente na etapa de coagulação, que visa remover partículas finas e coloidais que tornam a água turva. Esses coagulantes são substâncias químicas adicionadas à água para promover a aglutinação de partículas minúsculas, formando flocos maiores que podem ser facilmente removidos em etapas subsequentes do tratamento.

Quando um coagulante é adicionado à água, ele reage com as partículas suspensas e coloidais, neutralizando as cargas elétricas que as mantêm em suspensão. Esse processo de neutralização permite que as partículas se unam e formem flocos maiores e mais pesados, que são então removidos por sedimentação, filtração ou flotação.

Além de clarificar a água, a coagulação também ajuda a remover contaminantes como matéria orgânica, microrganismos e sólidos em suspensão, que podem estar presentes em concentrações muito baixas e difíceis de separar por métodos físicos simples. O uso de coagulantes é crucial para aumentar a eficiência das etapas seguintes do tratamento, como a floculação e a filtração, garantindo que a água tratada atenda aos padrões de qualidade e segurança para consumo humano.

b. Auxiliar de floculação:

O auxiliar de floculação desempenha um papel crucial na etapa de floculação do tratamento de água, auxiliando na formação e crescimento dos flocos que se formam durante o processo de coagulação. Após a adição de coagulantes à água, que agem para aglutinar partículas finas e coloidais em flocos menores, os auxiliares de floculação são utilizados para melhorar a eficiência desse processo.

Esses produtos químicos são adicionados à água para ajudar os flocos a se unirem e formarem flocos maiores e mais coesos, facilitando sua remoção em etapas subsequentes do tratamento. Os auxiliares de floculação são especialmente importantes quando as partículas são muito pequenas ou quando a água contém substâncias que dificultam a formação de flocos adequados apenas com o coagulante.

Os auxiliares de floculação, também conhecidos como floculantes, funcionam por meio da formação de pontes entre os flocos, tornando-os mais pesados e promovendo sua sedimentação mais rápida e eficiente. Isso resulta em uma clarificação mais eficaz da água, reduzindo a carga de sólidos e melhorando a qualidade do efluente tratado.

No Samae de Jaraguá do Sul, o auxiliar de floculação no tratamento de água não é utilizado com frequência, sendo aplicado apenas em condições especiais da água bruta, quando a alcalinidade apresenta valores muito baixos e reduz a eficiência da aplicação do coagulante. Cabe ressaltar, que mesmo que o uso no tratamento de água seja esporádico, é necessária a aquisição do produto, pois há momentos que sem ele, o processo de floculação não acontece e, conseqüentemente, não há como tratar a água.

Outra parte importante no tratamento de água, é o tratamento dos resíduos gerados no processo, conjuntamente denominados de “Lodo de ETA”. Esses materiais são destinados a um sistema de tratamento específico que também é composto por um conjunto de princípios físicos e químicos. Sendo o auxiliar de floculação, o único produto químico aplicado para possibilitar a aglutinação do lodo e tratamento em prensa.

c. Pré-oxidação e inter-oxidação

A pré-oxidação e a inter-oxidação são processos essenciais no tratamento de água, especialmente quando se busca a remoção eficiente de ferro e manganês, que são contaminantes comuns no manancial de água bruta da Autarquia. Esses processos envolvem a adição de agentes oxidantes para transformar essas substâncias em formas que podem ser facilmente removidas durante o tratamento.

A pré-oxidação é a etapa inicial onde um agente oxidante, como cloro, permanganato de potássio ou ozônio, é adicionado à água bruta antes da aplicação de outros processos de tratamento. O objetivo da pré-oxidação é converter o ferro e o manganês dissolvidos, que estão na forma de íons solúveis, em formas sólidas ou particuladas. O ferro, por exemplo, é oxidado de Fe^{2+} para Fe^{3+} , formando óxidos de ferro que são insolúveis em água. O manganês é oxidado de Mn^{2+} para Mn^{4+} , formando precipitados de óxidos de manganês. Essas reações transformam os metais em partículas sólidas que podem ser mais facilmente removidas em etapas subsequentes, como a filtração.

Já a inter-oxidação, por outro lado, refere-se ao processo de oxidação que ocorre durante a fase de tratamento contínuo, muitas vezes em combinação com outros métodos como a floculação ou sedimentação.

Nesta fase, o processo de oxidação continua a converter qualquer ferro e manganês que não foram totalmente removidos na pré-oxidação.

No manancial de água bruta que abastece a ETA Central, a presença de ferro e manganês requer uma abordagem eficaz para a sua remoção. Esses processos ajudam a assegurar que a água tratada esteja livre de contaminantes metálicos, melhorando não apenas a qualidade estética da água, mas também prevenindo problemas que poderiam afetar o desempenho de outros equipamentos e processos no sistema de abastecimento. Embora esses metais estejam em concentrações atóxicas, eles causam incrustações nas redes de distribuição de água e durante consertos após vazamentos, podem se desprender e causar o fenômeno da água suja.

d. Adsorção

A adsorção é um processo fundamental no tratamento de água, utilizado para remover contaminantes orgânicos e inorgânicos por meio da aplicação de soluções de carvão ativado em pó ou outro adsorvente. Este método é especialmente eficaz na eliminação de substâncias que causam odor, sabor e cor indesejados, bem como na redução de compostos químicos prejudiciais à saúde.

O carvão ativado em pó é um material altamente poroso que possui uma vasta área superficial, o que o torna ideal para o processo de adsorção. Quando adicionado à água, o carvão ativado em pó interage com os contaminantes presentes, adsorvendo-os em sua superfície por meio de forças físicas e químicas. Esse processo é diferente da absorção, pois os contaminantes aderem à superfície do carvão ativado sem serem incorporados no seu interior.

A aplicação de carvão ativado em pó geralmente ocorre em um estágio intermediário do tratamento de água, após a coagulação e floculação, mas antes da filtração. O carvão ativado é misturado com a água bruta, permitindo que os contaminantes se liguem às superfícies porosas do carvão. Após um período de contato adequado, a água é então passada por sistemas de filtração que removem o carvão ativado, juntamente com os contaminantes adsorvidos.

Entre as vantagens da adsorção com carvão ativado em pó estão a sua capacidade de tratar uma ampla gama de poluentes, a eficiência na remoção de compostos que não são facilmente removidos por outros métodos e a melhoria na qualidade sensorial da água. No entanto, a eficiência do processo depende de fatores como a dose de carvão ativado, o tempo de contato e as características específicas dos contaminantes presentes na água.

Em resumo, a adsorção utilizando carvão ativado em pó é uma técnica eficaz para melhorar a qualidade da água, removendo uma variedade de contaminantes e contribuindo para a produção de água potável com padrões elevados de pureza e segurança.

e. Correção de pH

No tratamento de água, a correção do pH é uma etapa crucial para garantir a eficácia dos processos de purificação e a qualidade da água potável. O pH é uma medida que indica a acidez ou alcalinidade da água, variando de 0 a 14, sendo 7 o valor neutro. Valores abaixo de 7 indicam que a água é ácida, enquanto valores acima de 7 indicam que é alcalina. Manter o pH dentro da faixa ideal é essencial para o bom funcionamento dos processos de tratamento, como coagulação, floculação e desinfecção.

O processo de correção do pH começa com a medição precisa do pH da água, utilizando instrumentos apropriados. Com base nessa medição, são escolhidos e aplicados produtos químicos para ajustar o pH. Para aumentar o pH, são utilizados produtos como hidróxido de sódio ou carbonato de sódio, que tornam a água mais alcalina. Para reduzir o pH, ácidos como ácido clorídrico ou ácido sulfúrico são usados para tornar a água mais ácida.

No Samae de Jaraguá do Sul, a correção do pH da água tratada na ETA Central é necessária principalmente após fortes chuvas, que podem fazer com que o pH da água bruta caia para valores abaixo de 5,0. Após esses eventos, a correção do pH é realizada para manter o valor da água tratada próximo à neutralidade.

f. Fluoretação

A fluoretação da água é um processo regulamentado por legislação em muitos países, incluindo o Brasil, com o objetivo de prevenir a cárie dentária na população. A adição de flúor à água de abastecimento público é uma medida de saúde pública amplamente reconhecida e adotada por sua eficácia na redução da incidência de cáries, especialmente em crianças.

Conforme a legislação brasileira, a fluoretação da água é obrigatória para sistemas públicos de abastecimento que atendam populações superiores a 10 mil habitantes. A Portaria do Ministério da Saúde nº 888/2021 estabelece os parâmetros de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, incluindo a concentração de flúor. No Estado de Santa Catarina, a Portaria 421/2016, determina que a concentração de flúor na água deve estar entre 0,7 a 1,0 mg/L.

A adição de flúor à água é cuidadosamente monitorada para garantir que as concentrações estejam dentro dos limites estabelecidos, proporcionando os benefícios à saúde dental sem causar efeitos adversos. Os operadores das estações de tratamento de água realizam ajustes precisos na dosagem de flúor e utilizam equipamentos de medição e controle para manter os níveis apropriados.

g. Desinfecção

A desinfecção da água é um processo crucial que visa eliminar ou inativar microrganismos patogênicos, garantindo a potabilidade da água. Para manter a qualidade da água ao longo da rede de distribuição, é essencial manter um nível de cloro residual. Este cloro residual atua como uma proteção contínua contra recontaminação, assegurando que a água permaneça segura até chegar aos consumidores. A manutenção de cloro residual é monitorada regularmente para garantir que os níveis estejam dentro dos padrões de segurança, proporcionando uma barreira adicional contra possíveis fontes de contaminação ao longo do sistema de distribuição.

Existem vários produtos disponíveis para a desinfecção da água, incluindo cloro, dióxido de cloro, ozônio e radiação ultravioleta (UV). Entre esses, o cloro é o mais amplamente utilizado devido à sua eficácia, disponibilidade e capacidade de manter um residual desinfetante na rede de distribuição. Na Autarquia de Jaraguá do Sul, utiliza-se o cloro para a desinfecção devido à sua confiabilidade e eficiência comprovadas. Para a aplicação de qualquer outro produto, seria necessário realizar estudos aprofundados para avaliar a viabilidade, eficácia e impacto na rede de distribuição, garantindo que atendam às necessidades específicas do sistema de abastecimento local.

Na ETA Central atualmente é utilizado cloro gás para realização da desinfecção e manutenção de cloro residual na rede de distribuição. O cloro gasoso é amplamente utilizado no tratamento de água devido à sua eficácia e versatilidade. Ele é um desinfetante altamente eficaz que elimina uma ampla gama de microrganismos patogênicos, incluindo bactérias, vírus e protozoários, e também atua como agente oxidante, removendo contaminantes orgânicos e inorgânicos, como ferro e manganês. Sua alta concentração permite um controle preciso da dosagem, o que é crucial para ajustar a quantidade de cloro de acordo com as necessidades específicas do sistema de tratamento e manter os níveis de cloro residual dentro dos padrões de segurança. Além disso, o cloro gasoso pode ser mais econômico em grandes sistemas de abastecimento de água, devido ao seu alto poder desinfetante e forma concentrada.

Na ETA Sul, utiliza-se o hipoclorito de sódio gerado no local para a desinfecção da água. Para a produção deste hipoclorito, é necessário adquirir cloreto de sódio (sal), que é a matéria-prima essencial para o processo. A Autarquia mantém um contrato com uma empresa que fornece o gerador de cloro por meio de locação. Além da locação do equipamento, é imprescindível a compra contínua de sal para garantir a produção ininterrupta de hipoclorito de sódio e, assim, assegurar a desinfecção eficaz da água tratada.

O hipoclorito de sódio gerado in loco é uma solução de cloro produzida diretamente no local de tratamento de água, por meio de um processo eletrolítico. Esse método envolve a eletrólise de uma solução de cloreto de sódio (sal comum), resultando na produção de hipoclorito de sódio e gás cloro. Em um estudo técnico elaborado anteriormente, foi demonstrada a viabilidade técnica e financeira da aplicação desta metodologia de desinfecção na ETA Sul.

Para garantir a precaução e a manutenção contínua das duas estações de tratamento de água (ETAs), a Autarquia mantém um estoque de hipoclorito comercial com concentração de 10 a 12%. Esse estoque é utilizado em situações de manutenção ou eventuais falhas no sistema de cloro gasoso ou nos equipamentos do gerador de cloro da ETA Sul. Dessa forma, a Autarquia evita interrupções no tratamento da água devido à falta de produto para desinfecção.

Além das duas principais estações de tratamento de água, o Samae de Jaraguá do Sul opera um sistema de tratamento isolado em uma comunidade rural distante das ETA's. Este sistema utiliza filtração lenta seguida de desinfecção. Devido à sua dimensão e ao método de aplicação do cloro, são empregadas pastilhas de hipoclorito de cálcio em tabletes. Essas pastilhas são escolhidas por sua praticidade, facilidade de manuseio e controle eficiente do residual de cloro na rede.

h. Quelação

A quelação no tratamento de água é um processo químico utilizado para remover íons metálicos indesejáveis, como ferro e manganês, que podem causar manchas e sabor indesejável na água. A quelação envolve a adição de agentes quelantes, substâncias que se ligam a esses íons metálicos, formando complexos solúveis que podem ser facilmente removidos. Esse processo é especialmente útil em sistemas de abastecimento de água onde há presença elevada desses metais, garantindo uma água mais limpa e segura para o consumo.

A quelação complementa a realização dos processos de pré-oxidação e inter-oxidação no tratamento de água. Ao se ligar aos íons metálicos remanescentes, complementa esses processos, garantindo a eliminação eficaz de contaminantes e melhorando a qualidade da água tratada. Reduzindo problemas com incrustações nas redes de distribuição e problemas com o fenômeno da água suja.

Cabe enfatizar que as concentrações encontradas de ferro e manganês na água bruta da ETA Central não são suficientes para causar riscos à saúde, entretanto, devido a ocasionarem incrustações nas redes de distribuição, durante manutenções, ocasionam o carregamento destes materiais às residências abastecidas.

i. Limpeza gerais

Nas Estações de Tratamento de Água, são realizadas operações de limpeza periódicas para garantir a eficiência dos processos. Em algumas dessas limpezas, produtos químicos são utilizados tanto para aumentar a eficiência quanto para promover a desinfecção das paredes e equipamentos.

Em muitos casos, é aplicado hipoclorito de sódio comercial com 12% de concentração, devido ao seu alto potencial de limpeza e desinfecção. No entanto, nos filtros da ETA Central, a pintura interna exige um método de limpeza específico. Nesses filtros, a forma para limpar as paredes é utilizando uma solução de ácido fosfórico alimentício.

j. Produtos Químicos Aplicados em Cada ETA

A aplicação de produtos químicos no tratamento de água varia de acordo com as condições específicas de cada manancial de abastecimento. No Samae de Jaraguá do Sul, a ETA Central capta água do Rio Itapocú, um manancial maior que nasce em outra cidade e possui maior influência antrópica. Devido a essas características, a água do Rio Itapocú frequentemente apresenta um maior nível de contaminação e poluição, exigindo a utilização de uma quantidade maior de produtos químicos durante o tratamento para garantir a qualidade da água potável.

Em contraste, a ETA Sul capta água do Rio Jaraguá, cuja captação está mais próxima de sua nascente. O Rio Jaraguá possui uma qualidade de água superior devido à menor influência de atividades humanas e à proximidade com sua fonte. Como resultado, a água do Rio Jaraguá requer menos produtos químicos para o tratamento, já que a sua qualidade inicial reduz a necessidade de intervenções químicas extensivas para garantir a potabilidade.

Essa diferença na aplicação de produtos químicos reflete a necessidade de adaptar os processos de tratamento às condições específicas de cada manancial, garantindo a eficácia e a eficiência no fornecimento de água potável.

Na tabela abaixo é possível visualizar os produtos químicos adquiridos atualmente, sua função no tratamento de água e a estação que utiliza.

Tabela 1 - Lista de Produtos Químicos Aplicados Atualmente nas ETA's

Informação sobre o produto químico		Local de aplicação/uso			
Produto Químico	Função	ETA Central	ETA Sul	SI Santo Estevão	Tratamento de Lodo
Cloreto de Polialumínio - PAC	Coagulação	Sim	Sim	Não	Não
Polímero não iônico	Auxiliar de floculação	Sim	Não	Não	Sim
Cloro gás	Pré-oxidação, inter-oxidação e desinfecção	Sim	Não	Não	Não
Carvão ativado em pó (solução)	Adsorção	Sim	Não	Não	Não

Ortopolifosfato de sódio alimentício	Quelação	Sim	Não	Não	Não
Ácido Fluossilícico	Fluoretação	Sim	Sim	Não	Não
Hidróxido de Cálcio	Correção de pH	Sim	Não	Não	Não
Cloreto de sódio (sal)	Geração de hipoclorito de sódio in loco	Não	Sim	Não	Não
Hipoclorito de cálcio em tabletes	Desinfecção	Não	Não	Sim	Não
Hipoclorito de Sódio Comercial 10 a 12%	Reserva para desinfecção e limpezas gerais	Sim	Sim	Sim	Não
Ácido Fosfórico	Limpezas gerais	Sim	Não	Não	Não

k. Consideração gerais (problemática)

Como demonstrado anteriormente, o tratamento de água combina princípios físicos e a aplicação de produtos químicos com diferentes funções para garantir que a água esteja adequada para o consumo humano. A aquisição desses produtos químicos é, portanto, essencial para o processo.

Cada etapa do tratamento de água requer tipos específicos de produtos químicos, que são selecionados com base em várias variáveis. Além da capacidade das estações de tratamento, o espaço disponível para armazenamento, a eficiência desejada e o manuseio dos produtos, a qualidade da água bruta também desempenha um papel crucial. A composição e as características da água bruta influenciam a escolha dos produtos químicos, pois diferentes fontes de água podem apresentar níveis variados de contaminantes e impurezas que exigem tratamentos específicos.

A Autarquia já utiliza diversos produtos químicos nas suas estações, os quais foram estudados e testados ao longo do tempo, comprovando sua eficiência. Para qualquer substituição ou adição de novos produtos químicos, é necessário realizar estudos detalhados para verificar a eficácia e o comportamento desses produtos nos processos de tratamento. Este estudo técnico visa avaliar a viabilidade da aquisição de cada produto, considerar a possibilidade de substituição por alternativas e determinar o melhor custo-benefício entre manter os produtos atuais ou optar por novos, levando em conta a teoria, a aplicação prática, a qualidade da água bruta e a disponibilidade de estruturas de armazenamento e dosagem.

2.2. Alinhamento entre a Contratação e o Planejamento da Administração (art. 11, Parágrafo Único, da Lei 14.133/2021, art. 6º, XIII, Anexo II, do Decreto Municipal nº 16.996/2023)

Conforme Plano Anual de Contratações do Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Jaraguá do Sul, o processo de contratação de referente a este estudo deverá acontecer no mês de setembro de cada ano.

3. PROSPECÇÃO DE SOLUÇÕES

Este item do Estudo Técnico tem a finalidade de apresentar diferentes propostas de soluções para atender as demandas em questão. Considerando o que foi mencionado na “descrição do problema ou necessidade”

a. Levantamento de mercado, que consiste na análise das alternativas possíveis, e justificativa técnica e econômica da escolha do tipo de solução a contratar (art. 6º, III, Anexo II, do Decreto Municipal nº 16.996/2023).

Foi realizado levantamento de mercado para analisar diferentes soluções para cada um dos produtos químicos utilizados no tratamento de água, as quais serão apresentadas no quadro abaixo. Cabe enfatizar que a análise econômica de cada produto é quantificada em quilogramas, unidade na qual são fornecidos e adquiridos pela Autarquia.

1. COAGULAÇÃO

A coagulação da água é um processo de tratamento utilizado para remover partículas suspensas e coloidais que não podem ser eliminadas por sedimentação simples. Durante a coagulação, produtos químicos coagulantes, como sulfato de alumínio ou cloreto férrico, são adicionados à água, promovendo a aglomeração das partículas finas em flocos maiores e mais densos, que podem ser facilmente removidos por sedimentação e filtração subsequentes. Este processo é essencial para melhorar a clareza da água e reduzir contaminantes antes da desinfecção final, garantindo água potável segura e limpa.

Existem diferentes produtos químicos, também conhecidos como coagulantes, que podem ser aplicados no tratamento de água para realização da coagulação. Em pesquisa realizada na bibliografia disponível sobre o assunto, verificou-se que os coagulantes mais comumente aplicados são: sulfato de alumínio, policloreto de alumínio, cloreto férrico e coagulantes naturais.

Antes de realizar a abordagem de cada um destes produtos e determinar qual deles atende melhor a demanda da Autarquia, é necessário compreender algumas peculiaridades visualizadas na água bruta captada pelo Samae de Jaraguá do Sul, que implicarão diretamente na escolha do melhor coagulante.

A alcalinidade e a turbidez são fatores críticos no processo de floculação da água. A alcalinidade afeta a eficácia dos coagulantes e a estabilidade do pH durante a coagulação, sendo necessária para manter o pH na faixa ideal. Já a turbidez, que indica a presença de partículas suspensas, determina a quantidade de coagulantes necessários. Alta turbidez requer mais coagulantes para formar flocos grandes o suficiente para serem removidos. Portanto, controlar e ajustar ambos os fatores são essenciais para uma floculação eficaz no tratamento de água. Considerando que ambos os rios que abastecem as ETA's do Samae de Jaraguá do Sul possuem características, especialmente em períodos de chuvas, que reduzem sua alcalinidade, é necessário o uso de produtos químicos que não causem grande influência nessas condições.

Considerando tais condições, os próximos itens abordarão cada uma das soluções possíveis de produtos químicos para realização da coagulação:

1.1. Sulfato de Alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)

Também conhecido como alúmen, é um dos coagulantes mais comuns e eficazes. Ele reage com as impurezas na água, formando flocos que podem ser facilmente removidos por sedimentação ou filtração.

Quando o sulfato de alumínio é adicionado à água, ele se dissocia em íons de alumínio (Al^{3+}) e íons de sulfato (SO_4^{2-}). Os íons de alumínio reagem com as impurezas presentes na água, formando flocos que agregam as partículas suspensas. O sulfato de alumínio é altamente eficaz na remoção de partículas coloidais, como argila, matéria orgânica e substâncias dissolvidas na água. Ele ajuda a aglutinar essas partículas para formar flocos maiores, que podem ser facilmente removidos por processos de sedimentação e filtração. Este coagulante é eficaz em uma ampla faixa de pH, tornando-o adequado para tratamento de água em uma variedade de condições. No entanto, o pH ótimo para coagulação com sulfato de alumínio geralmente varia entre 5,5 e 7,5. A dosagem adequada de sulfato de alumínio depende da qualidade da água a ser tratada, da concentração de impurezas e das características do processo de tratamento. Geralmente, a dosagem é determinada por meio de testes de jarra ou ensaios de coagulação em escala piloto.

O sulfato de alumínio é considerado seguro quando usado conforme as diretrizes de dosagem recomendadas. No entanto, é importante seguir as regulamentações locais e nacionais para o uso de produtos químicos no tratamento de água potável. Após o tratamento, é importante garantir a remoção adequada dos resíduos de sulfato de alumínio para evitar a contaminação ambiental. Os flocos formados durante o processo de coagulação devem ser adequadamente tratados e dispostos de acordo com as regulamentações ambientais.

Em relação as vantagens do sulfato de alumínio, destacam-se a eficiência de remoção, baixo custo, segurança na aplicação quando utilizado corretamente e a ampla aplicação em ETA's. No entanto, quando dosado em excesso pode ocasionar danos a qualidade da água, implicando diretamente na saúde dos consumidores, além de alterar condições organolépticas como sabor e odor. Destaca-se ainda como aspecto negativo, a dificuldade de remoção deste produto do lodo gerado durante o tratamento. Cabe ressaltar, que há a necessidade de tratamento do lodo gerado e encaminhamento dos resíduos sólidos para aterro sanitário ou industrial.

Cabe enfatizar que este produto é fornecido em sua forma sólida/granulada, para preparo de solução in loco e de maneira diluída/líquida. Considerando que atualmente não existe um local adequado para preparo do produto, a aquisição do produto de forma mais concentrada no estado sólido é descartada.

1.2. Policloreto de Alumínio - PAC

O policloreto de alumínio é uma substância líquida de cor marrom, viscosa e com um odor característico. É um coagulante/floculante altamente básico, fundamental para o tratamento eficaz de águas e efluentes. Este composto é um polímero inorgânico catiônico pré-polimerizado de elevado peso molecular, reconhecido por sua eficácia na aglomeração

de partículas e no aumento da taxa de decantação no tratamento de água, contribuindo assim para a redução dos custos operacionais. Além disso, o policloreto de alumínio é encontrado no mercado sob diferentes denominações, tais como cloreto de polialumínio, policloreto de alumínio ou cloreto básico de alumínio. Comercialmente, é conhecido como PAC e disponibilizado em várias concentrações, como PAC23 (23%), PAC18 (18%), PAC15 (15%), PAC12 (12%) e PAC10 (10%).

O PAC é o coagulante aplicado atualmente em ambas as duas ETA's do SAMAE de Jaraguá do Sul, é utilizado o PAC de 10 a 12% e de alta basicidade, considerada as condições de alcalinidade e pH da água bruta.

Os destaques da aplicação do PAC (policloreto de alumínio) no tratamento de água incluem sua eficiência nos processos de coagulação, floculação e decantação subsequente; maior capacidade de reduzir a turbidez em comparação com outros coagulantes; disponibilidade em uma variedade de formulações, incluindo alta e baixa basicidade; e menores impactos ambientais, devido à pequena liberação de alumínio residual. No entanto, uma desvantagem significativa é a sua toxicidade durante o manuseio, pois o PAC é um produto corrosivo e ligeiramente ácido que pode causar irritação nos olhos, na pele, na garganta e no trato respiratório. Portanto, é crucial tomar cuidados apropriados durante o manuseio, transporte e armazenamento do produto.

Cabe reforçar que atualmente a Autarquia utiliza o PAC 10 a 12%, de alta basicidade, para realização das etapas de coagulação nas suas duas ETA's e, conseqüentemente, todas os equipamentos de dosagem e armazenamento estão dimensionados e ajustados para aplicação deste produto. Dessa forma, caso ocorra uma troca do coagulante utilizado, poderá haver também alterações nos sistemas mencionados.

1.3. Cloreto Férrico

O cloreto férrico é um composto líquido de tonalidade castanha, caracterizado por sua natureza ácida e alta solubilidade em água. Além do nome cloreto férrico, ele é conhecido no mercado por outros termos sinônimos, tais como cloreto de ferro III, percloro de ferro e tricloreto férrico. Sua composição molecular é representada pela fórmula FeCl_3 , indicando a presença dos elementos ferro (Fe) e cloro (Cl).

Quando comparado ao PAC e ao sulfato de alumínio, o cloreto férrico destaca-se por sua alta adaptabilidade, atuando em uma ampla faixa de pH (4 a 11), e por acelerar a velocidade de sedimentação ao permitir a formação de flocos grandes, rígidos e pesados. No entanto, apresenta um maior custo de aquisição, não é compatível com alguns outros produtos químicos utilizados na água e possui menor eficiência na remoção da turbidez.

É importante ressaltar que a água bruta captada no Rio Itapocú possui ferro e manganês, que, mesmo em concentrações baixas e atóxicas, podem causar incrustações nas tubulações e problemas com água suja após manutenções nas redes de distribuição de água tratada. E o uso de um produto a base de ferro poderia intensificar tal situação.

A literatura indica uma maior aplicação do Cloreto Férrico no tratamento de esgoto doméstico.

1.4. Coagulantes Naturais

Além dos coagulantes químicos sintéticos, atualmente o mercado oferece a opção de produtos naturais. Os coagulantes naturais são substâncias provenientes de fontes orgânicas que podem ser utilizadas para promover a coagulação de partículas na água durante o tratamento. Diferentemente dos coagulantes sintéticos, como o sulfato de alumínio e o cloreto férrico, os coagulantes naturais são derivados de plantas, minerais ou outros materiais naturais.

Três tipos de coagulantes naturais que vem sendo utilizado em algumas ETA's são:

- **Quitosana:** é um composto obtido a partir da quitina, um polímero natural conhecido. Ela é extraída das carapaças de camarões, siris, caranguejos e lagostas. E sua consistência é semelhante à celulose. Devido à sua natureza hidrofílica, a quitosana atrai a água. Além de não ser tóxica, é biodegradável e possui propriedades antibacterianas, cicatrizantes e boas características mecânicas. No tratamento de água potável, a quitosana é utilizada como um polieletrólito catiônico, contribuindo para a coagulação de substâncias coloidais presentes na água. Também pode desempenhar um papel auxiliar no processo, reduzindo a necessidade de coagulantes químicos. Uma vantagem adicional da quitosana é a baixa produção de lodo, semelhante à maioria dos coagulantes naturais. O lodo gerado é biodegradável e não contém metais, o que permite seu descarte em aterros sanitários convencionais;

- **Tanino:** é um composto obtido a partir da casca da acácia negra, uma espécie de árvore. Os subprodutos derivados da tanina podem ser encontrados na forma líquida ou em pó. Sua forma líquida é a mais comumente utilizada, apresentando uma aparência similar ao xarope. E é caracterizado por ser escuro, viscoso, possuir pH ácido e propriedades catiônicas. O tanino desempenha um papel importante como agente coagulante, proporcionando diversos benefícios.

- **Moringa:** é uma planta originária do norte da Índia, mas hoje em dia é cultivada em várias regiões tropicais ao redor do mundo. Essa árvore cresce rapidamente e pode atingir até 4 metros em seu primeiro ano de vida. No Brasil, a cultura da moringa é difundida principalmente no Nordeste, devido aos benefícios que a árvore traz para o tratamento de água doméstica. Além disso, a moringa é um coagulante natural eficaz na coagulação de partículas sólidas em suspensão. O tratamento de água com moringa não apresenta efeitos negativos na saúde humana. Na verdade, as sementes dessa planta já são utilizadas na nossa alimentação.

Embora os coagulantes naturais tenham comprovada capacidade para remoção de turbidez e sejam eficientes, eles ainda são pouco utilizados e mais difíceis de adquirir, além de geralmente apresentarem um custo superior em comparação aos coagulantes sintéticos. Entre os principais benefícios desses coagulantes estão a não geração de resíduos tóxicos e a simplificação do tratamento do lodo nas estações que os utilizam.

No entanto, um desafio significativo é a aplicação de pré-cloração nas Estações de Tratamento de Água (ETA), que envolve o uso de cloro para a pré-oxidação de matéria orgânica e metais como ferro e manganês. Como os coagulantes naturais são produzidos a partir de matéria orgânica, o cloro pode consumir esses coagulantes antes que eles tenham a chance de agir efetivamente, impactando negativamente o processo de coagulação.

1.5. Comparação entre os coagulantes

Como observado, existem diversos tipos de coagulantes que podem ser utilizados no tratamento de água, e a escolha entre eles depende da qualidade da água bruta dos mananciais e da disponibilidade de equipamentos para armazenamento e dosagem. É fundamental realizar testes preliminares para verificar a eficiência e a aplicabilidade de qualquer coagulante, além de determinar as dosagens corretas.

Embora os coagulantes naturais sejam eficientes, não há registros de sua aplicação em escala semelhante às Estações de Tratamento de Água (ETA) do Samae, nem de seu uso simultâneo com pré-cloração. Portanto, no momento, a aquisição desses produtos está descartada, mas não se exclui a possibilidade de futuros estudos técnicos para testar coagulantes naturais.

Em relação aos coagulantes sintéticos, o sulfato de alumínio foi utilizado no passado nas ETA's do Samae, enquanto atualmente é aplicado o PAC, e o cloreto férrico é usado em uma das estações de tratamento de esgoto. A substituição do sulfato de alumínio pelo PAC ocorreu devido à observação de melhores resultados com o PAC, especialmente pela opção de adquirir o produto com alta basicidade. Embora o sulfato de alumínio seja mais barato por quilograma, estudos indicam que o PAC pode oferecer maior eficiência na dosagem, resultando em economia total mais vantajosa.

Atualmente, todas as instalações do Samae em Jaraguá do Sul estão projetadas para o uso de cloreto de polialumínio, que tem demonstrado grande eficiência no tratamento de água. Portanto, a solução técnica e financeiramente mais vantajosa é manter o uso do cloreto de polialumínio.

2. ADSORÇÃO DE SUBSTÂNCIA QUE CAUSAM SABOR E ODOR

Promover a adsorção no tratamento de água é essencial para remover uma variedade de contaminantes e melhorar sua qualidade. A adsorção é utilizada para eliminar compostos orgânicos que causam gosto e odor desagradáveis, como compostos fenólicos. Além disso, é eficaz na remoção de produtos químicos tóxicos, incluindo pesticidas e herbicidas, e na eliminação de micropoluentes emergentes, como produtos farmacêuticos e hormônios. A adsorção também ajuda a reduzir substâncias naturais, como ácidos húmicos e fúlvicos, que podem levar à formação de trihalometanos durante a cloração da água.

No Rio Itapocú, manancial que abastece a ETA Central do Samae de Jaraguá do Sul, é comum encontrar substâncias que, embora não sejam tóxicas, alteram as propriedades de sabor e odor da água, tornando necessária sua remoção. Essas substâncias não são removidas pelos processos normais de coagulação, floculação e decantação, exigindo a adição de um produto químico capaz de realizar a adsorção dessas substâncias. Esses produtos, ao serem adicionados, possuem peso e sedimentam nos decantadores, facilitando sua remoção e garantindo a melhoria na qualidade da água tratada.

Os agentes de adsorção mais utilizados são o carvão ativado, zeólita e biocarvão. Nos próximos itens serão analisados cada um deles, a fim de, identificar qual deles apresenta maior viabilidade de uso na Autarquia.

2.1. Carvão Ativado em Pó - CAP

O carvão ativado é um material de grande porosidade, que se origina a partir da queima de alguns tipos de madeira e trabalha de forma bastante eficiente em Estações de Tratamento de Água (ETAs), ao ter de realizar a absorção e a filtração do líquido. De origem vegetal, pode-se encontrar carvão ativado na consistência em pó, com tamanho considerável de área superficial, ou em forma de granulados. A escolha da característica ideal para a ETA é determinada pelo tipo de processo, temperatura e gastos, além de se considerar a água e seus efluentes.

As principais vantagens do uso do carvão ativado são a confiabilidade, consistência nos resultados e seu amplo uso em ETA's, além da alta eficiência na remoção de sabor e odor da água, característica comum no Rio Itapocú, que abastece a ETA Central.

2.2. Zeólita

A zeólita, por sua vez, é um mineral natural com uma estrutura porosa capaz de adsorver íons metálicos e amônia. É altamente eficaz na remoção de metais pesados, como chumbo e mercúrio, e na redução da dureza da água. A zeólita é relativamente barata, pode ser regenerada e reutilizada, o que a torna uma opção econômica e sustentável. No entanto, sua capacidade de adsorção pode ser limitada para alguns compostos orgânicos e não é tão eficaz na remoção de microrganismos quanto o carvão ativado.

Em comparação com o carvão ativado em pó, a zeólita é mais fácil de obter e adquirir. O principal empecilho para a aplicação deste produto no Samae no momento é a necessidade de realização de testes e estudos que determinem a dosagem ideal e garantam a eficiência do produto.

Considerando que, no momento, não temos dados sobre a dosagem necessária para atender à demanda da ETA Central, não é possível mensurar o custo com o produto e, conseqüentemente, determinar sua viabilidade financeira em relação ao produto já utilizado.

2.3. Biocarvão

O biocarvão, ou biochar, possui propriedades similares às do carvão ativado em pó. No entanto, ele é produzido a partir de fontes renováveis ou do aproveitamento de resíduos vegetais. Seu grande destaque é a sustentabilidade, pois não depende de recursos não-renováveis. Entretanto, pode apresentar menor consistência em comparação ao carvão ativado em pó tradicional, com sua eficácia na remoção de poluentes dependendo da biomassa utilizada em sua produção.

Durante a pesquisa, não foram encontradas ETA's que utilizassem esse material, apenas referências literárias. Assim como a zeólita, não é possível começar a utilizá-lo imediatamente, sem antes realizar testes para determinar a dosagem correta e a eficiência. Além disso, não foi possível determinar sua viabilidade financeira.

2.4. Comparação entre os produtos adsorventes

A pesquisa sobre produtos adsorventes demonstrou que existem diferentes opções no mercado para atender às demandas de adsorção de poluentes em ETA's. Entretanto, a troca de produto e a determinação da viabilidade técnica e financeira desse processo requerem um período de estudo e testes de aplicabilidade, que irão determinar as dosagens mínimas necessárias e a real eficiência de cada produto, considerando as particularidades da água bruta captada pela Autarquia.

Atualmente, o Samae já possui um local adequado para o armazenamento do carvão ativado em pó (CAP), bem como para a preparação da solução e dosagem. O produto tem se mostrado eficiente na remoção de sabor e odor ao longo dos anos, sendo esses os principais motivos para sua utilização na ETA Central.

No entanto, a equipe de operação tem levantado reclamações sobre as condições de preparo do produto. Atualmente, o CAP é adquirido em sacas de 25 kg, o que dificulta o manuseio e o despejo direto no tanque. Além disso, por ser um pó, é trabalhoso preparar a solução em porções menores, dosando-a aos poucos com uma jarra. A automação do preparo da solução de carvão é complexa devido ao espaço disponível na sala.

Para solucionar esses problemas, foram pesquisadas alternativas mais práticas no mercado, como a redução do peso das embalagens. Foram encontradas empresas que comercializam o produto em sacas de 10 kg, o que facilitaria o manuseio e o preparo da solução de carvão.

Assim, verifica-se que, tecnicamente, a alternativa de maior viabilidade para a continuidade do processo de adsorção na ETA Central é manter a aquisição do carvão ativado em pó, devido à sua eficiência comprovada e disponibilidade no mercado. Sugere-se apenas a alteração das sacas de 25 kg para 10 kg, permitindo maior segurança ocupacional.

3. AUXILIAR DE FLOCULAÇÃO

Os polímeros têm sido aplicados no tratamento de água desde os anos 1950, desempenhando um papel crucial nos processos de coagulação e floculação. Os polímeros não iônicos e aniônicos são empregados como auxiliares de floculação em combinação com coagulantes primários. A principal vantagem do uso desses auxiliares é a formação de flocos mais resistentes às forças de cisalhamento, o que permite a floculação sob gradientes mais elevados, resultando em flocos mais densos e com maior velocidade de sedimentação.

Os polieletrólitos, derivados de proteínas e polissacarídeos, podem ser classificados em catiônicos, aniônicos e não-iônicos, dependendo da carga de suas cadeias poliméricas. Embora os polímeros não-iônicos não sejam tecnicamente polieletrólitos, são incluídos nessa categoria devido à semelhança de suas aplicações. No Brasil, devido às características específicas das águas e dos sólidos suspensos, predominam o uso de polímeros aniônicos e não-iônicos. A eficácia da floculação depende da carga, do peso molecular e do grupo funcional do polímero utilizado.

No Samae de Jaraguá do Sul, apenas na ETA Central é necessária a aplicação de um polímero para auxiliar na floculação, visto que água bruta possui características que culminam na sua necessidade. Para entender melhor sua aplicabilidade, vejamos:

- A coagulação é um processo utilizado no tratamento de água para remover partículas suspensas, incluindo sedimentos, matéria orgânica e microrganismos. Esse processo envolve a adição de coagulantes, como sais de alumínio ou ferro, que neutralizam as cargas elétricas das partículas, permitindo que elas se agreguem em flocos maiores. Esses flocos podem então ser facilmente removidos por sedimentação ou filtração, resultando em água mais limpa e segura para consumo;
- A floculação é um processo subsequente à coagulação no tratamento de água, onde os flocos formados durante a coagulação são aglomerados em partículas ainda maiores. Os flocos maiores resultantes são mais fáceis de remover por sedimentação ou filtração, contribuindo para a clarificação da água;
- Existem quatro mecanismos de coagulação: **neutralização de cargas**: os coagulantes, geralmente sais de alumínio ou ferro, neutralizam as cargas elétricas das partículas suspensas, permitindo que elas se aproximem e se unam; **adsorção e ligação de pontes (varredura)**: os coagulantes adsorvem-se nas superfícies das partículas e formam pontes entre elas, conectando-as em flocos maiores; **precipitação de hidróxidos metálicos**: os coagulantes reagem com a água para formar hidróxidos metálicos, que se precipitam e adsorvem as partículas suspensas, ajudando na formação de flocos e; **envolvimento por barreiras químicas**: algumas partículas são encapsuladas por produtos de reação dos coagulantes, o que facilita sua agregação em flocos maiores. Os mecanismos de coagulação podem atuar separadamente ou em conjunto, dependendo diretamente do coagulante utilizado;
- No Samae de Jaraguá do Sul, o mecanismo de coagulação predominante é a neutralização de cargas. Nesse processo, o coagulante (PAC) é aplicado para desestabilizar as cargas que circundam as partículas coloidais, alterando suas características de repulsão e promovendo a união entre elas na etapa de floculação.
- Uma particularidade observada na Autarquia, especificamente na ETA Central, é a queda significativa da alcalinidade e do pH da água bruta do manancial, o que reduz a eficiência do processo de neutralização de cargas. Isso torna inviável a coagulação apenas por este mecanismo, sendo necessário o uso de polímeros para complementar o processo, possibilitando a ligação de pontes entre os flocos e a formação de flocos maiores.

O uso do polímero na ETA Central é de suma importância após fortes chuvas e alterações significativas na qualidade da água bruta, especialmente após a redução da alcalinidade. No entanto, deve ser utilizado com cautela, pois suas propriedades de aderência podem prejudicar outras etapas do tratamento, como a filtração, ao formar uma película que reduz a taxa de filtração, necessitando lavagens repetidas do filtro para manter a eficiência do processo.

Atualmente, no tratamento de água, a Autarquia utiliza um polímero não-iônico, que tem se mostrado eficiente e garante a qualidade da floculação mesmo em condições adversas. Seu uso é esporádico, principalmente após fortes chuvas. O produto é adquirido em emulsão, fornecido em bombonas de 20 ou 25 litros, devido à adaptação das instalações da ETA Central para esse formato.

O polímero não-iônico destaca-se pela ampla aplicabilidade no Vale do Itajaí, demonstrando versatilidade em diversas condições da água e estabilidade em diferentes faixas de pH. Além disso, tem grande compatibilidade com vários coagulantes, incluindo o PAC, e baixa toxicidade em comparação com alguns polímeros catiônicos, sendo seguro para o meio ambiente e para a saúde humana.

Embora a alteração do produto possa ser realizada, isso deve ocorrer apenas após estudos e testes que demonstrem sua eficiência e dosagem correta, sem riscos à saúde. O polímero também é utilizado no tratamento de lodo de ETA, sendo eficiente na aglutinação dos flocos existentes e na separação do lodo da água durante a prensagem.

Considerando a eficiência comprovada tanto na aplicação na ETA quanto no tratamento de lodo, a melhor alternativa é manter o produto atualmente utilizado. Vale ressaltar que o processo de coagulação é delicado, e alterações de produtos sem os devidos testes podem causar interrupções na estação e falta de água. Todas as estruturas atuais são voltadas ao uso do produto em emulsão, e qualquer mudança exigiria estudos sobre as estruturas e equipamentos existentes, além da necessidade de novas aquisições.

4. DESINFECÇÃO

A desinfecção da água é um processo crucial para eliminar ou inativar microrganismos patogênicos, como bactérias, vírus e protozoários, que podem causar doenças. Isso é realizado através da aplicação de agentes desinfetantes, como cloro, ozônio, raios ultravioletas (UV) ou dióxido de cloro, que destroem a estrutura celular ou interferem nos processos vitais dos microrganismos. A desinfecção é geralmente a etapa final no tratamento da água, garantindo que ela seja segura para consumo humano.

Atualmente no Samae de Jaraguá do Sul a desinfecção é realizada através da cloração, garantindo o processo de desinfecção e a manutenção de cloro residual conforme exigido pela legislação. São usados diferentes produtos para realizar esse processo na Autarquia: cloro gasoso, geração de cloro in loco, hipoclorito de sódio comercial e hipoclorito de cálcio (pastilhas).

4.1. Cloro gasoso

O uso de cloro gasoso no tratamento de água é uma prática comum para a desinfecção da água potável e para o controle de microrganismos nocivos em sistemas de abastecimento de água. Consiste na introdução controlada de cloro gasoso na água durante o processo de tratamento. As principais vantagens da aplicação do cloro gás são:

- Efeito residual elevado: promovido pela estabilidade a longo prazo, o gás cloro permanece por um longo período de tempo na rede de distribuição, permitindo assim a manutenção de concentrações menores na rede para atingir o residual mínimo exigido pela legislação;
- Decomposição de biofilmes: os biofilmes são altamente resistentes à maioria dos agentes de desinfecção, entretanto, o cloro gás destaca-se pela sua alta eficiência na eliminação destes patogênicos;
- Redução de acidentes: embora possua determinada complexidade e riscos de vazamento, os sistemas de armazenamento e dosagem de cloro gás possuem tecnologias que os tornam mais seguros e reduzem a probabilidade de erros operacionais humanos.

Devido às propriedades físicas distintas entre líquidos e gases, como a compressibilidade e a solubilidade, é mais desafiador conter produtos gasosos do que líquidos. Isso se reflete na necessidade de estruturas e equipamentos mais robustos e específicos para o armazenamento e dosagem de cloro gasoso. Ao contrário dos produtos químicos líquidos, o cloro gasoso não pode ser dosado em seu estado puro; ele requer a mistura com água para ser transportado até os pontos de dosagem, o que demanda um sistema de arraste de água.

É importante destacar que esse sistema de arraste não apenas facilita o transporte do cloro gasoso, mas também cria um vácuo no sistema, prevenindo vazamentos involuntários do produto. Assim, torna-se evidente que o uso de cloro gasoso exige uma estrutura especializada, mais complexa se comparada ao armazenamento de produtos líquidos, como o hipoclorito de sódio.

De maneira resumida, a estrutura do cloro gás é composta por:

- Cilindro de cloro gás: reservatório/recipiente na qual é comercializado o produto. O armazenamento é realizado sob pressão. Os modelos mais comumente utilizados são os cilindros verticais, com capacidade para armazenar de 20 a 68 kg e cilindros horizontais de 900 kg. Este cilindro será a fonte do cloro usado no processo;

- Tubulação de cloro: também conhecida como manifold, é responsável por conectar o cilindro de cloro ao dosador e também transporta o produto até o ponto de dosagem;
- Dosador de cloro: é considerado o componente central do sistema e realiza a dosagem precisa do cloro na água. É composto por válvula reguladora de pressão e vácuo, módulo com rotâmetro e injetor;
- Peças adicionais: são todas as peças adicionais, necessárias para o funcionamento do sistema, tais como, válvula tipo Yoke, conectores flexíveis, filtros e manômetros;
- Módulo lavador de gases: pode ser considerado um dos componentes mais importantes do sistema, pois é a solução para contenção e destinação adequada de vazamentos de cloro gasoso. Consiste em um sistema de exaustão que direciona o gás vazado até um lavador de gases, neutralizando o produto que vazou e permitindo a destinação adequada.

A ocorrência de vazamentos no sistema se caracteriza como um risco ocupacional aos operadores do sistema, pois é tóxico e pode causar severos danos à saúde. Embora esse risco exista, os sistemas atuais de armazenamento e dosagem do produto são elaborados de tal forma a promover a total segurança e a não ocorrência de acidentes. Aliado à segurança estrutural imposta pelo sistema, está o treinamento adequado dos operadores, promovendo uma operação segura e adequada.

Embora os sistemas de dosagem de cloro gás sejam altamente seguros, é crucial destacar que um vazamento desse produto pode resultar em graves consequências, tornando-o sua maior desvantagem. A inalação direta do cloro gás pode causar imediatamente irritação respiratória, queimaduras internas graves, intoxicação, desmaios e, em casos extremos, até mesmo a morte. Portanto, sua operação requer operadores treinados, manutenções preventivas regulares, estabelecimento de procedimentos padronizados e o uso de equipamentos de proteção individual.

É importante ressaltar que muitas estações de tratamento de água (ETA) que utilizam cloro gás não possuem mão de obra especializada para realizar manutenções e reparos, apenas pequenas trocas e estancamento de vazamentos. Para garantir a segurança e eficiência desses sistemas, são necessárias instalações seguras e uma variedade de equipamentos específicos. Na ETA Central desta Autarquia, assim como outras estações, se adquire o produto junto com os equipamentos necessários, cilindros, treinamentos e serviços de manutenção preventiva e corretiva, garantindo assim a operação adequada e segura do sistema.

Além da desinfecção, o cloro gás é utilizado na ETA Central para os processos de pré-oxidação e inter-oxidação da água, totalizando o consumo mensal mencionado.

4.2. Hipoclorito de sódio gerado in loco

A locação de gerador de Solução Oxidante/Desinfetante para potabilização de água, além de ser uma alternativa para o processo de desinfecção, é o método empregado atualmente na ETA Sul. Nessa tecnologia, a geração da solução oxidante acontece por eletrólise da salmoura.

As principais vantagens do sistema de geração de cloro in loco, através da hidrólise do sal são:

- Maior potencial bactericida, devido a ação dos radicais livres de oxigênio;
- Reduz aplicação de alcalinizante na correção final do pH em até 60%. Na ETA Sul, por exemplo, não é necessária a realização de correção de pH, mesmo em períodos chuvosos em que há certa tendência a queda nos seus valores;
- Maior segurança ambiental, pois o sistema não opera com suprimentos contaminantes ou perigosos;
- A operação demanda somente a reposição do cloreto de sódio (sal de cozinha) e ajustes do sistema;
- Produção limpa, sem descarte de resíduos poluentes e subprodutos;
- Maior segurança operacional, pois possibilita menor contato do Técnico/Operador com o sistema, o que reduz riscos ocupacionais.

O sistema de produção de cloro in loco atualmente aplicado na ETA Sul revela suas vantagens práticas em comparação com o hipoclorito de sódio comercial (10 – 12%) anteriormente utilizado. Observamos que o hipoclorito de sódio gerado pelo referido gerador é mais estável, possui maior poder desinfetante e eficiência em comparação ao produto comercializado. Isso permite manter uma concentração de cloro residual mais baixa na saída do tratamento, sem comprometer a segurança microbiológica das redes de distribuição.

Cabe enfatizar que, antes da elaboração deste estudo, foi desenvolvido um outro estudo que demonstrou a viabilidade técnica e financeira de manter o sistema de locação do equipamento de geração de cloro na ETA Sul, bem como a aquisição de cloreto de sódio (sal), matéria-prima utilizada no sistema.

A geração de hipoclorito de sódio poderia ser uma solução também para a ETA Central, mas exigiria uma pesquisa aprofundada para analisar as estruturas necessárias, equipamentos, e a viabilidade de utilizar o produto nos processos de pré

e inter-oxidação. Caso contrário, seria necessário avaliar a possibilidade de manter sistemas diferentes para desinfecção e esses processos.

Com isso, percebe-se a necessidade de aquisição de cloreto de sódio, produto químico utilizado na produção de hipoclorito na ETA Sul. Essa aquisição já havia sido prevista anteriormente no tópico de contratações correlatas do Estudo Técnico Preliminar que originou a locação do equipamento de geração de cloro.

4.3. Hipoclorito de sódio comercial

O hipoclorito comercial em concentração de 10 a 12% é um dos agentes desinfetantes mais comuns encontrados em estações de tratamento de água, em especial, de pequeno porte. Suas principais vantagens são o baixo custo em sistemas de pequeno porte, menor complexidade no sistema de tratamento quando comparado ao cloro gás, baixo risco relacionados a saúde ocupacional e redução do uso de alcalinizante/ correto de pH.

Quando comparado aos produtos as alternativas explanadas anteriormente, o hipoclorito comercial apresenta algumas limitações, tais como:

- Eficiência inferior ao cloro gás e ao hipoclorito gerado: pois apresenta uma menor estabilidade quando se trata do residual de cloro, necessitando deixar uma concentração maior, para atendimento da legislação vigente.
- Durabilidade: é mais volátil que os demais mencionados, dessa forma perde concentração e consequentemente, eficiência ao longo do tempo. É influenciado também pelo armazenamento, se exposto ao sol, intensifica a perda de concentração;
- Odor forte: apenas do cloro gás apresentar riscos, são poucas as ocorrências de vazamentos, já o hipoclorito de sódio, por ser trabalhado em um sistema mais exposto que o cloro gás, a presença de odor no ambiente é mais comum. Seu odor é intenso e característico, tornando o ambiente desagradável. É necessário o uso de máscaras, óculos e vestimentas adequadas para manuseio.

No Samae de Jaraguá do Sul, o hipoclorito de sódio comercial também é adquirido, para utilização na desinfecção de esgoto, limpezas e desinfecção de filtros, decantadores e unidades de tratamento de água em geral e como alternativa reserva aos sistemas de cloro gás, na ETA Central, e geração de hipoclorito na ETA Sul.

Embora comprovadas na prática a eficiência superior do hipoclorito de sódio gerado in loco e do cloro gasoso, este produto demonstrou-se uma excelente solução para ser utilizado como reserva em casos de manutenções nos demais sistemas. Inclusive pelo fácil armazenamento e sua versatilidade, podendo ser aplicado também em processo de limpezas na qual é necessária a desinfecção do local.

4.4. Hipoclorito de Cálcio (pastilhas)

O hipoclorito de cálcio é um composto químico amplamente utilizado como agente desinfetante em estações de tratamento de água, piscinas e na desinfecção de superfícies. Ele é conhecido por sua eficácia na eliminação de bactérias, vírus e outros microrganismos patogênicos, sendo uma opção eficiente e segura para a desinfecção da água.

É geralmente disponível na forma granular ou em tabletes, o que facilita o manuseio e o armazenamento. Uma das principais vantagens desse desinfetante é sua estabilidade e longa vida útil, permitindo que ele mantenha suas propriedades desinfetantes por um período prolongado. Além disso, ele é menos corrosivo do que outros compostos de cloro, reduzindo o desgaste dos equipamentos. No entanto, a sua solubilidade é menor em comparação ao hipoclorito de sódio, o que pode requerer um sistema de dissolução adequado para sua aplicação.

O hipoclorito de cálcio também pode aumentar a dureza da água devido à liberação de cálcio, o que deve ser monitorado para evitar problemas de incrustação nos sistemas de tratamento. Em geral, o hipoclorito de cálcio é uma alternativa viável e eficaz para a desinfecção da água, especialmente em locais onde a facilidade de transporte e armazenamento é um fator crítico.

No Samae de Jaraguá do Sul, o hipoclorito de cálcio é utilizado no tratamento de água para algumas unidades consumidoras na comunidade rural de Santo Estevão. Este produto se destaca por sua fácil aplicação, apresentação de resultados satisfatórios, facilidade de transporte e baixo custo, tornando-se uma escolha eficaz e econômica para a desinfecção da água nessa região.

Atualmente, o Samae de Jaraguá do Sul gasta cerca de R\$ 1.500,00 anualmente com hipoclorito de cálcio, considerando um consumo de aproximadamente 28 kg do produto. A aplicação de outros produtos é descartada devido à dificuldade de controle das dosagens em um ambiente sem disponibilidade de energia elétrica. Todo o processo ocorre de

maneira hidráulica, com a dosagem de cloro sendo realizada através de um clorador instalado diretamente na tubulação de entrada do reservatório.

4.5. Resumo em relação aos produtos desinfetantes

Com base nas pesquisas realizadas, verificou-se a viabilidade de adquirir os seguintes produtos:

- Cloro liquefeito: para desinfecção, pré-oxidação e inter-oxidação na ETA Central.
- Cloreto de sódio (sal): para a operação do sistema de geração de cloro na ETA Sul.
- Hipoclorito de sódio comercial (10 a 12%): como produto reserva para ser utilizado durante falhas e manutenções nos sistemas de produção de hipoclorito na ETA Sul e na dosagem de cloro gás na ETA Central, além de ser usado para limpezas diversas.
- Hipoclorito de cálcio em tabletes: para a desinfecção da água no sistema isolado da Comunidade Rural Santo Estevão.

5. FLUORETAÇÃO

Existem diferentes produtos no mercado com capacidade para adicionar flúor na água. Destacando-se os produtos: ácido fluossilícico, fluossilicato de sódio, fluoreto de cálcio e fluoreto de sódio.

Em relação ao fluoreto de cálcio e ao de sódio, de acordo com o manual técnico da FUNASA, ambos não são indicados para o tratamento de água no Brasil, comprovadas suas baixas eficiências e alto custo. Também não foi possível encontrar registros de outras contratações ou aquisições similares realizadas por entes públicos. Desta forma, se descartou essas duas alternativas para aplicação nas ETA's do Samae.

5.1. Ácido Fluossilícico

O ácido fluossilícico, também conhecido como ácido hexafluorsilícico, é um composto químico com a fórmula H_2SiF_6 . Este ácido inorgânico é comumente utilizado em diversas aplicações industriais e de tratamento de água. Na indústria de tratamento de água, o ácido fluossilícico é frequentemente empregado para a fluoretação da água potável, um processo que ajuda a prevenir cáries dentárias na população. Sua aplicação é preferida devido à sua alta solubilidade em água e à eficácia na liberação de íons flúor.

Apesar de ser mais corrosivo, destaca-se sobre o uso de fluossilicato de sódio pelo fato de se apresentar na forma líquida, o que facilita a sua aplicação, facilitando o controle mais precisos das dosagens é condição fundamental para a fluoretação.

5.2. Fluossilicato de sódio

O fluossilicato de sódio, também conhecido como silicofluoreto de sódio, é um composto químico com a fórmula Na_2SiF_6 . Este sal inorgânico é amplamente utilizado na fluoretação da água potável para prevenir cáries dentárias, devido à sua eficácia na liberação de íons flúor em solução aquosa. Além de sua aplicação na fluoretação da água, o fluossilicato de sódio é utilizado em processos industriais, como na fabricação de vidro opalescente, esmaltes, cerâmicas e como agente de coagulação na indústria de curtume. O produto é disponibilizado de maneira sólida e frequentemente em sacos de 25 kg ou em tambores, garantindo a facilidade de transporte e armazenamento.

O manuseio e preparo de soluções de fluossilicato de sódio envolvem vários riscos que exigem precauções rigorosas para garantir a segurança dos trabalhadores e do ambiente. Este composto químico é tóxico e pode causar sérios problemas de saúde se inalado, ingerido ou em contato com a pele e os olhos.

Considerando que o produto não é disponibilizado no estado pronto para dosagem, é necessário o preparo de uma solução utilizando o produto para posteriormente ser dosado nas ETA's. Devido a isto, torna-se necessário um contato mais direto entre o operador e o produto e, considerando sua natureza tóxica, aumentam os riscos de acidentes ocupacionais.

Em caso do uso deste produto, será necessário também a adequação do armazenamento e construção de ambiente próprio para preparo e dosagem, contendo tanques e agitadores, para manter a solução na consistência necessária para sua dosagem nas estações. Tal custo não foi possível mensurar.

Em pesquisa realizada em uma companhia de saneamento (Alves, 2015), demonstrou que a alteração do fluossilicato de sódio pelo ácido fluossilícico resultou em uma economia de mais de 50%, além de facilitar a opção e manuseio e evitar riscos com a saúde dos servidores do local.

5.3. Resumo sobre os produtos para fluoretação

Considerando as informações apresentadas anteriormente sobre os produtos utilizados na fluoretação da água em estações de tratamento, e levando em conta fatores como facilidade de manuseio, viabilidade financeira e segurança operacional, a opção escolhida é a continuidade na aquisição de ácido fluossilícico.

6. QUELAÇÃO

O processo de quelação é uma técnica química empregada para remover íons metálicos de soluções ou superfícies, formando complexos estáveis com essas substâncias. Essa remoção é realizada através da adição de agentes quelantes, que são moléculas capazes de se ligar a íons metálicos de maneira coordenada, formando anéis ao redor do metal. Esses complexos, solúveis em água, facilitam a eliminação dos íons metálicos que podem ser prejudiciais ou indesejáveis, como na limpeza de equipamentos, no tratamento de água e na remoção de metais pesados do solo.

No contexto das estações de tratamento de água, o processo de quelação complementa a pré e inter-oxidação e visa evitar episódios de água suja nas tubulações devido a incrustações de metais. No Samae de Jaraguá do Sul, o ortopolifosfato de sódio alimentício é utilizado para esse fim na água tratada. Ele atua como sequestrante e agente de controle de corrosão, ligando-se aos íons metálicos e impedindo a formação de depósitos e incrustações em adutoras e redes de distribuição.

O ortopolifosfato é comercializado tanto na forma sólida, como um sal branco ou pó fino, quanto em soluções líquidas concentradas. Na forma sólida, é disponibilizado em sacarias, facilitando o armazenamento e a aplicação em processos industriais. Em solução líquida, o ortopolifosfato é fornecido em tambores ou tanques, pronto para uso direto.

Não foram encontrados produtos que substituam o ortopolifosfato de sódio em sua função primária, como agente sequestrante de partículas de ferro e manganês. Foram encontrados apenas produtos considerados fortes agentes oxidantes que possibilitem a remoção destes metais durante o tratamento e eliminem o uso do agente quelante. Entretanto, ainda não foi possível a realização de estudos que pautem tal alteração no Samae.

Alguns estudos indicam que a aquisição do produto em pó e preparado no local, pode oferecer maior eficiência. No entanto, no momento, a utilização do ortopolifosfato de sódio alimentício em suspensão aquosa continua sendo a solução mais prática, devido a não possuir estrutura de armazenamento para as sacarias e preparo da suspensão. Recomenda-se, por meio deste documento, realizar estudos mais aprofundados para avaliar a viabilidade técnica e financeira do uso do ortopolifosfato em pó.

7. CORREÇÃO DE pH

A correção do pH da água é um processo essencial no tratamento de água, garantindo que o pH esteja dentro de uma faixa segura e adequada para consumo humano e outros usos. A água com pH desequilibrado pode causar corrosão em tubulações, reduzir a eficácia dos desinfetantes e comprometer a saúde dos consumidores. A monitorização contínua do pH durante o tratamento é crucial para ajustar as dosagens dos produtos químicos e assegurar que a água tratada atenda aos padrões de qualidade exigidos pelas autoridades de saúde pública. Diferentes produtos químicos são utilizados para a correção do pH, dependendo das condições da água. Se a água é ácida, são utilizados produtos para elevar o pH; se é básica, são usados produtos para reduzi-lo.

Na Autarquia, a correção do pH é necessária apenas na ETA Central durante períodos de fortes chuvas, que causam a redução do pH natural da água. A correção busca manter o pH próximo à neutralidade (7,0). Na ETA Sul, onde é utilizado hipoclorito de sódio, um produto que naturalmente possui pH mais elevado, o pH é mantido próximo do desejado mesmo em períodos de chuva. Os produtos mais utilizados para elevação do pH em ETAs são os à base de cal, que serão detalhados a seguir.

7.1. Hidróxido de cálcio/ cal hidratada

O hidróxido de cálcio é geralmente produzido pela reação do óxido de cálcio (cal virgem) com água, resultando em uma suspensão aquosa. Nessa mistura, partículas sólidas de hidróxido de cálcio estão dispersas em água, mas não dissolvidas, e podem eventualmente se depositar no fundo do recipiente se a mistura for deixada em repouso.

A disponibilização do hidróxido de cálcio nesse formato facilita sua obtenção e aplicação nas estações de tratamento de água, pois o produto já vem pronto para uso, eliminando a necessidade de preparar novas suspensões ou soluções. Além disso, o armazenamento em reservatórios ocupa menos espaço do que sacarias. O único desafio relacionado ao armazenamento é a necessidade de agitação mecanizada periódica, que consome energia.

As principais vantagens do uso do hidróxido de cálcio incluem sua alta reatividade, que proporciona um aumento rápido do pH, a forma conveniente de disponibilização, o preço acessível e a capacidade de auxiliar na precipitação de íons metálicos, como ferro e manganês.

O hidróxido de cálcio é fornecido em diferentes concentrações, sendo as mais comuns de 19 a 21% e acima de 30%. Até 2022, a Autarquia adquiria o produto com concentração acima de 30%, devido à economia gerada pela maior concentração, que permitia um menor consumo do produto. No entanto, o uso dessa concentração elevada causava desgaste nos equipamentos e picos de pH durante a aplicação.

A partir de 2023, optou-se por adquirir o produto com concentração de 19 a 21%. A concentração mais alta dificultava o uso do dosador automático, exigindo controle manual devido aos aumentos repentinos no pH. Com a mudança para a concentração mais baixa, foi possível operar o dosador de forma automática, reduzindo a necessidade de trocas de rotores e estatores dos dosadores. Além disso, não ocorreram mais elevações repentinas do pH, que agora é mantido dentro da normalidade.

Como desvantagens, o hidróxido de cálcio pode gerar precipitados, especialmente dentro do tanque de armazenamento, e sua toxicidade durante o manuseio pode causar irritação aos olhos e à pele. No entanto, a aplicação direta do tanque minimiza o contato e não representa um grande risco.

7.2. Carbonato de sódio (barrilha)

A barrilha, ou carbonato de sódio, é um composto químico branco e translúcido amplamente utilizado em diversas indústrias, como papel, sabão, vidro, têxtil, limpeza e estações de tratamento de água (ETAs). Existem dois tipos principais de barrilha: leve e densa, diferenciando-se principalmente pela densidade, tamanho das partículas e suas aplicações. Para aplicação em ETAs, utiliza-se a barrilha leve.

As principais vantagens da barrilha incluem sua alta solubilidade em água, efeito tampão que estabiliza o pH, e sua versatilidade, podendo ser aplicada em estações de diferentes tamanhos. Entretanto, apresenta um custo mais elevado em comparação a produtos derivados da cal, como o hidróxido de cálcio, pode afetar a dureza e a turbidez da água, e possui eficácia inferior a outros alcalinizantes quando aplicado em pH muito baixo. Além disso, não é recomendado o uso de barrilha em conjunto com hipoclorito de sódio. Embora o uso de hipoclorito de sódio na ETA Central seja esporádico, durante manutenções no sistema de cloro gás, a necessidade de aplicá-lo limita o uso de barrilha.

A barrilha é comumente fornecida na forma sólida, em sacarias de diferentes tamanhos. Isso exige que se prepare uma solução aquosa antes da aplicação no tratamento de água, necessitando de estrutura para armazenamento das sacarias e preparo da solução, aumentando o contato dos operadores com o produto químico e os riscos ocupacionais associados.

7.3. Soda cáustica

O hidróxido de sódio (NaOH), também conhecido como soda cáustica, é uma base forte e pertence à classe das bases. Em temperatura ambiente, é um sólido branco cristalino e higroscópico, ou seja, absorve água. É altamente solúvel em água e, se exposto ao ambiente, absorve umidade e se torna um líquido incolor. Quando dissolvido em água, forma uma solução altamente corrosiva.

É uma substância química extremamente perigosa devido à sua toxicidade e à reação exotérmica (liberação de calor) com água, resultando na liberação de vapor sufocante e corrosivo e na formação de soluções fortemente alcalinas.

As principais vantagens do hidróxido de sódio são a elevação rápida do pH e sua alta solubilidade. No entanto, seus riscos ocupacionais são significativos. Tanto na forma sólida quanto em solução, quando em contato com a pele ou olhos, pode causar queimaduras severas, e sua alta corrosividade pode danificar equipamentos se não for controlada corretamente. Além disso, reage vigorosamente com a água, liberando calor, o que representa um risco adicional para quem o manuseia.

É importante destacar que o hidróxido de sódio não é recomendado para uso com hipoclorito de sódio comercial. Assim como a barrilha, é mais comumente encontrado na forma sólida e necessita ser preparado em solução para aplicação no tratamento de água.

Há alguns anos, nas antigas ETA's do Samae de Jaraguá do Sul, a soda cáustica era usada para a correção do pH, mas foi substituída pelo hidróxido de cálcio, principalmente devido aos riscos ocupacionais envolvidos e ao custo mais atrativo da cal hidratada.

7.4. Resumo sobre os produtos para correção de pH

Devido ao custo atrativo, eficiência comprovada e a minimização dos riscos ocupacionais, optou-se pela manutenção do uso do hidróxido de cálcio em concentração de 19 a 21%. Conforme mencionado anteriormente, nessa concentração, foram obtidas melhorias em relação a dosagem automatizada e redução da troca de peças das dosadoras, especialmente rotores e estatores.

8. REALIZAÇÃO DE LIMPEZAS

Como mencionado anteriormente, nas Estações de Tratamento de Água (ETA's), o uso de produtos químicos é essencial para a limpeza, desinfecção e manutenção de equipamentos e tanques. O hipoclorito comercial é o produto mais frequentemente utilizado, tanto para desinfecção regular quanto como reserva para o cloro gás e hipoclorito gerado na ETA Sul.

No entanto, devido à pintura dos filtros da ETA Central e ao acúmulo de sujeira ao longo do tempo, é necessária uma limpeza específica para esse local. Em 2020, foram realizadas diversas tentativas de limpeza com diferentes produtos, incluindo o hipoclorito comercial. No entanto, o único produto que demonstrou resultados satisfatórios foi o ácido fosfórico alimentício com concentração de 85%, que passou a ser utilizado desde então.

O ácido fosfórico (H_3PO_4) é eficaz na remoção de sujeira e depósitos, especialmente minerais como cal e ferrugem. Ele é amplamente utilizado na indústria alimentícia como desincrustante para limpar equipamentos e utensílios, eliminando incrustações minerais e resíduos.

Em resumo, o ácido fosfórico é uma ferramenta poderosa para a limpeza de depósitos minerais e preparação de superfícies, porém seu uso requer cuidados especiais, seguindo as diretrizes de segurança e utilizando as concentrações apropriadas para evitar danos e garantir a eficácia.

Atualmente, está sendo elaborado um novo estudo para revitalizar as paredes dos filtros da ETA Central, incluindo a possibilidade de alteração do produto de pintura. Isso pode reduzir a necessidade de ácido fosfórico no futuro. Portanto, sugere-se a formação de uma Ata de Registro de Preços para o ácido fosfórico, permitindo flexibilidade na aquisição e evitando a obrigação de comprar a quantidade total estimada, caso o uso do produto se torne desnecessário.

A continuidade do fornecimento dos produtos químicos atualmente em uso nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) é a solução tecnicamente mais vantajosa. Essa abordagem mitiga os riscos operacionais associados à substituição de insumos e dispensa a realização de estudos complexos e testes práticos que seriam necessários para a validação de novos produtos. Qualquer alteração no processo poderia comprometer a qualidade da água tratada, exigindo um rigoroso cronograma de testes para garantir a transição sem prejuízos.

A fundamentação técnica para esta avaliação baseia-se em estudos pretéritos, alinhados com a Lei nº 14.133/2021. Esta legislação permite a prorrogação contratual por meio de aditivos, desde que a vantajosidade financeira para a Administração Pública seja comprovada e haja acordo entre as partes.

Com base na vigência dos contratos de 2024, que se estende até 31 de dezembro de 2025, foi realizada uma consulta às empresas contratadas em agosto de 2025 sobre a possibilidade de renovação. O objetivo era assegurar tempo hábil para um novo certame licitatório em caso de não renovação. Apenas os fornecedores de Cloreto de Polialumínio (PAC) e Cloreto de Sódio manifestaram desinteresse, alegando que o aumento nos custos de matéria-prima inviabiliza a renovação, mesmo com o reajuste contratual.

Para avaliar a viabilidade de renovação dos demais contratos, foram pesquisados os preços de mercado praticados em outras licitações, que foram comparados com os valores contratuais reajustados. Os valores dos produtos que não serão renovados também foram levantados para servirem como referência na próxima licitação.

Os contratos referentes a polímero não iônico e hipoclorito de cálcio, formalizados apenas em abril de 2025 (devido à necessidade de um novo processo licitatório), têm vigência até abril de 2026. A análise de sua renovação será realizada no início de 2026.

O custo total projetado para 2026 será detalhado no próximo tópico, considerando os produtos que serão renovados e os que serão licitados.

b. Custo total projetado:

A fim de projetar o custo total para aquisição de produtos químicos em 2026 foi realizada uma pesquisa de preços que estão sendo pagos por outros entes públicos. Essa pesquisa permitiu também avaliar a vantajosidade financeira da renovação contratual da maioria dos produtos. Os resultados estão apresentados na tabela abaixo.

Com base na tabela abaixo, é possível verificar a vantagem financeira da renovação contratual. Além disso, foram identificados os itens cujos fornecedores não optaram pela renovação, bem como aqueles que possuem vencimento de contrato diferente da maioria, os quais serão analisados novamente mais próximo de seu término.

Tabela 2 - Custo total projetado

Produto Químico	Reajuste para Renovação Contratual					Contratações Públicas			Preço Unitário Recalculado 2026 (R\$)	Custo total projetado (R\$)	Economia
	Qtde (kg)	Preço unitário 2025 (R\$)	Renovação contratual	Reajuste conforme INPC (%)	Preço Unitário Recalculado 2026 (R\$)	Órgão Público	Valor Unitário Praticado (R\$)	Valor de Referência – Mediana (R\$)			
Cloreto de Polialumínio - PAC	900.000	1,25	Não ¹	5,12798 %	-	Companhia de Paraiba - CAGEPA	R\$ 2,19	R\$ 1,52	-	R\$ 1.368.000,00	-
						Município de Barra Bonia	R\$ 1,43				
						SAAE (Forn. Guaçu)	R\$ 1,52				
						Companhia Ituana (Forn. GPS Produtos Químicos)	R\$ 2,23				
						Companhia Ituana (Forn. Nheel Química)	R\$ 1,47				
Carvão ativado em pó (solução)	27.000	9,97	Sim	5,12798 %	10,48	Superintendência Ituiutaba I	R\$ 14,04	R\$ 13,62	10,48	R\$ 282.994,01	23%
						Superintendência Ituiutaba II	R\$ 14,15				
						SAMAE I	R\$ 12,64				

						SAMAE II	R\$ 13,20				
Cloro gás	60.000	12,63	Sim	5,12798 %	13,28	DAE I	R\$ 14,79	R\$ 16,30	13,28	R\$ R\$ 796.659,83	19%
						DAE II	R\$ 16,70				
						SAAE Cambuí	R\$ 16,30				
Ácido Fluossilícico	70.000	2,18	Sim	5,12798 %	2,29	SAAE Capivari	R\$ 1,73	R\$ 2,54	2,29	R\$ 160.425,30	10%
						SAAE Lençóis Paulistas	R\$ 2,71				
						SAAE de Cambuí	R\$ 2,36				
						Município de Nova Itaberaba	R\$ 3,85				
Hipoclorito de Sódio Comercial 10 a 12%	30.000	1,69	Sim	5,12798 %	1,78	Prefeitura de Santa Cruz	R\$ 4,40	R\$ 2,50	1,78	R\$ 53.299,89	29%
						Município de Pitangueiras	R\$ 1,47				
						SAAE Linhares	R\$ 2,50				

Cloreto de sódio (sal)	30.000	0,91	Não ¹	5,12798 %	-	DAE Livramento	R\$ 1,45	R\$ 1,00	-	R\$ 30.000,00	-
						SAAE (Forn. Caldas)	R\$ 0,99				
						SAAE (Forn. Renova)	R\$ 1,00				
Polímero não iônico	2.000	11,40	Ainda não ²	5,12798 %	-	-	-	-	-	R\$ 22.800,00	-
Hipoclorito de cálcio em tabletes	28	31,00	Ainda não ²	5,12798 %	-	-	-	-	-	R\$ 868,00	-
Hidróxido de Cálcio	100.000	0,75	Sim	5,12798 %	0,78845985	SAAE	R\$ 0,68	R\$ 1,14	0,79	R\$ 78.845,99	31%
						Prefeitura de Cruzeiro I	R\$ 2,13				
						Prefeitura de Cruzeiro II	R\$ 1,14				
Ortopolifosfato de sódio alimentício	40.000	7,49	Sim	5,12798 %	7,874085702	SAAE Jaguariuna	R\$ 8,42	R\$ 8,99	7,87	R\$ 314.963,43	12%
						SAAE Barretos	R\$ 9,00				

						DAE Guáira	R\$ 8,97			
						Município de Guararapes	R\$ 11,85			
Notas:									Total	R\$ 3.108.856,44

¹: Fornecedor optou pela não renovação de contrato.

²: Itens com vencimento contratual diferente da maioria, serão avaliados mais próximo do término da vigência.

O valor total estimado de gastos com produtos químicos para o ano de 2025 é de cerca de R\$ 2.733.092,04. Destacam-se o cloreto de polialumínio e o cloro gás como os produtos com maiores custos para a Autarquia.

- c. **Indicação de contratações similares feitas por outros órgãos e entidades públicas, bem como por organizações privadas, no contexto nacional ou internacional, com objetivo de identificar a existência de novas metodologias, tecnologias ou inovações que melhor atendam às necessidades da Administração** (art. 6º, IV, Anexo II, do Decreto Municipal nº 16.996/2023)

Este item tem a finalidade de demonstrar contratações similares realizadas por outros entes públicos para os produtos químicos estudados. Para melhor compreensão os resultados para esta pesquisa estão apresentados na planilha abaixo:

- d. **Escolha da solução** (consequência dos incisos V e VI do § 1º, art. 18, da Lei 14.133/2021)

Após a análise realizada nos itens anteriores foram determinadas as melhores alternativas para aquisição de produtos químicos para o tratamento de água. Em todos os casos, percebeu-se que a manutenção pelo uso dos produtos que já são aplicados, é a solução mais viável. Dessa forma, será necessária a aquisição dos produtos:

- Cloreto de Polialumínio – PAC;
- Carvão ativado em pó (solução);
- Cloro gás;
- Ácido Fluossilícico;
- Hipoclorito de Sódio Comercial 10 a 12%;
- Cloreto de sódio (sal);
- Polímero não iônico;
- Hipoclorito de cálcio em tabletes;
- Hidróxido de Cálcio;
- Ortopolifosfato de sódio alimentício.

Considerando que para a maior parte dos produtos haverá renovação contratual, será necessária a realização de licitação apenas para os itens Cloreto de Polialumínio – PAC e Cloreto de Sódio. Cabe enfatizar que no caso do polímero e hidróxido de cálcio em tabletes a renovação do contrato ou nova licitação serão analisadas mais próximo ao fim da vigência dos contratos atuais,

4. DETALHAMENTO DA SOLUÇÃO ESCOLHIDA

4.1. Descrição da solução como um todo (art. 18, § 1º - VII, da Lei 14.133/2021, art. 6º, VIII, Anexo II, do Decreto Municipal nº 16.996/2023)

Neste item será apresentada a descrição da Solução 4, considerada a alternativa mais viável. Que consiste em uma draga flutuante, composta por um conjunto de balsa flutuante com controle remoto e bomba de dragagem.

4.1.1. CLORETO DE POLIALUMÍNIO (PAC)

- 4.1.1.1.** Coagulante inorgânico catiônico pré-polimerizado a base de policloreto de alumínio (hidróxi-cloreto de alumínio), fornecido a granel, conforme norma ABNT NBR 15784/2017 - *Produtos químicos utilizados no tratamento de água para consumo humano* e ABNT NBR 14725 – *Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente* e Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão

de potabilidade, alterada pelas Portarias nº 888, de 4 de maio de 2021 e 2.472, de 28 de setembro de 2021 do Ministério da Saúde.

4.1.1.2. Especificações:

CARACTERÍSTICA 1	ESPECIFICAÇÃO
Teor de Al_2O_3	9,0 - 11% m/m;
Basicidade	55,0 - 67,0 % m/m;
Densidade a 25°C	1,1 - 1,4 g/cm ³ ;
Temperatura	Máximo de 40°C
Turbidez	Máxima de 50 NTU;
CARACTERÍSTICA 2	ESPECIFICAÇÃO
Sólidos sedimentáveis	Máximo de 0,1mL/L;
Aspecto	Líquido viscoso límpido;
Cor	Claro a âmbar;
Odor	Característico;
Fórmula Química Bruta	$Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$.
Material insolúvel	Máximo de 0,1 g/L;
TOXIDADE ¹	LIMITES MÁXIMOS PERMITIDOS (mg/Kg)
Arsênio (As)	Máximo de 4,4
Bário (Ba)	Máximo de 311,1
Cádmio (Cd)	Máximo de 2,2
Chumbo (Pb)	Máximo de 4,4
Cromo (Cr)	Máximo de 22,2
Mercúrio (Hg)	Máximo de 0,4
Prata (Ag)	Máximo de 22,2
Selênio (Se)	Máximo de 4,4

Legenda:

¹ - Os limites de toxicidade foram calculados, com base no Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde, alterado pela Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde e assumindo uma dosagem máxima (DMU) de Policloreto de Alumínio (PAC) de 225 mg/L.

4.1.2. CARVÃO ATIVADO EM PÓ – CAP

4.1.2.1. Carvão Ativado de origem vegetal umectado para tratamento de água potável para consumo humano, conforme norma ABNT NBR 15784:2017 - *Produtos químicos utilizados no tratamento de água para consumo humano*, ABNT NBR 14725 – *Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente* e Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, alterado pelas Portarias nº 888, de 4 de maio de 2021 e 2.472, de 28 de setembro de 2021 do Ministério da Saúde. Os parâmetros operacionais deverão atender os parâmetros da norma ANSI/AWWA.

4.1.2.2. Especificações: aspecto sólido, preto, fino e inodoro;

Nº DE IODO	Mín. 800 mg/g
ÍNDICE DE FENOL	Máx. 3,5 g/L
TEOR DE CINZAS	Máx. 10 %
ÍNDICE DE UMIDADE	30% +/- 2%
GRANULOMETRIA:	
Peneira ABNT N 100	Mín. 99%

Peneira ABNT N 200	Mín. 95%
Peneira ABNT N 325	Mín. 90%
TOXICIDADE – LIMITES (mg/kg)¹:	
Arsênio (As)	Máx. 16,0
Cromo (Cr)	Máx. 80,0
Chumbo (Pb)	Máx. 16,0
Prata (Ag)	Máx. 80,0
Mercúrio (Hg)	Máx. 1,6

Legenda:

* Para DMU de 65 mg/L.

4.1.3. CLORO LIQUEFEITO

4.1.3.1. Cloro liquefeito, conforme norma ABNT NBR 15.784:2017 – *Produtos químicos utilizados no tratamento de água para consumo humano*, ABNT NBR 14725 – *Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente*, Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, alterado pela Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde e ABNT NBR 13295 – *Manuseio de Cilindros de Cloro*.

4.1.3.2. Especificações:

Parâmetros	Especificação	Unidade
Cloro (Cl ₂)	> 99,5%	% v/v Cl ₂
Ferro Total	< 15	ppm
Sólidos Totais Fixos	< 100	ppm
Umidade	< 0,015	% em peso

4.1.3.3. A vencedora deverá disponibilizar em regime de comodato:

- 12 (doze) cilindros de 900 kg, de modo a permitir uma logística onde:
 - 04 (quatro) cilindros ficam em operação na Sala de Cloração da ETA Central;
 - 04 (quatro) cilindros ficam em espera na sala de cloração da ETA Central e;
 - 04 (quatro) cilindros ficam no fornecedor aguardando programação de entrega.
- 01 manifold em aço carbono devidamente revestido externamente, para conexão de 08 cilindros subdivididos em 02 baterias com controles de abertura e fechamento independentes.
- 05 cloradores com capacidade para dosagem de até 270 kg/dia cada (compatível com capacidade plena da ETA), destinados a pré-cloração, inter-cloração, pós-cloração e reserva, composto por: 05 válvulas reguladoras de pressão e vácuo; 05 rotâmetros com capacidade para 150 kg/dia (compatível com a capacidade atual) cada em borossilicato com precisão de +/- 4%, flutuadores em material não corrosivo.
- Sistema de dosagem automatizado. O Posicionador de Válvula Automático que conectado diretamente a uma válvula reguladora de pressão e vácuo e através da comunicação via RS485 e/ou 4 a 20 mA para comunicação com o PLC/Supervisório proporcionando assim o ajuste do percentual de abertura da válvula através do computador permitindo a alteração do teor de cloro que é levado para o sistema.

Observações: Todos os equipamentos de automação de dosagem de produtos químicos utilizados no SAMA E de Jaraguá do Sul, são geridos pelo Supervisório

Elipse E3. Portanto, o sistema de dosagem fornecido deverá possuir compatibilidade com os sistemas já utilizados pela Autarquia. A integração dessas informações será de responsabilidade da Autarquia.

- 08 conectores flexíveis de cobre.
- 08 abraçadeiras tipo “Yoke”.
- 01 detector de gás cloro, com transmissor de alarme para o PLC/Supervisório e alarme sonoro (sirene).
- 01 manovacuômetro com selo em aço inoxidável 316 revestido em teflon, com transmissor de sinal para o PLC/Supervisório, para que seja possível identificar a necessidade de troca do conjunto de cilindros de cloro liquefeito.
- 32 roletes fixos para movimentação de cilindros no próprio eixo.
- 01 lavador para gás cloro (treinamento in loco, manual de operação).
- Solução neutralizante em quantidade adequada.
- Ensaio de estanqueidade do manifold.
- Manutenção preventiva programada.

4.1.4. ÁCIDO FLUOSSILÍCICO

4.1.4.1. O produto fornecido na forma líquida de coloração clara, levemente amarelado, fortemente ácido, com odor pungente característico e corrosivo, próprio para utilização em tratamento de água para abastecimento público, conforme norma ABNT NBR 15784:2017 – *Produtos químicos utilizados no tratamento de água para consumo humano*, ABNT NBR 14725 – *Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente* e Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, alterado pelas Portarias nº 888, de 4 de maio de 2021 e 2.472, de 28 de setembro de 2021 do Ministério da Saúde.

4.1.4.2. Especificações:

Característica	Especificação
Teor de H_2SiF_6	Mínimo de 20,0%
Densidade	Mínima de 1,17 g/cm ³
Acidez (devida a outros ácidos expressos em HF)	Máx. 1%
Material em suspensão	Isento
Toxicidade¹:	
Arsênio (As)	Máx. 160 mg/kg
Cromo (Cr)	Máx. 800 mg/kg
Chumbo (Pb)	Máx. 160 mg/kg

Legenda:

¹ - Para uma dosagem máxima (DMU) de 6,25 mg/L do produto.

4.1.5. HIPOCLORITO DE SÓDIO COMERCIAL

4.1.5.1. Produto na forma de solução aquosa, alcalina, de coloração amarelada, límpida e de odor característico, fornecido a granel, conforme norma ABNT NBR 15784:2017 - *Produtos químicos utilizados no tratamento de água para consumo humano*, ABNT NBR 14725 - *Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente* e Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017

do Ministério da Saúde que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, alterada pelas Portarias nº 888, de 4 de maio de 2021 e 2.472, de 28 de setembro de 2021 do Ministério da Saúde.

4.1.5.2. Especificações: o produto deverá atender as seguintes características (conforme norma NBR 11833):

Cloro ativo (% em massa como Cl)	Mínimo 10,0 %
Material Insolúvel	Isento
Densidade mínima de recebimento	1,2
Toxicidade¹:	
Mercúrio	Máx. 0,6 mg/kg

Legenda:

* Para uma DMU de 167 mg/L do produto.

4.1.6. CLORETO DE SÓDIO (SAL)

4.1.6.1. Cloreto de sódio (sal comum), triturado, isento de iodo, próprio para consumo humano para utilização em gerador de solução desinfetante, a partir de sal, energia elétrica e água, o qual está instalado na ETA Sul.

4.1.6.2. Especificações:

Características Organolépticas	Especificação
Aspecto	Cristalino Límpido
Cor	Branca
Odor	Odor característico
Solubilidade mínima	350 Kg/m ³
Características Físicas e Químicas	Especificação
Cloreto de sódio (NaCl)	Mín. 99,2 %
Umidade	Máx. 2%
Cálcio (Ca ²⁺)	Máx. 160 mg/kg
Magnésio (Mg ²⁺)	Máx. 0,075%
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	Máx. 0,045%
Insolúveis (em água 20°C):	Máx. 0,05%
pH	(solução a 10% p/v): 5,0 a 8,5;
Iodo	isento
Dureza total	Máx. 1.000 mg CaCO ₃ /L
Ferrocianato de sódio (ferrocianeto de sódio)	Máx. 5 ppm
Silício aluminato de sódio	Isento
Nitrito	Isento
Turbidez visual	claro límpido
Características Granulométricas	Especificação
Peneira nº 8 (2,36 mm)	Máximo de 5%
Peneira nº 12 (1,70 mm)	Mínimo de 90%

4.1.7. AUXILIAR DE FLOCULAÇÃO

4.1.7.1. Auxiliar de floculação orgânico sintético, em emulsão, com propriedade neutra em solução aquosa (não iônico), próprio para Estação de Tratamento de Água para abastecimento público, conforme norma ABNT NBR 15784:2017 – Produtos químicos utilizados no tratamento de água para consumo humano e ABNT NBR

14725 – Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente e Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, alterada pelas Portarias nº 888, de 4 de maio de 2021 e 2.472, de 28 de setembro de 2021 do Ministério da Saúde.

4.1.7.2. Especificações:

Parâmetros	Especificações
Viscosidade Bulk	500 – 2000 cps
Sólidos não-voláteis	36,0 – 43,0 %
Viscosidade UL	4.30 – 5.70 cps
Acrilamida residual	0 – 499 ppm

4.1.8. HIPOCLORITO DE CÁLCIO EM TABLETES

4.1.8.1. Hipoclorito de cálcio em tabletes. Desinfetante inorgânico em estado sólido (isento de material granulado ou em pó), fornecido na forma de tabletes (pastilhas) embalados em balde de no máximo 15 kg de capacidade, de coloração branca e odor característico.

4.1.8.2. Especificações:

Variáveis	Unidade	Hipoclorito de Cálcio tablete
Cloro ativo	% em massa como Cl ₂	Mín. 65%
Solubilidade em água	g/L	180

Condições toxicológicas, recomendação para o conteúdo máximo de impurezas (RMIC)

Impurezas	RMIC (mg/kg de produto)
Antimônio (Sb)	10
Arsênio (As)	21
Bário (Ba)	1521
Cádmio (Cd)	10
Chumbo (Pb)	21
Cobre (Cu)	4347
Cromo (Cr)	108
Mercúrio (Hg)	2
Selênio (Se)	21
Alumínio (Al)	434
Ferro (Fe)	625
Manganês (Mn)	217

4.1.9. ÁCIDO FOSFÓRICO

4.1.9.1. Ácido fosfórico 85% alimentício é um líquido viscoso e límpido, isento de materiais em suspensão. Possui sabor fortemente ácido e é completamente solúvel em água e álcool. Na indústria pode ser utilizado, dentre outros, como acidulante, alvejante, decapante ou desoxidante. Para o setor de Tratamento de Água, auxilia na limpeza de superfícies de decantadores, floculadores, filtros e reservatórios de armazenamento e distribuição de água.

4.1.9.2. Especificações:

Parâmetros	Especificações
Aspecto	Líquido viscoso incolor
Teor de Pureza	85% (mínimo)
Cloretos	0,002% (máximo)
Sulfatos (ppm)	= MAX (400,00)
Metais Pesados (ppm)	= MAX (10,00)
Arsênio (ppm)	=MAX (2,00)
Fluoretos (%)	= MAX (0,001)
Ferro (ppm)	= MAX (25,00)
Densidade (g/ml)	= MIN (1,6850)
Teor de Fósforo P ₂ O ₅ (%)	= MIN (61,60)

4.1.10. HIDRÓXIDO DE CÁLCIO

4.1.10.1. Produto químico para fins de correção de pH da água filtrada, bem como alcalinização de água bruta para otimização da coagulação química, conforme norma ABNT NBR 15784:2017 - Produtos químicos utilizados no tratamento de água para consumo humano e ABNT NBR 14725 - Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente e Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, alterada pelas Portarias nº 888, de 4 de maio de 2021 e 2.472, de 28 de setembro de 2021 do Ministério da Saúde.

4.1.10.2. Especificações:

Características físico-químicas	Especificação
Teor de Ca(OH) ₂	19% (mínimo) a 21% (máximo)
Substâncias reativas ao HCl (CaCO ₃)	0,80% máximo (m/m)
Hidróxido de magnésio – Mg(OH) ₂	0,50% máximo
Suspensão (estabilidade da suspensão)	95% mínima em 24 horas, proveta de 1.000mL
Teor máximo de insolúveis em HCl (SiO ₂ +Resíduos Insolúveis)	0,25% máximo
Material retido em peneira de 0,075mm (insolúveis em água)	0,60% máximo
Aspecto	Branco leitoso
Massa específica	1,00 a 1,20 g/mL
Viscosidade (Copo Ford 4 mm)	17 s máximo
Toxicidade ¹	Especificação
Dioxina e Furanos	Em conformidade com Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, de 28 de setembro de 2017e ABNT NBR 15.784:2017.
Impurezas metálicas	
Fluoreto	
Radionuclídeos	

Legenda:

¹ Para uma dosagem máxima de uso mínima de 600 mg/L do produto.

4.1.11. ORTOPOLIFOSFATO DE SÓDIO ALIMENTÍCIO

4.1.11.1. Ortopolifosfato de sódio líquido para tratamento de água para consumo humano. Tendo em vista a presença de metais, principalmente o Ferro e o Manganês na água tratada, resultando em pós-precipitação, ocorrendo reações secundárias, o

ortopolifosfato na água potável pode quelar (sequestrar) íons metálicos e impedir a deposição ou formação de camada nos tubos de distribuição, permanecendo a água límpida e cristalina.

4.1.11.2. Especificações:

Características	Especificação
Estado físico	líquido viscoso e denso
Cor	incolor
Qualidade do líquido	sem turbidez e sem depósitos
Solubilidade em água	100 %
Partículas em suspensão	isento
Fósforo Total (% em massa como P ₂ O ₅)	33,00 a 36,80
Fósforo reativo (% em massa como PO ₄)	9,30 a 13,80
Fósforo Total (% em massa como P)	14,40 a 16,06
Fosfatos Condensado/Hidrolisável (% em massa como PO ₄)	0,36 a 39,94
Densidade	1,53 a 1,57 g/cm ³
pH	5,0 ± 0,5
Concentração	mínimo de 55,0% em massa
Insolúveis (% em massa)	máximo 0,10
Toxicidade	Especificação
Atender todos os Requisitos Toxicológicos	Tabela 2 NBR 15007:2017
Atender NBR 15784	DMU – 10 mg/kg (Base Seca)
Toxicidade	Especificação
Estabilidade:	máximo 10% (Atender Anexo H da NBR 15007:2017)
Determinação da Capacidade de complexação do Ferro	Cor Máx. 15 mg/L PtCo

4.2. *Estimativa da quantidade (art. 18, § 1º - IV, da Lei 14.133/2021, art. 6º, IX, Anexo II, do Decreto Municipal nº 16.996/2023)

A tabela abaixo apresenta a estimativa das quantidades necessárias para aquisição dos produtos apresentados na descrição, item anterior:

Item	Estimativa de Consumo	
	Consumo 2025 (kg)	Consumo 2026 (estimado)
Cloreto de Polialumínio - PAC	750.000	900.000
Carvão ativado em pó (solução)	20.000	27.000
Cloro gás	53.200	60.000
Ácido Fluossilícico	60.600	70.000
Hipoclorito de Sódio Comercial 10 a 12%	30.000	30.000
Cloreto de sódio (sal)	29.000	30.000

Polímero não iônico	1.000	2.000
Hipoclorito de cálcio em tabletes	18	28
Hidróxido de Cálcio	70.000	100.000
Ortopolifosfato de sódio alimentício	36.000	40.000

Referente ao ano de 2025, já foram obtidos os consumos relativos aos meses de janeiro a agosto, sendo os meses de setembro a dezembro estimados com base na média de consumo dos demais meses.

Conforme delineado na apresentação da problemática deste estudo, todos os produtos químicos, inclusive aqueles utilizados nas limpezas gerais, dependem diretamente das condições da água bruta captada nos mananciais, a saber, Rio Jaraguá e Rio Itapocú. A qualidade da água desses mananciais superficiais é diretamente influenciada pelas condições climáticas, com impactos tanto em períodos de chuvas quanto de estiagem. Portanto, é imprescindível que o consumo de produtos químicos seja observado sob a ótica do pior cenário possível, ou seja, do maior consumo, a fim de evitar a escassez do produto e, consequentemente, a interrupção do processo de tratamento de água.

Ressalta-se que o saldo total dos contratos pode ser aditivado ou subtraído em até 25% de sua quantidade total. Dessa forma, mesmo ao se estimar quantidades que garantam a segurança na aplicação dos produtos químicos para o ano de 2026, será possível ajustar as quantidades necessárias em resposta às variações climáticas que afetem o consumo, seja para mais ou para menos, garantindo-se, assim, a continuidade e eficácia do tratamento de água.

Cabe enfatizar que no caso do cloro gás, foi percebido um aumento considerável no consumo do produto no ano de 2025 em comparação com 2024. Esse crescimento está ligado ao aumento que pode estar ligado ao crescimento do consumo de água pela população e, principalmente, a qualidade da água do corpo hídrico, considerando que passamos por períodos maiores de estiagem, que causam maior concentração de poluentes e consequentemente maior consumo deste produto. Foi analisada também a possibilidade de haver dosagem acima do comum, no entanto, conforme o controle analítico da ETA Central e dos pontos de coleta na rede de distribuição, essa hipótese não se confirmou, visto que os resultados para cloro residual se mantiveram constante comparando ao ano anterior. Para suprir a quantidade faltante, será necessário aditar 25% do contrato em andamento, quantidade esta que segue junto a renovação do contrato e deve ser suficiente para suprir a demanda do ano de 2026.

4.3. *Estimativa de Valor da Contratação (art. 18, §1º - VI, da Lei 14.133/2021, art. 6º, X, Anexo II, do Decreto Municipal nº 16.996/2023)

Neste item foram levantadas cotações para os objetos estudados neste documento, considerando os dados informados na Tabela 1.

Tabela 2 - Cotações de Preços

Produto Químico	Preço Unitário	Quantidade	Custo total
Cloreto de Polialumínio - PAC	R\$ 1,52	900.000	R\$ 1.368.000,00
Carvão ativado em pó (solução)	R\$ 10,48	27.000	R\$ 282.994,01
Cloro gás	R\$ 13,28	60.000	R\$ 796.659,83

Ácido Fluossilícico	R\$ 2,29	70.000	R\$ 160.425,30
Hipoclorito de Sódio Comercial 10 a 12%	R\$ 1,78	30.000	R\$ 53.299,89
Cloreto de sódio (sal)	R\$ 1,00	30.000	R\$ 30.000,00
Polímero não iônico	R\$ 11,40	2.000	R\$ 22.800,00
Hipoclorito de cálcio em tabletes	R\$ 31,00	28	R\$ 868,00
Hidróxido de Cálcio	R\$ 0,79	100.000	R\$ 78.845,99
Ortopolifosfato de sódio alimentício	R\$ 7,87	40.000	R\$ 314.963,43
Total Estimado			R\$ 3.108.856,44

4.4. *Justificativas para o parcelamento ou não da contratação (art. 18, § 1º VIII, da Lei 14.133/2021, art. 6º, XI, Anexo II, do Decreto Municipal nº 16.996/2023)

A aquisição de produtos químicos deverá acontecer de maneira parcelada, considerando o formato de consumo dos itens, as condições de armazenamento, validade dos produtos e a longevidade dos contratos que serão firmados.

4.5. Resultados pretendidos (art.18, § 1º - IX, da Lei 14.133/2021, art. 6º, XIV, Anexo II, do Decreto Municipal nº 16.996/2023)

A contratação de empresas para o fornecimento de produtos químicos tem como objetivo garantir a manutenção e operação eficientes dos Sistemas de Tratamento de Água de Jaraguá do Sul, assegurando a disponibilidade de água de alta qualidade para a comunidade jaraguense. Este processo é crucial para a remoção de impurezas, controle de contaminantes e manutenção dos padrões de potabilidade estabelecidos pelas autoridades sanitárias.

Ao garantir a qualidade da água distribuída, estamos promovendo diretamente a saúde pública, prevenindo doenças transmitidas por água contaminada e contribuindo para o bem-estar geral da população. A água tratada adequadamente é essencial para o consumo humano, preparação de alimentos, higiene pessoal e diversas outras atividades diárias que impactam diretamente a saúde e a qualidade de vida dos cidadãos.

Além disso, o uso de produtos químicos de qualidade e devidamente dosados nos processos de tratamento minimiza riscos ambientais e preserva os recursos hídricos, proporcionando um ciclo sustentável de uso da água. Portanto, a contratação criteriosa e parcelada de fornecedores de produtos químicos é uma medida

estratégica que garante não apenas a eficiência operacional dos sistemas de tratamento, mas também a proteção da saúde pública e a sustentabilidade ambiental de Jaraguá do Sul.

4.6. Providências a serem adotadas (art. 18, § 1º - X, da Lei 14.133/2021, art. 6º, XV, Anexo II, do Decreto Municipal nº 16.996/2023)

Neste item serão descritas algumas providências que deverão ser tomadas em algumas das fases do processo licitatório, a fim de garantir o sucesso durante a vigência do contrato. O levantamento destas providências foi realizado com base no Mapa de Riscos elaborado anteriormente a este Estudo Técnico e nas características dos objetos referentes a melhor alternativa:

- **Descrição detalhada dos itens:** o primeiro passo para alcançar os resultados pretendidos com a futura licitação é realizar uma descrição detalhada e precisa de cada um dos itens a serem adquiridos, a fim de evitar a aquisição de produtos incompatíveis ou ineficientes para o tratamento de água;
- **Elaboração de métricas para fiscalização:** com base nas descrições dos itens, elaborar métricas claras para a fiscalização do contrato e monitoramento dos lotes de produtos entregues. Definir parâmetros que permitam à autarquia realizar análises e verificar a conformidade com as especificações apresentadas no edital;
- **Recebimento de amostras:** incluir uma etapa de recebimento de amostras durante o certame, para avaliar a qualidade das amostras padrões, nos mesmos moldes que serão avaliados os lotes entregues. Esta medida visa garantir uma contratação segura e proporcionar respaldo para o processo de fiscalização durante as entregas de cada lote;
- **Procedimentos de análise:** disponibilizar no edital todos os procedimentos de análise utilizados para controle das amostras, tanto para o teste durante a licitação quanto para os testes durante as várias entregas do contrato;
- **Treinamento dos fiscais:** realizar o treinamento dos fiscais de contrato, garantindo que eles conheçam os parâmetros de fiscalização necessários para avaliar a entrega de cada lote. Definir métricas para garantir a entrega das quantidades solicitadas, especialmente para produtos líquidos;
- **Condições de recebimento:** especificar no edital as condições de recebimento dos produtos químicos, detalhando locais de entrega, equipamentos disponíveis pela autarquia, equipamentos e materiais que a contratada deve possuir, procedimentos de coleta de amostras, descarregamento e equipamentos de proteção individual necessários. A responsabilidade pelo descarregamento deve ser claramente definida como da contratada;
- **Prazos e formatos de entrega:** definir corretamente os prazos de entrega, o formato dos pedidos e os horários disponíveis na autarquia para recebimento dos produtos;
- **Manutenção preventiva e assistência técnica:** para os itens necessários, solicitar manutenção preventiva e assistência técnica em relação aos equipamentos e materiais fornecidos em comodato;
- **Garantia dos produtos:** definir uma garantia coerente para os produtos químicos. Capacitar os responsáveis pelos pedidos para que considerem o consumo dentro do prazo de validade;
- **Assistência técnica:** solicitar assistência técnica relacionada à aplicação dos produtos químicos;
- **Troca de lotes em desconformidade:** definir métricas claras para a troca de lotes em desconformidade, evidenciando prazos e possíveis sanções;
- **Meios de comunicação:** definir os meios de comunicação entre a contratante e a contratada;
- **Sustentabilidade e preservação ambiental:** considerar medidas que promovam a sustentabilidade e a preservação ambiental;
- **Documentos de segurança:** solicitar via edital a entrega de documentos de segurança relacionados aos produtos químicos, como fichas de segurança (FDS), e garantir que estejam disponíveis para todos os usuários dos produtos químicos;
- **Possibilidade de aditamento contratual:** prever em contrato a possibilidade de aditamento contratual, considerando os possíveis benefícios e o embasamento pela legislação vigente;
- **Requisitos de saúde e segurança:** solicitar à empresa o encaminhamento anual e, após renovações, do Laudo de Atendimento aos Requisitos Básicos de Saúde (LARS) e da

Comprovação de Baixo Risco à Saúde (CBRS), já que a solução gerada pelo sistema é utilizada no tratamento de água.

4.7. Possíveis impactos ambientais (art. 18, §1º - XII, da Lei 14.133/2021, art. 6º, XV, Anexo II, do Decreto Municipal nº 16.996/2023)

Considerando que a aquisição envolve produtos químicos, cada um com potencial de degradação ambiental, é fundamental que todos sejam manuseados e tratados de acordo com procedimentos adequados para evitar impactos ambientais. Os principais impactos desses produtos químicos ocorrem quando há derramamento direto nos corpos hídricos. Para mitigar esses riscos, a Autarquia dispõe de tanques seguros, submetidos a revisões constantes, e todos os produtos são armazenados dentro de contenções apropriadas. Dessa forma, em caso de vazamentos, o produto é contido, recolhido e destinado adequadamente.

Além disso, a Autarquia realiza periodicamente a limpeza dos tanques para receber novos lotes de produtos químicos. Os resíduos de produtos presentes no fundo do tanque, resultantes desse processo de limpeza, são encaminhados para o tratamento de lodo da ETA, onde são devidamente processados para garantir que não sejam liberados nos corpos hídricos, evitando assim a contaminação ambiental.

4.8. *Necessidade de realizar audiência ou consulta pública (art. 6º, V, Anexo II, do Decreto Municipal nº 16.996/2023)

Não há a necessidade de realização de audiência pública.

4.9. *Avaliação dos custos e benefícios da compra, locação ou acesso ao bem (art. 6º, VI, Anexo II, do Decreto Municipal nº 16.996/2023)

A solução escolhida para os produtos químicos foi manter a utilização dos mesmos produtos já aplicados nos anos anteriores. A substituição de cada produto, ou mesmo a análise de sua viabilidade técnica e financeira, requer testes de aplicação e estudos aprofundados para garantir a eficiência do tratamento e a qualidade da água distribuída.

É importante enfatizar que cada um dos produtos atualmente utilizados passou por estudos que comprovaram suas viabilidades técnica e financeira. Esses estudos foram realizados com o objetivo de garantir, além da qualidade da água, a segurança operacional e ocupacional, a minimização de erros operacionais e a sustentabilidade ambiental. Dessa forma, a continuidade no uso desses produtos assegura a manutenção dos altos padrões de qualidade e segurança já estabelecidos.

4.10. *Adoção de opção logística menos onerosa à Administração (art. 6º, VII, Anexo II, do Decreto Municipal nº 16.996/2023)

Devido ao escopo da futura licitação, não há como realizar chamamentos públicos de doação e permutas.

4.11. *Contratações correlatas e/ou interdependentes (art. 6º, XII, Anexo II, do Decreto Municipal nº 16.996/2023)

As contratações correlatas são:

- **Manutenção do sistema de geração de hipoclorito de sódio:** para a produção de hipoclorito de sódio a partir do cloreto de sódio, é essencial manter o contrato de locação do sistema de geração associado;
- **Armazenamento de produtos em containers de mil litros:** para os produtos armazenados em containers de mil litros que não estejam previstos como comodato, é necessário garantir a disponibilidade de tanques adequados para seu armazenamento;
- **Contratos de manutenção:** assegurar a existência de contratos com empresas especializadas para a manutenção de agitadores e dosadores, garantindo assim o correto armazenamento e dosagem dos produtos químicos;

- **Licitação para dosadoras e peças:** realizar licitação para aquisição de dosadoras e peças de reposição conforme a necessidade, assegurando que os equipamentos estejam sempre em condições adequadas de operação.

4.12. Descrição dos requisitos de potencial contratação (art. 18º, § 1º - III, da Lei 14.133/2021, art. 6º, II, Anexo II, do Decreto Municipal nº 16.996/2023)

Considerando as características básicas dos itens referentes a este estudo e os dispositivos previstos na lei, sugere-se para esta contratação os seguintes parâmetros:

- **Realização de Pregão Eletrônico**, possibilitando maior agilidade no processo, melhores propostas e, conseqüentemente maior vantagem nas propostas:

Art. 6º:

XLI - pregão: modalidade de licitação obrigatória para aquisição de bens e serviços comuns, cujo critério de julgamento poderá ser o de menor preço ou o de maior desconto;

Art. 17:

§ 2º As licitações serão realizadas preferencialmente sob a forma eletrônica, admitida a utilização da forma presencial, desde que motivada, devendo a sessão pública ser registrada em ata e gravada em áudio e vídeo.

Adjudicação das propostas por item (art. 82, § 1º, da Lei 14.133/2021)

Art. 82. O edital de licitação para registro de preços observará as regras gerais desta Lei e deverá dispor sobre:

§ 1º O critério de julgamento de menor preço por grupo de itens somente poderá ser adotado quando for demonstrada a inviabilidade de se promover a adjudicação por item e for evidenciada a sua vantagem técnica e econômica, e o critério de aceitabilidade de preços unitários máximos deverão ser indicados no edital.

Justifica-se a escolha de uma contratação, através de um pregão eletrônico cuja adjudicação será por item, pelo fato de ser uma aquisição única.

Para o item "ácido fosfórico", este estudo sugere a implementação de uma Ata de Registro de Preços. Isso se deve ao fato de que está planejada uma revitalização da pintura dos filtros na ETA Central, onde o produto é utilizado. Caso essa revitalização elimine a necessidade de aplicação do ácido fosfórico, a Ata permitirá flexibilidade, evitando a obrigatoriedade de consumir toda a quantidade estimada.

OBSERVAÇÃO: Nos termos do §2º, do art. 18 da Lei Federal 14.133/2021 e do §1º, do art. 6º, Anexo II, do Decreto Municipal nº 16.996/2023, os itens: II – 1; III – 2; IV – 2, 3, 7, 8, 9 e 10; V, deste ETP são elementos obrigatórios, sendo que os demais tópicos, quando não contemplados, devem conter a devida justificativa do porquê da sua não utilização.

5 *POSICIONAMENTO CONCLUSIVO (Art. 18, §1º - XIII, da Lei 14.133/2021, art. 6º, XVI, Anexo II, do Decreto Municipal 16.996/2023)

O acesso à água e ao saneamento são direitos fundamentais, e a garantia de água potável e segura para consumo humano é uma prioridade para o Samae de Jaraguá do Sul. A manutenção de um processo de tratamento de água eficaz e contínuo é essencial para a saúde pública e a qualidade de vida da população.

A contratação estratégica de empresas para o fornecimento de produtos químicos é vital para a operação eficiente das Estações de Tratamento de Água. A solução técnica adotada, baseada em um estudo aprofundado, prioriza a continuidade no uso de produtos já comprovados. Essa abordagem garante a segurança operacional e a manutenção dos altos padrões de qualidade da água, evitando a necessidade de testes e estudos complexos que uma mudança de produtos exigiria. Além disso, a análise realizada identificou e incluiu medidas preventivas no

termo de referência, como a especificação clara dos produtos e a definição de responsabilidades, o que reforça a transparência e a eficiência na gestão dos recursos públicos.

A maioria dos contratos de fornecimento de produtos químicos será renovada, pois a renovação se mostrou a opção mais vantajosa para o Samae. A economia é significativa, já que a manutenção dos contratos existentes permite apenas o reajuste dos valores pelo INPC, resultando em custos menores do que os preços praticados atualmente no mercado.

No entanto, a licitação para a compra de Cloreto de Polialumínio e Cloreto de Sódio será necessária, pois as empresas atuais não demonstraram interesse em renovar seus contratos. Já para os produtos polímero (auxiliar de floculação) e hipoclorito de cálcio em tabletes, a análise para renovação será feita mais próximo à data de vencimento, em abril de 2026. Com essas ações, o Samae garante a aquisição dos insumos necessários para a continuidade da distribuição de água de alta qualidade para a população de Jaraguá do Sul.

Jaraguá do Sul, 19 de setembro de 2025

Hericsen Meneghelli
Coordenador de ETA

Tuhã Scmitt do Evangelho
Diretor Técnico

ANEXO I DO ESTUDO TÉCNICO PRELIMINAR
MAPA DE RISCOS**Área solicitante:** Coordenadoria da ETA/ Diretoria Técnica**Objeto:** Aquisição de Produtos Químicos

Fase	Risco	Responsável	Consequências	Medidas
Preliminar	Falta de clareza pelo requisitante quanto à descrição do objeto	Coordenadoria ETA/ Diretoria Técnica	Questionamentos à licitação com expansão do prazo para abertura dos envelopes; Objeto não bem descrito com possibilidade de problemas contratuais ao longo da execução.	Preventivas: Análise detalhada de todo objeto a ser contrato pela área solicitante, com descrição do objeto bem definido no termo de referência. Contingência: Atuação da gestão contratual na fase de execução do contrato para correção da clareza do objeto
Licitatória	Atraso ou suspensão no processo contratual em fase de impugnações	Coordenadoria ETA/ Diretoria Técnica, Compras e licitações, e Comissão de licitação	Atraso no início da execução contratual	Preventivas: Análise detalhada de todo objeto a ser contrato pela área solicitante, com descrição do objeto bem definido no Termo de Referência, visando evitar possíveis impugnações futuras Contingência: Atuação ágil dos setores em conjunto no sentido de responder os questionamentos e impugnações

Executiva	Recebimento de produtos que não atendem a descrição do objeto	Fiscalização do contrato	Desperdício de recursos públicos e não atendimento ao objetivo da licitação	Preventivas: Treinamento adequado aos fiscais de contrato. Definir claramente as métricas para troca dos produtos, prazos e possíveis sanções. Contingência: Se for percebida inconsistência nos itens entregues, realizar a devolução e solicitar a troca urgente conforme definido no termo de referência.
Executiva	Inexecução contratual pela contratada	Fiscalização do contrato	Não execução contratual	Preventivas: Escopo claro e bem definido no edital para atuação da contratada Contingência: Fiscalização efetiva no cumprimento contratual