



I-005 - USO DE COAGULANTE ORGÂNICO À BASE DE TANINO NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO – UM ESTUDO DE CASO

Arlindo Soares Räder⁽¹⁾

Graduado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Engenheiro Químico Responsável Técnico pelo Tratamento de Água e Esgoto da **COMUSA – Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo**.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Coronel Travassos, n.º 287 – Bairro Rondônia – Novo Hamburgo – RS – CEP 93.415-000 – Brasil – Tel.: +55 (51) 3036 1124 – Fax: +55 (51) 3036 1129 – E-mail: arader@comusa.com.br

RESUMO

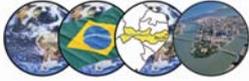
A maioria das Estações de Tratamento de Água (ETA) para consumo humano no Brasil e no mundo utiliza normalmente, para promover a coagulação química na etapa de clarificação da água, sais inorgânicos ou à base de alumínio (sulfato de alumínio) ou ferro (cloreto férrico). Em alternativa ao uso desses sais inorgânicos baseados em metais para promover a coagulação química, pode-se mencionar os produtos químicos orgânico-vegetais à base de taninos, ainda muito pouco utilizados no tratamento de água para consumo humano. Neste contexto, o presente trabalho relata a experiência da **COMUSA – Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo**, com relação ao uso de coagulantes/floculantes orgânico-vegetais à base de taninos em sua ETA. Especificamente, um polímero orgânico-catiônico à base de tanino, extraído da casca da árvore *Acácia Negra* tendo como princípio ativo o *tanato quaternário de amônio*. Para tanto, apresenta-se dados reais de processo, através do acompanhamento da qualidade da água bruta e tratada, considerando os parâmetros físico-químicos (de análise de rotina) denominados pH, cor aparente e turbidez, referente aos anos de 2006, 2007 e 2008. Adicionalmente, tem-se uma breve discussão sobre os custos envolvidos no tratamento de água com relação ao uso deste coagulante/floculante orgânico-vegetal à base de tanino. Os resultados estudados e apresentados permitem concluir, claramente, que a qualidade da água tratada com o coagulante/floculante orgânico-vegetal à base de tanino cumpre integralmente os padrões e exigências determinadas pela *Portaria n.º 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde*, legislação que regulamenta o padrão de potabilidade de água destinada ao consumo humano no Brasil. A ETA em questão produz aproximadamente $0,720\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ de água tratada. É responsável pelo abastecimento público de água potável para o município de Novo Hamburgo – RS. Em função das características físico-químicas do manancial abastecedor (Rio dos Sinos), o tratamento é do tipo físico-químico completo (coagulação/floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação).

PALAVRAS-CHAVE: coagulante orgânico, tratamento de água, tanino, tanato quaternário de amônio.

1. INTRODUÇÃO

Normalmente em Estações de Tratamento de Água (ETA) destinadas ao consumo humano são utilizados sais inorgânicos à base de alumínio e/ou ferro como agentes coagulantes/floculantes para promover a coagulação química. Dentre os muitos produtos disponíveis atualmente no mercado, pode-se mencionar o sulfato de alumínio, o sulfato de alumínio amoniacal e o aluminato de sódio, como exemplos de sais de alumínio, bem como o cloreto férrico e o sulfato ferroso, como exemplos de sais de ferro, entre muitos outros. Esses sais (inorgânicos baseados em metais) são adicionados à água denominada bruta (isenta de qualquer tipo de tratamento e, conseqüentemente, imprópria para consumo humano), com o objetivo de remover cor (causada por substâncias que estão dissolvidas na água), turbidez (causada por substâncias que estão em suspensão na água) e carga orgânica. A adição desses produtos à água causa a desestabilização das substâncias (contaminantes) presentes em suspensão na água com conseqüente formação de agregados particulados maiores denominadas flocos, os quais podem ser facilmente removidos por processos físicos de separação, tais como decantação ou flotação.

Algumas das dificuldades normalmente encontradas nos processos de coagulação/floculação, tais como baixa eficiência de formação de flocos, precipitados de baixa decantabilidade e/ou flocos frágeis facilmente fragmentáveis sob ação de forças de natureza hidráulica, podem ser resolvidas fazendo-se uso de produtos



químicos denominados auxiliares de coagulação/floculação. Os produtos químicos auxiliares de coagulação/floculação mais conhecidos e utilizados são os polieletrólitos, sílica ativada e polímeros sintéticos, entre inúmeros outros.

Com relação ao processo de tratamento de água adotado pela ETA pertencente à **COMUSA – Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo**, até aproximadamente agosto de 2001, utilizava-se o produto químico sulfato de alumínio (solução líquida) como agente coagulante/floculante principal. Paralelamente, utilizava-se um polieletrólito como auxiliar com a finalidade de melhorar as condições da água bruta para a aplicação do sulfato de alumínio. Adicionalmente, com o objetivo de ajustar a faixa de pH da água, a **COMUSA** utilizava, num primeiro momento, o produto químico sólido denominado cal hidratado, o qual foi posteriormente substituído por uma solução líquida de hidróxido de sódio. Estes produtos eram adicionados diretamente na água a ser tratada e praticamente junto (no mesmo ponto de aplicação) com o agente coagulante/floculante sulfato de alumínio. A utilização destes produtos químicos alcalinizantes não foi mais necessária, quando houve a troca de tecnologia de coagulação/floculação baseada no sal inorgânico sulfato de alumínio (a qual exigia ajustes na faixa de pH), pela tecnologia baseada no coagulante/floculante orgânico-vegetal à base de tanino.

Atualmente a **COMUSA** utiliza um polímero orgânico-catiônico de baixa massa molar de origem orgânico-vegetal à base de tanino, não tóxico, extraído da casca da árvore Acácia Negra, como agente coagulante/floculante principal. O princípio ativo deste agente coagulante/floculante é o **tanato quaternário de amônio** (TANAC, 2008).

As Figuras 1 e 2, na seqüência, apresentam as estruturas químicas da molécula do tanato quaternário de amônio e do tanato quaternário de amônio na forma polimerizada, respectivamente (TANAC, 2008).

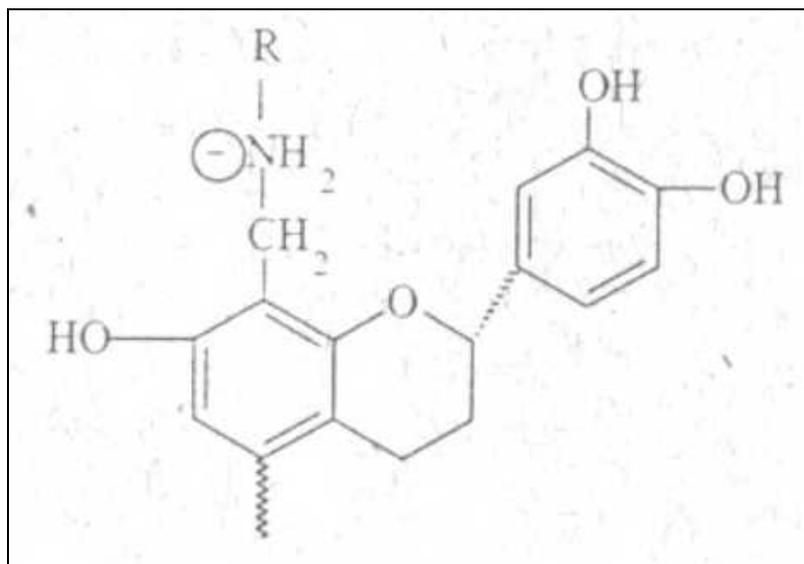


Figura 1. Estrutura química da molécula denominada tanato quaternário de amônio.

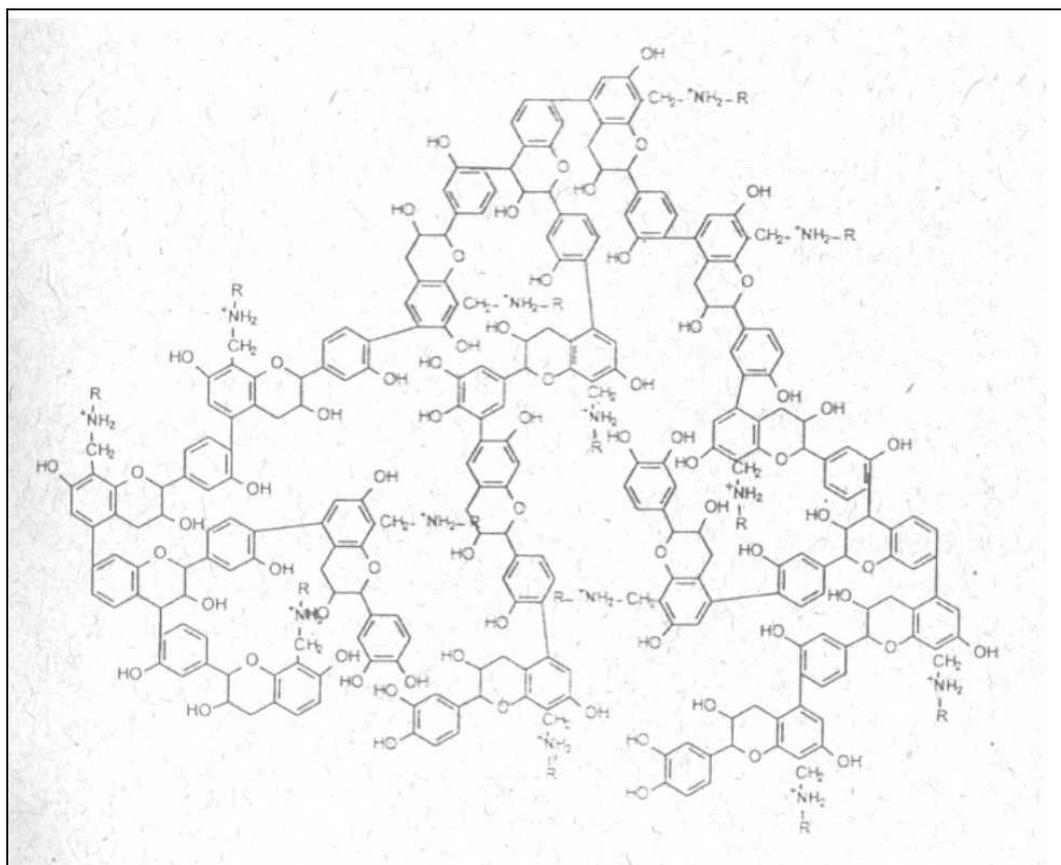


Figura 2. Estrutura química da molécula denominada tanato quaternário de amônio na forma polimerizada.

Este produto mostra-se um eficiente coagulante/floculante natural. Por não consumir a alcalinidade da água, quando adicionado à mesma, não causa alterações significativas de pH e, conseqüentemente, não há necessidade de adição de produtos químicos alcalinizantes durante o processo de tratamento de água. O pH da água tratada permanece praticamente inalterado durante todo o processo. A faixa de pH para que ocorra o processo de coagulação/floculação, considerando este produto, é aproximadamente de 4 a 8, conforme especificação técnica da empresa fabricante. Como agente coagulante/floculante auxiliar, a **COMUSA** ainda utiliza um produto químico (solução líquida) à base de poliaminas.

A **COMUSA** produz atualmente em média $1.870.000\text{m}^3$ de água potável por mês ($\sim 0,720\text{m}^3.\text{s}^{-1}$). É responsável pelo abastecimento público de água potável para o município de Novo Hamburgo, atendendo aproximadamente 96% da população urbana, ou seja, ± 244.000 habitantes.

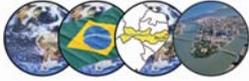
O município de Novo Hamburgo está localizado no Estado do Rio Grande do Sul, especificamente na Bacia Hidrográfica do **Rio dos Sinos**, rio que serve de manancial abastecedor para a ETA da **COMUSA**. Devido às características físico-químicas e microbiológicas da água do manancial abastecedor, o qual é muito rico em substâncias húmicas e despejos de esgotos de origem doméstico-sanitária, o tratamento de água adotado pela **COMUSA** é do tipo físico-químico completo, ou seja, apresenta as etapas denominadas coagulação/floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação.

Na seqüência, têm-se a descrição dos objetivos, geral e específico, do presente trabalho.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho consiste em apresentar uma ETA para consumo humano que utiliza um polímero orgânico-catiônico de baixa massa molar de origem totalmente orgânico-vegetal à base de tanino,



extraído da casca da árvore Acácia Negra, como agente coagulante/floculante principal. O princípio ativo deste coagulante é o *tanato quaternário de amônio*, o qual funciona como um polímero orgânico-catiônico.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

O objetivo específico consiste em apresentar dados reais de processo, expressos em termos dos parâmetros físico-químicos (de análise de rotina) denominados pH, cor aparente e turbidez da água bruta e tratada, referente aos anos 2006, 2007 e 2008. Posteriormente, tem-se uma breve discussão sobre os custos envolvidos no tratamento de água com o uso deste coagulante orgânico.

3. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

3.1 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS

Os parâmetros físico-químicos (de análise de rotina), utilizados neste trabalho, são de caráter gerencial usados pelos operadores, técnicos e engenheiros da **COMUSA** para tomadas de decisões quanto à operação da ETA para manter a produção de água tratada com qualidade e quantidade adequada aos usuários. O controle de qualidade obedece aos procedimentos estabelecidos pela *Portaria n°518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde*. As metodologias analíticas utilizadas nos laboratórios da **COMUSA** para determinação dos parâmetros físico-químicos denominados pH, cor aparente e turbidez, bem como outros parâmetros pertinentes ao processo, mas não objeto de estudo neste trabalho, atendem às especificações das normas nacionais e a edição mais recente da publicação *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, de autoria das instituições *American Public Health Association (APHA)*, *American Water Works Association (AWWA)* e *Water Environment Federation (WEF)*, ou das normas publicadas pela *International Standardization Organization (ISO)*. Desta forma, tem-se um monitoramento rigoroso e contínuo da qualidade da água, conforme exigência da *Portaria n°518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde*, proporcionando uma água tratada que atenda aos padrões de potabilidade exigidos para o consumo humano.

Um estudo da qualidade da água, ou seja, das características físico-químicas da água bruta e tratada, considerando os parâmetros físico-químicos denominados pH, cor aparente e turbidez, é adequado para os objetivos propostos neste trabalho.

3.2 DEFINIÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS ANALISADOS

3.2.1 PARÂMETRO FÍSICO-QUÍMICO DENOMINADO pH

O parâmetro físico-químico denominado pH (potencial de hidrogênio ou potencial hidrogeniônico) indica o quanto uma água é ácida (pH inferior a 7) ou alcalina (pH superior a 7).

A *Portaria n°518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde* recomenda que a faixa de pH da água tratada esteja entre 6,0 a 9,5. Valores fora da faixa recomendada podem alterar o sabor da água e contribuir para a corrosão do sistema de distribuição.

3.2.2 PARÂMETRO FÍSICO-QUÍMICO DENOMINADO COR

O parâmetro físico-químico denominado cor é proveniente da presença de substâncias coradas dissolvidas na água, podendo-se ainda classificar em cor verdadeira e cor aparente, conforme definido a seguir.

1. **Cor verdadeira:** devida somente às substâncias dissolvidas tendo sido separada a turbidez.
2. **Cor aparente:** devida à cor e turbidez, determinada sem separação do material em suspensão.

A água colorida é de aspecto desagradável (fator estético), sendo indesejável ao abastecimento público. A cor exerce influência na escolha do tipo do tratamento a que deve ser submetida a água e sua variação obriga a alterar a dosagem dos produtos químicos usados na etapa de clarificação. A cor natural provém principalmente da vegetação e de processos de degradação do ambiente. O valor máximo permitido pelo padrão de potabilidade é 15uH. Onde uH significa unidade Hazen ou mg.L^{-1} de Pt-Co.

Os resultados de análise de cor utilizados neste trabalho são devido à **cor aparente**, ou seja, **não sendo separada da turbidez**. A unidade de medida utilizada é a unidade Hazen (uH).



3.2.3 PARÂMETRO FÍSICO-QUÍMICO DENOMINADO TURBIDEZ

O parâmetro físico-químico denominado turbidez é proveniente da presença de substâncias visíveis em suspensão que interferem na transparência da água. Indica o grau de transparência da água. As matérias em suspensão, normalmente encontradas nas águas, são sílica, argila, matéria orgânica finamente dividida, plâncton e outros microorganismos. A turbidez também pode ser devida à presença de pequenas bolhas de ar. A turbidez define-se como sendo a medida da interferência à passagem da luz, provocada pelas matérias (partículas) em suspensão, ocasionando a reflexão e a absorção da luz. Depende da granulometria e da concentração das partículas. Partículas grandes, mesmo em concentrações elevadas, acusam pequena turbidez, enquanto que partículas menores acusam maior turbidez. Assim como a cor a turbidez também está relacionada com fator estético. Águas com altos valores de turbidez podem reduzir a eficiência do tratamento e alterar o sabor e odor da água. O valor máximo permitido pelo padrão de potabilidade é 5UNT. Onde UNT significa unidade nefelométrica de turbidez (UNT).

Os resultados de análise de turbidez utilizados neste trabalho apresentam como unidade de medida a unidade nefelométrica de turbidez (UNT).

3.3 FORMA DE APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DE ANÁLISE

Os valores médios diários para os parâmetros pH, cor aparente e turbidez estão baseados em doze medições diárias, considerando frequência de duas em duas horas. Os valores médios diários para turbidez da água bruta e floculada estão baseados em vinte e quatro medições diárias, considerando frequência de uma em uma hora. Desta forma, têm-se os valores médios mensais de pH, cor aparente e turbidez, calculados a partir das médias diárias dos mesmos.

Torna-se importante mencionar que se optou por apresentar, neste trabalho, médias mensais dos parâmetros analisados, e não uma distribuição dos dados ao longo do mês, por três motivos principais:

1. Os valores dos dados médios mensais, calculados a partir das médias diárias, representam, para os objetivos propostos neste trabalho, adequadamente as características físico-químicas da água observadas para o respectivo mês em estudo tendo-se, conseqüentemente, uma distribuição anual.

2. No caso da apresentação de uma distribuição dos dados ao longo do mês ao invés de valores médios, haveria um número excessivo de informações, podendo acarretar, conseqüentemente, tabelas e gráficos “poluídos visualmente”. Este fato poderia dificultar a correta interpretação das características da água, o que não ocorre com a apresentação dos valores médios.

3. Os valores dos dados médios mensais, calculados a partir das médias diárias, e que representam, para os objetivos propostos neste trabalho, adequadamente as características físico-químicas da água observadas para o respectivo mês em estudo, são os valores informados mês a mês às casas dos usuários na conta de água e no “Relatório Anual da Qualidade da Água”, de acordo com o Decreto nº5440, de 04 de maio de 2005, da Presidência da República.

Os resultados de análise (valores médios mensais) para os parâmetros pH, cor aparente e turbidez, apresentados na próxima seção, ilustram a importância da **correta dosagem de agente coagulante/floculante** na etapa de clarificação da água. Da determinação e da verificação periódica da correta dosagem ou – **dosagem ótima** – e da **correta operação de uma ETA**, dependerão as características físico-químicas da água em cada etapa unitária do processo e, conseqüentemente, as características da água tratada garantindo o cumprimento das normas e os padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 COM RELAÇÃO ÀS FREQUÊNCIAS DE ANÁLISES E OPERAÇÃO DA ETA

A frequência com que os parâmetros pH, cor aparente e turbidez são monitorados, tanto na água bruta quanto em todas as etapas unitárias envolvidas no processo de tratamento adotado pela COMUSA, é de duas em duas horas, com exceção do parâmetro turbidez da água bruta e floculada, o qual é monitorado com frequência de uma em uma hora. A turbidez e a cor da água bruta e floculada, junto com a condutividade elétrica da água bruta são considerados parâmetros chave para determinação da (correta) dosagem de floculante orgânico à



ETA e para verificação da eficiência da floculação. Outros parâmetros de natureza físico-química que normalmente interferem na dosagem de agentes coagulantes/floculantes são: sólidos suspensos (SS), pH, matéria orgânica (MO), dureza, alcalinidade entre outros. Assim sendo, com relação aos parâmetros objetos de estudo do presente trabalho, a cada duas horas coleta-se amostras de água bruta, floculada, decantada, filtrada e tratada para as análises de pH, cor aparente e turbidez. A cada uma hora coleta-se amostras de água bruta e floculada.

Para o caso específico da ETA da **COMUSA**, como referência operacional, adota-se normalmente o valor de turbidez igual a 0,20UNT para água floculada. Dependendo das características da água bruta, pode-se trabalhar com valores de turbidez da ordem de 0,30UNT e, no máximo, até 0,40UNT. Valores acima de 0,40UNT na água floculada podem comprometer a qualidade da água decantada e, conseqüentemente, a água filtrada e tratada. Normalmente, trabalha-se com valores de turbidez da ordem de 2,00UNT na água decantada. Após filtração, tem-se turbidez da ordem de 0,40UNT.

Com relação ao parâmetro cor aparente, trabalha-se com valores da ordem de 0uH na água floculada. Na água decantada, tem-se valores da ordem de 10 a 20uH. Nestas condições, após filtração, têm-se valores da ordem de 0uH até, no máximo, 5uH na água tratada.

As análises de turbidez e cor aparente na água floculada são efetuadas após filtração das amostras em laboratório. As amostras são filtradas por gravidade utilizando-se algodão como meio filtrante. Por este motivo, os valores dos parâmetros turbidez e cor aparente verificados na água decantada são sempre maiores que os valores verificados na água floculada. Adicionalmente, são efetuadas análises com frequência diária referentes às concentrações residuais do coagulante/floculante orgânico à base de tanino na água filtrada. Para tanto, tem-se uma curva de calibração a qual relaciona concentração do coagulante orgânico e absorvância. Esta curva de calibração, determinada em laboratório através do preparo de soluções com concentrações conhecidas do coagulante orgânico, é atualizada periodicamente. O valor máximo de residual encontrado, até a presente data, foi igual a 0,91mg.L⁻¹ na água filtrada, verificado no mês de janeiro de 2008.

Como ferramenta (prática) para a determinação das dosagens (ótimas) de coagulante/floculante, tem-se o ensaio (ou teste) dos jarros, efetuado em laboratório, pela equipe técnica do laboratório pertencente à ETA. Este ensaio tem por finalidade simular, em escala laboratorial, as condições experimentais existentes na ETA. É efetuado com determinada frequência e, principalmente, sempre que ocorre alguma alteração nas características físico-químicas da água bruta, detectadas nas análises de rotina, que exija alteração nas dosagens. Com este procedimento, tem-se um monitoramento contínuo para a verificação da correta dosagem (otimização) de coagulante a ser utilizada na ETA. Com base nos resultados destes testes laboratoriais, bem como nas análises de rotina do tratamento de água, são realizadas as decisões quanto à operação da ETA.

A dosagem típica para o coagulante orgânico, considerando as características físico-químicas da água do manancial abastecedor (**Rio dos Sinos**), bem como as características construtivas e de capacidade de tratamento de água da ETA da **COMUSA**, situa-se na faixa entre aproximadamente 30 a 120mg.L⁻¹. Normalmente, têm-se dosagens da ordem de 30 a 45mg.L⁻¹. Em situações excepcionais, onde os valores de cor aparente e turbidez para a água bruta estão muito acima dos valores médios considerados típicos (~200 a 400uH para cor, ~30 a 50UNT para turbidez e ~80 a 110µS.cm⁻¹ para a condutividade elétrica da água) para a realidade da **COMUSA**, ou seja, valores da ordem de 2000uH para cor e 400UNT para turbidez ou superiores, combinados com baixos valores de condutividade elétrica da água, entre 49 a 70µS.cm⁻¹, a dosagem do coagulante/floculante orgânico à base de tanino pode atingir valores de até 120mg.L⁻¹. Condições deste tipo, consideradas atípicas, foram observadas durante vários dias consecutivos (por algumas horas) no mês de março de 2007 exigindo, conseqüentemente, dosagens acima de 80mg.L⁻¹ chegando a atingir valores da ordem de até 120 a 150mg.L⁻¹. Para o produto químico (solução líquida) à base de poliaminas, utilizado como auxiliar de coagulação/floculação, as dosagens consideradas típicas são da ordem de 3 a 5mg.L⁻¹. Eventualmente, em função das características físico-químicas da água do manancial abastecedor, há a necessidade de dosagens da ordem de 6 a 12mg.L⁻¹ deste auxiliar de coagulação/floculação.

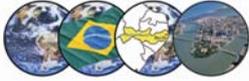
4.2 COM RELAÇÃO AOS DADOS DE PROCESSO SOB ESTUDO

A Tabela 1, na seqüência, apresenta os resultados de turbidez, cor aparente e pH para água bruta e tratada (distribuída pela rede de abastecimento), referente aos anos de 2006, 2007 e 2008. Médias mensais e anuais baseadas em médias diárias conforme descritas na secção anterior.



Tabela 1. Resultados médios mensais e anuais dos parâmetros físico-químicos denominados pH, cor aparente e turbidez para a água bruta e tratada, com relação aos anos de 2006, 2007 e 2008.

Características da água bruta e tratada - ano de referência 2006						
Meses	pH bruta	pH tratada	Cor bruta (uH)	Cor tratada (uH)	Turbidez bruta (UNT)	Turbidez tratada (UNT)
Janeiro	6,47	6,61	231,26	1,40	51,00	0,64
Fevereiro	6,74	6,59	140,46	2,00	31,00	0,68
Março	6,96	6,68	188,18	0,84	44,00	0,54
Abril	6,82	6,63	171,29	0,85	29,00	0,43
Mai	6,94	6,64	204,47	0,73	34,00	0,37
Junho	6,92	6,44	289,50	0,73	48,00	0,46
Julho	6,91	6,58	179,88	0,61	28,00	0,43
Agosto	6,83	6,41	215,99	0,19	35,00	0,38
Setembro	6,78	6,42	233,23	0,58	39,00	0,41
Outubro	6,79	6,48	130,24	0,81	20,00	0,48
Novembro	6,80	6,45	214,93	1,38	33,00	0,54
Dezembro	6,75	6,48	222,69	0,55	33,00	0,43
Média anual	6,81	6,53	201,84	0,89	35,42	0,48
Características da água bruta e tratada - ano de referência 2007						
Meses	pH bruta	pH tratada	Cor bruta (uH)	Cor tratada (uH)	Turbidez bruta (UNT)	Turbidez tratada (UNT)
Janeiro	6,83	6,43	292,00	0,10	45,00	0,42
Fevereiro	6,68	6,47	310,60	0,48	51,00	0,45
Março	6,61	6,43	370,00	3,66	38,00	0,62
Abril	6,83	6,63	279,60	1,87	31,00	0,55
Mai	6,84	6,50	391,00	1,26	45,00	0,53
Junho	6,89	6,55	352,00	1,25	41,00	0,53
Julho	7,09	6,69	410,00	1,44	49,00	0,50
Agosto	7,26	6,57	280,80	0,94	34,00	0,54
Setembro	6,96	6,45	354,40	1,84	42,00	0,58
Outubro	6,86	6,66	257,00	1,96	26,00	0,62
Novembro	6,81	6,69	376,00	0,88	43,00	0,49
Dezembro	6,86	6,61	235,00	0,62	28,00	0,44
Média anual	6,88	6,56	325,70	1,36	39,42	0,52
Características da água bruta e tratada - ano de referência 2008						
Meses	pH bruta	pH tratada	Cor bruta (uH)	Cor tratada (uH)	Turbidez bruta (UNT)	Turbidez tratada (UNT)
Janeiro	6,87	6,59	262,00	1,00	28,00	0,38
Fevereiro	6,88	6,50	380,50	1,00	46,00	0,43
Março	6,81	6,57	282,00	1,00	33,00	0,41
Abril	6,77	6,45	282,32	1,00	34,00	0,44
Mai	6,66	6,15	259,57	1,00	59,00	0,53
Junho	6,84	6,36	241,00	0,00	40,00	0,38
Julho	6,85	6,50	166,91	1,00	26,00	0,45
Agosto	6,80	6,20	296,29	1,00	51,00	0,44
Setembro	6,83	6,37	277,77	1,00	47,00	0,36
Outubro	6,82	6,47	265,61	0,00	45,00	0,36
Novembro	6,77	6,67	151,21	0,00	21,00	0,36
Dezembro	6,72	6,51	159,05	1,00	24,00	0,37
Média anual	6,80	6,45	252,02	0,75	37,83	0,41



Para efeitos de interpretação dos resultados apresentados na Tabela 1, com relação aos parâmetros denominados pH, cor aparente e turbidez, as Figuras 3 a 11 mostram, a seguir, os valores médios destes parâmetros estudados sob a forma de gráficos de barras verticais. O eixo das abscissas representa o período de tempo estudado, quantificado em meses. Entretanto, com relação aos parâmetros físico-químicos denominados cor aparente e turbidez (Figuras 6 a 11), para facilitar a leitura e interpretação, em virtude das escalas de valores para esses parâmetros (na água bruta e tratada) apresentarem ordens de grandeza muito diferentes, optou-se em trabalhar com gráficos de duas escalas. Assim sendo, o eixo das ordenadas à esquerda representa os valores dos parâmetros para a água bruta, enquanto que o eixo das ordenadas à direita representa os valores dos mesmos parâmetros para a água tratada.

As Figuras 3, 4 e 5 exibem os valores médios mensais de pH para a água bruta e tratada para os anos de 2006, 2007 e 2008, respectivamente.

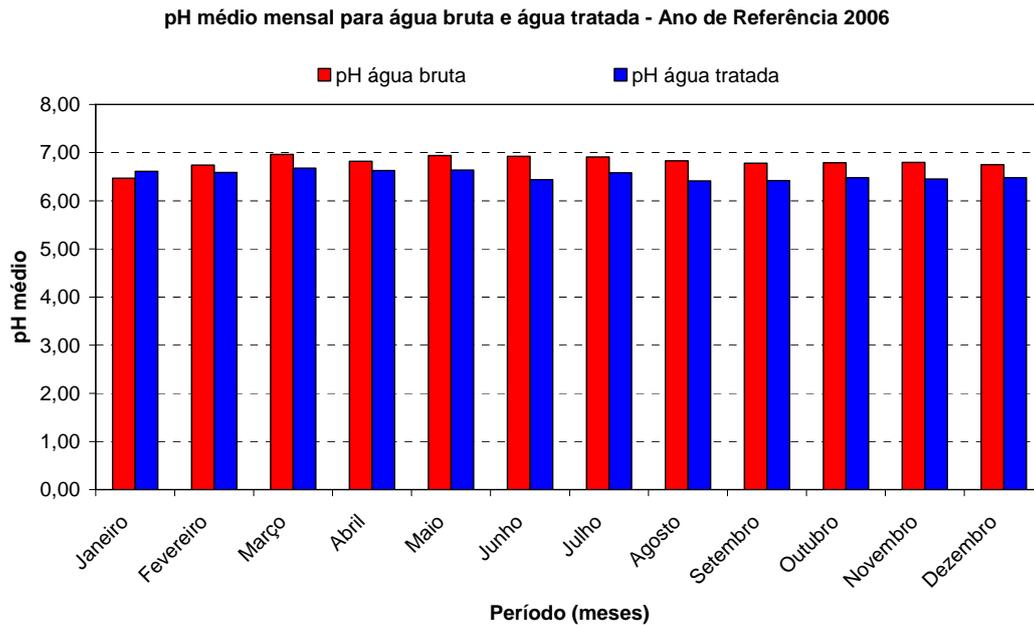


Figura 3. Valores médios mensais de pH para a água bruta e tratada – ano de referência 2006.

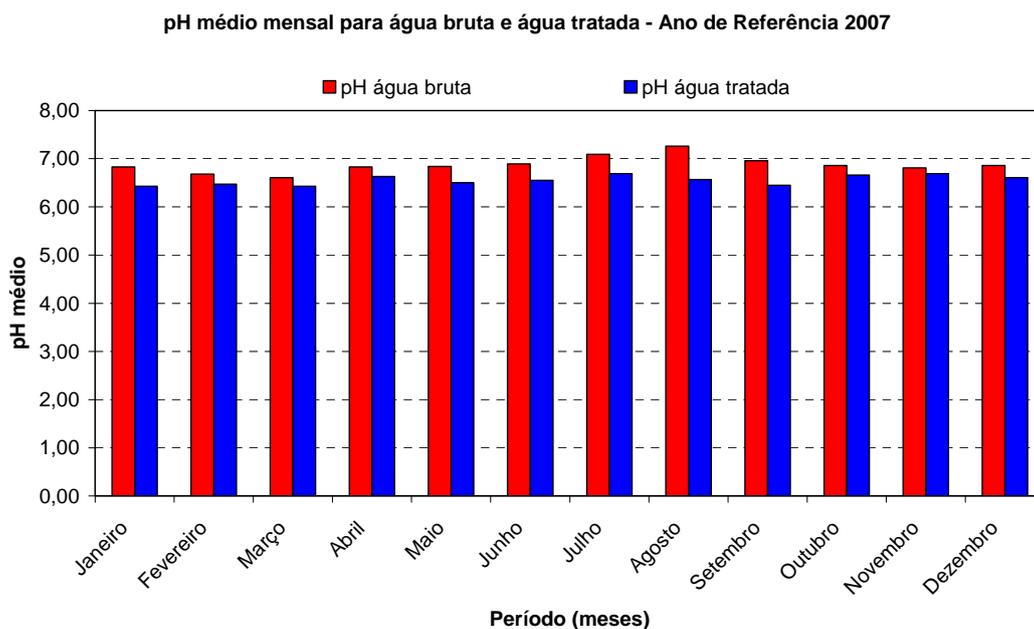
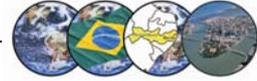


Figura 4. Valores médios mensais de pH para a água bruta e tratada – ano de referência 2007.



pH médio mensal para água bruta e tratada - Ano de Referência 2008

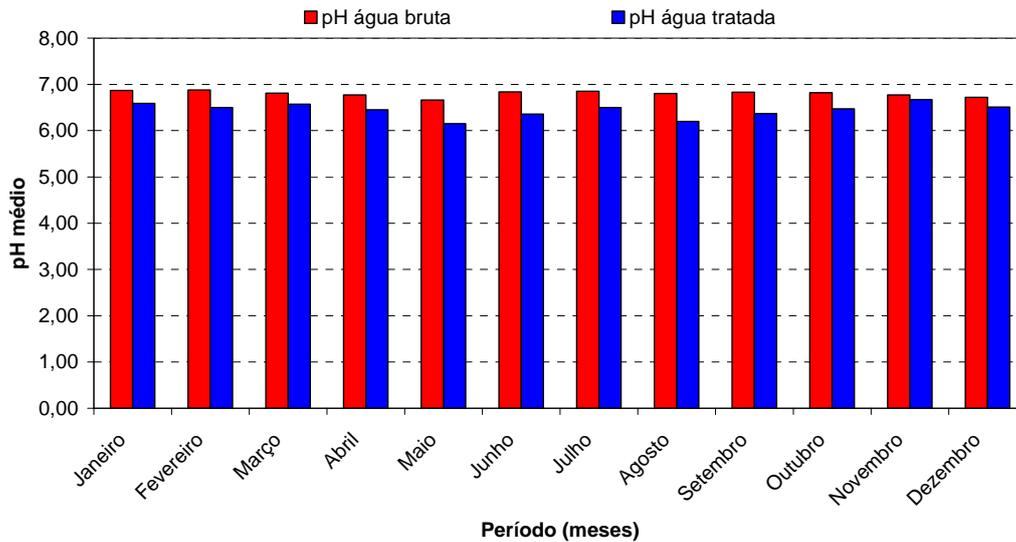


Figura 5. Valores médios mensais de pH para a água bruta e tratada – ano de referência 2008.

Através da análise dos resultados apresentados na Tabela 1 e das Figuras 3 a 5, para o parâmetro pH, percebe-se apenas uma diferença entre os valores de pH da água bruta e tratada, onde os valores de pH para a água tratada mostram-se levemente inferiores aos valores de pH para a água bruta. O pH médio mensal da água bruta apresentou-se, para o período em estudo, na faixa de aproximadamente 6,47 a 7,10. O pH médio mensal da água tratada sempre se manteve na faixa de aproximadamente 6,15 a 6,70, durante o período de estudo, sem necessidade de adição de produtos químicos alcalinizantes. Torna-se importante ressaltar que a *Portaria nº518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde* recomenda que o pH da água tratada esteja na faixa compreendida entre 6,0 a 9,5, conforme mencionado anteriormente.

As Figuras 6, 7 e 8 apresentam os valores médios mensais de cor aparente para a água bruta e tratada para os anos de 2006, 2007 e 2008, respectivamente.

Cor aparente média mensal para água bruta e tratada - Ano de Referência 2006

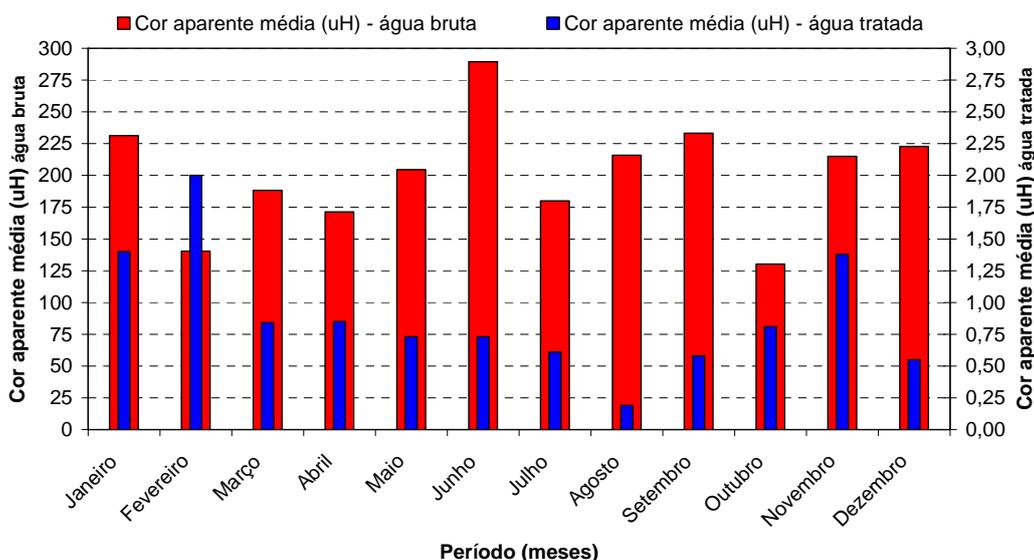


Figura 6. Valores médios mensais de cor aparente para a água bruta e tratada – ano de referência 2006.

Cor aparente média mensal para água bruta e tratada - Ano de Referência 2007

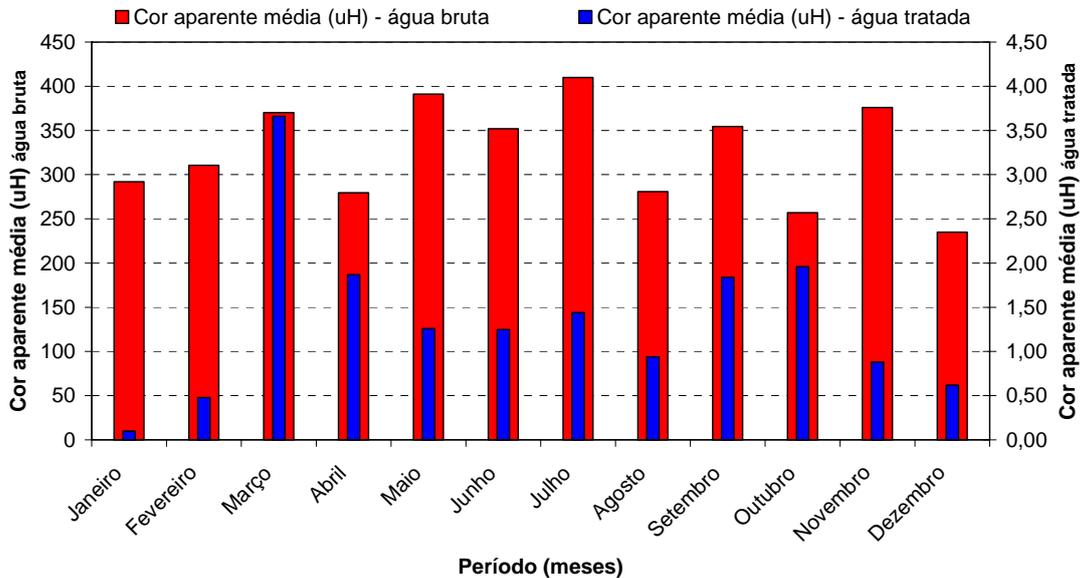


Figura 7. Valores médios mensais de cor aparente para a água bruta e tratada – ano de referência 2007.

Cor aparente média mensal para água bruta e tratada - Ano de Referência 2008

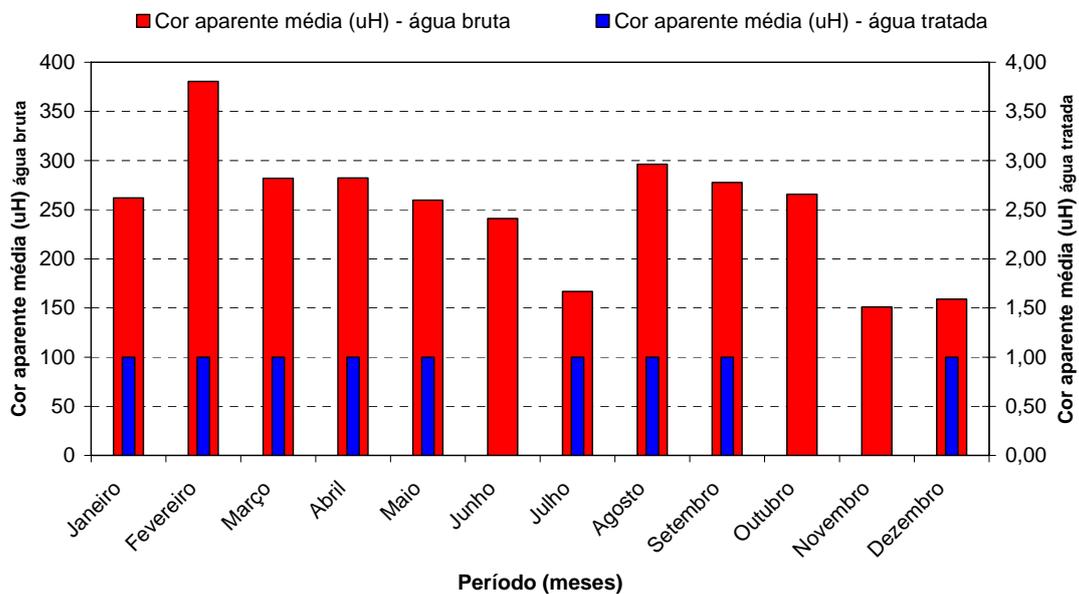


Figura 8. Valores médios mensais de cor aparente para a água bruta e tratada – ano de referência 2008.

Através da análise dos resultados apresentados na Tabela 1 e das Figuras 6 a 8, nota-se claramente que a cor aparente da água tratada manteve-se dentro dos limites máximos permitidos, conforme estabelecidos pela Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde. Ainda, percebe-se que em março de 2007, a cor média mensal para a água tratada atingiu o valor igual a 3,66uH.

Por conseguinte, as Figuras 9, 10 e 11 mostram os valores médios mensais de turbidez para a água bruta e tratada para os anos de 2006, 2007 e 2008, respectivamente.

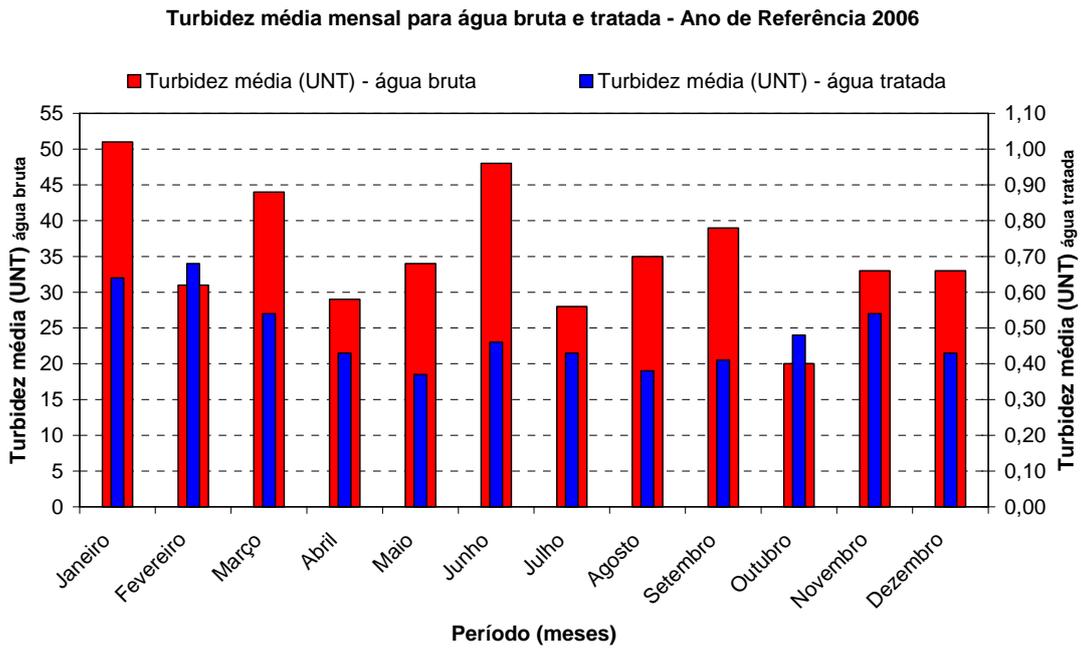
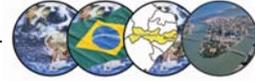


Figura 9. Valores médios mensais de turbidez para a água bruta e tratada – ano de referência 2006.

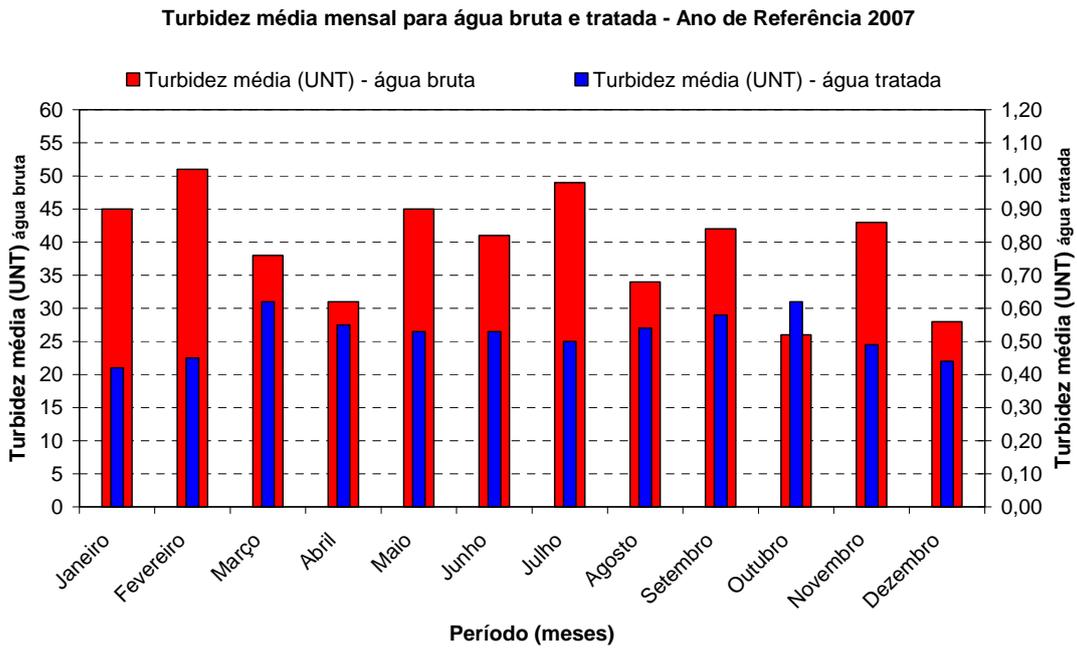


Figura 10. Valores médios mensais de turbidez para a água bruta e tratada – ano de referência 2007.

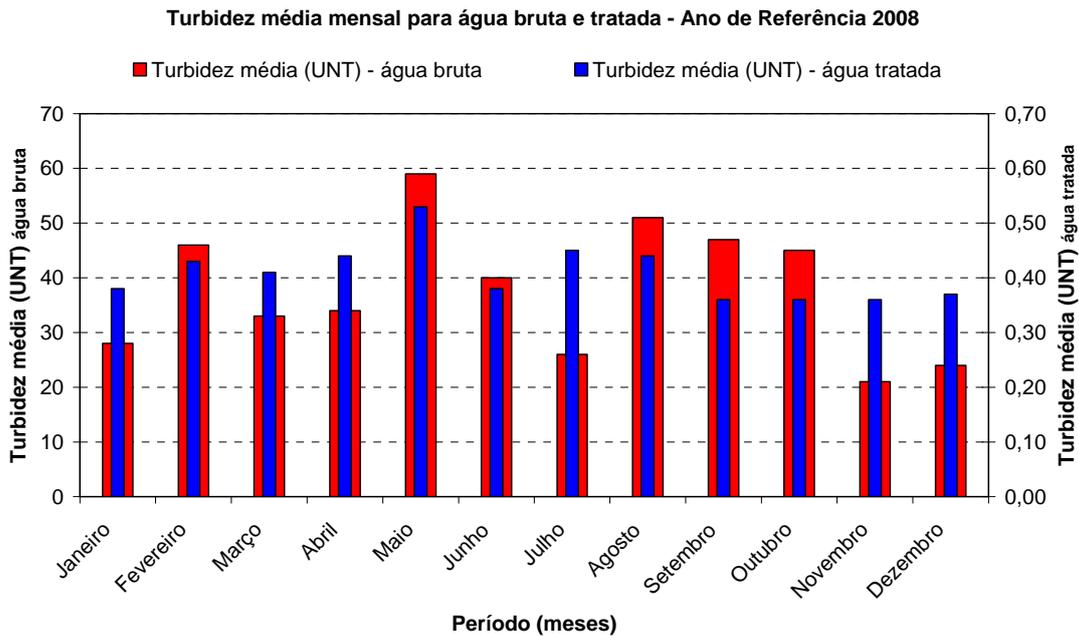


Figura 11. Valores médios mensais de turbidez para a água bruta e tratada – ano de referência 2008.

Através da análise dos resultados apresentados na Tabela 1 e das Figuras 9 a 11, observa-se que a turbidez da água tratada manteve-se dentro dos limites máximos permitidos, segundo a *Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde*.

Uma observação importante que pode ser realizada está relacionada à morfologia dos flocos formados usando-se o coagulante/floculante de origem orgânico-vegetal à base de tanino. Os flocos originados com este produto apresentam uma morfologia irregular e, conseqüentemente, possuem uma superfície de contato relativamente maior quando comparados aos flocos formados com outros produtos químicos que originam flocos mais regulares (esféricos).

4.3 COM RELAÇÃO ÀS QUANTIDADES E CUSTOS ENVOLVIDOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO-SE O COAGULANTE/FLOCULANTE ORGÂNICO-VEGETAL À BASE DE TANINO

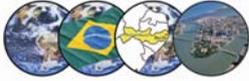
A Tabela 2 mostra as quantidades médias mensais e anuais utilizadas de coagulante/floculante orgânico à base de tanino (principal) e de coagulante/floculante à base de poliaminas (auxiliar) e seus respectivos custos para os anos de 2006, 2007 e 2008.



Tabela 2. Quantidades médias mensais e anuais utilizadas de coagulante/floculante orgânico à base de tanino (principal) e de coagulante/floculante à base de poliaminas (auxiliar) com seus respectivos custos para os anos de 2006, 2007 e 2008.

Ano de referência	Mês	Quantidade coagulante/floculante orgânico à base de tanino (kg)	Custos (R\$)	Quantidade coagulante/floculante à base de poliaminas (kg)	Custos (R\$)
2006	Janeiro	80.800	67.040,76	10.800	28.600,70
	Fevereiro	62.300	51.733,90	8.600	22.771,06
	Março	70.200	58.255,21	10.300	27.112,80
	Abril	52.831	43.321,42	23.655	53.696,85
	Maio	61.059	50.068,38	10.030	22.768,10
	Junho	89.640	65.437,20	10.372	23.544,44
	Julho	70.750	51.647,50	9.979	22.652,33
	Agosto	86.230	62.945,86	10.360	23.526,28
	Setembro	74.136	54.119,13	10.404	23.617,08
	Outubro	55.014	40.160,22	16.616	37.718,32
	Novembro	69.101	50.443,73	3.340	4.843,00
	Dezembro	79.629	58.129,17	11.817	17.134,65
Média anual 2006		70.974	54.441,87	11.356	25.665,47
2007	Janeiro	90.208	65.851,84	13.233	19.187,85
	Fevereiro	89.954	65.666,42	10.685	15.493,25
	Março	162.909	118.923,57	14.565	21.119,25
	Abril	98.438	71.859,74	13.275	19.248,75
	Maio	109.477	79.918,21	13.377	19.396,65
	Junho	102.749	66.581,35	13.073	18.955,85
	Julho	110.802	71.799,70	16.179	23.459,55
	Agosto	90.710	58.780,08	16.656	24.151,20
	Setembro	102.165	66.202,92	14.900	21.605,00
	Outubro	91.377	59.212,30	15.148	21.964,60
	Novembro	110.436	71.562,53	15.927	16.723,35
	Dezembro	80.932	52.443,94	15.805	16.595,25
Média anual 2007		103.346	70.733,55	14.402	19.825,05
2008	Janeiro	88.810	57.548,88	15.954	16.751,70
	Fevereiro	119.028	77.130,14	17.986	18.885,30
	Março	94.360	61.145,28	17.616	18.496,80
	Abril	85.318	55.286,06	14.918	15.663,90
	Maio	123.150	79.801,20	15.760	16.548,00
	Junho	118.014	83.665,82	13.382	14.051,10
	Julho	86.924	64.323,76	17.101	17.956,05
	Agosto	138.382	102.402,68	17.530	18.406,50
	Setembro	119.348	88.317,52	16.335	17.151,75
	Outubro	127.448	94.311,52	17.635	18.258,15
	Novembro	88.384	65.404,16	13.900	13.764,01
	Dezembro	91.172	67.467,28	15.375	15.221,25
Média anual 2008		106.695	74.733,69	16.124	16.762,88

A Figura 12 apresenta os valores médios anuais de quantidades mássicas e custos dos agentes coagulante/floculantes principal (à base de tanino) e auxiliar (à base de poliaminas), utilizados no tratamento de água da COMUSA, conforme a Tabela 2, para os anos de 2006, 2007 e 2008.



Quantidade e custo com agentes coagulantes/floculantes à base de tanino (principal) e poliamina (auxiliar) - Médias Anuais 2006, 2007 e 2008

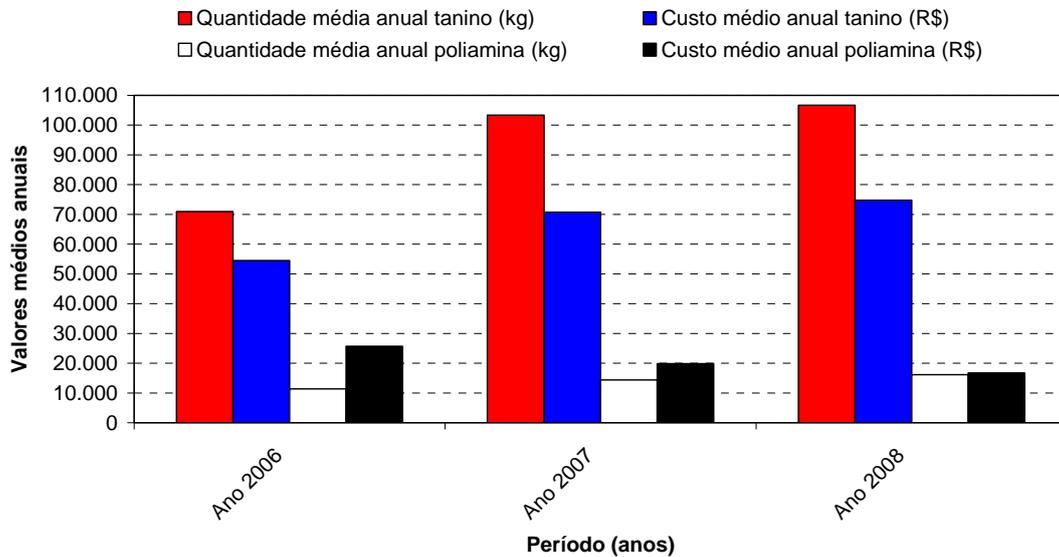


Figura 12. Valores médios anuais de quantidades mássicas e custos dos agentes coagulante/floculantes principal (à base de tanino) e auxiliar (à base de poliaminas), utilizados no tratamento de água da COMUSA, para os anos de 2006, 2007 e 2008.

A Tabela 3 exibe os resultados de vazão média mensal e anual de água tratada para os anos de 2006, 2007 e 2008.



Tabela 3. Vazão média mensal e anual de água tratada para os anos de 2006, 2007 e 2008. Vazão média da ordem de $0,720\text{m}^3.\text{s}^{-1}$.

Ano de referência	Mês	Produção média de água mensal (milhões de $\text{m}^3.\text{mês}^{-1}$)
2006	Janeiro	1,800
	Fevereiro	1,632
	Março	1,780
	Abril	1,690
	Maio	1,680
	Junho	1,610
	Julho	1,670
	Agosto	1,690
	Setembro	1,620
	Outubro	1,711
	Novembro	1,652
	Dezembro	1,777
Média anual 2006		1,693
2007	Janeiro	1,802
	Fevereiro	1,619
	Março	1,744
	Abril	1,750
	Maio	1,706
	Junho	1,663
	Julho	1,702
	Agosto	1,677
	Setembro	1,643
	Outubro	1,693
	Novembro	1,677
	Dezembro	1,788
Média anual 2007		1,705
2008	Janeiro	1,846
	Fevereiro	1,740
	Março	1,884
	Abril	1,654
	Maio	1,689
	Junho	1,567
	Julho	1,630
	Agosto	1,664
	Setembro	1,655
	Outubro	1,776
	Novembro	1,761
	Dezembro	1,829
Média anual 2008		1,725

A Figura 13 apresenta as médias anuais de vazão de água tratada, mostradas na Tabela 3, para os anos de 2006, 2007 e 2008.



Produção anual média de água tratada - Anos 2006, 2007 e 2008

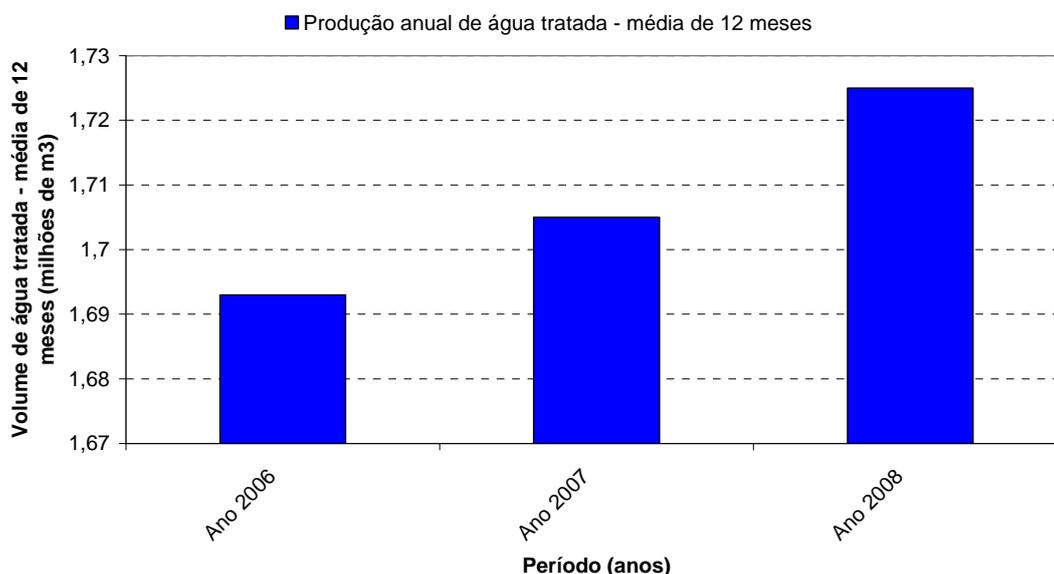


Figura 13. Valores médios anuais de vazão de água tratada, para os anos de 2006, 2007 e 2008.

Na próxima secção, têm-se as conclusões do presente trabalho.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve por objetivo apresentar uma visão geral do processo de tratamento de água destinada ao consumo humano, na qual é utilizado um agente coagulante/floculante de origem essencialmente orgânico-vegetal. Especificamente, um polímero orgânico-catiônico à base de tanino, extraído da casca da Acácia Negra tendo como princípio ativo o *tanato quaternário de amônio*. Neste contexto, apresentou-se dados reais de processo, através do acompanhamento das características físico-químicas da água bruta e tratada. Dados estes expressos em termos de valores médios mensais de resultados de análise dos parâmetros físico-químicos (de análise de rotina) denominados pH, cor aparente e turbidez, referente aos anos de 2006, 2007 e 2008.

Torna-se importante ressaltar, novamente, que a correta dosagem (ou dosagem ótima) de produto químico coagulante/floculante a ser utilizada na etapa de clarificação da água deve ser estudada para cada caso em particular. Muitas são as variáveis determinantes e influentes na dosagem do produto. Alguns dos principais parâmetros influentes são: cor, turbidez, sólidos suspensos (SS), pH, matéria orgânica (MO), dureza, alcalinidade, condutividade elétrica da água, entre vários outros. Adicionalmente, deve-se enfatizar que a correta operação do processo é, assim como a determinação da dosagem ótima, de fundamental importância para o cumprimento das normas e padrões de potabilidade de água. Neste contexto, o ensaio dos jarros é de primordial importância, como ferramenta prática, para a determinação das dosagens (ótimas) de coagulante/floculante.

Em condições de operação da ETA consideradas normais (típicas), valores de cor aparente da ordem de 200 a 400uH, turbidez da ordem de 30 a 50UNT e condutividade elétrica da água bruta na faixa entre 80 a 110 μ S.cm⁻¹, têm-se as dosagens da ordem de 30 a 45mg.L⁻¹ de agente coagulante/floculante orgânico à base de tanino (coagulante principal) combinado com dosagens da ordem de 3 a 5mg.L⁻¹ de coagulante/floculante à base de poliaminas (coagulante auxiliar). Em situações excepcionais, onde os valores de cor aparente e turbidez para a água bruta estão muito acima dos valores médios considerados típicos, combinado com valores de condutividade elétrica da ordem de 49 a 70 μ S.cm⁻¹, têm-se dosagens dos agentes coagulantes/floculantes principal e auxiliar da ordem de 80 a 120mg.L⁻¹ (para o produto à base de tanino) e de 6 a 12mg.L⁻¹ (para o produto à base de poliaminas).



Através da utilização do coagulante/floculante orgânico à base de tanino à água bruta a ser tratada, não houve mais necessidade de correção de pH da mesma. Este fato simplificou a operação da ETA, onde se tem uma variável a menos para ser controlada. O pH da água, em todas as etapas unitárias do processo (floculação, decantação, filtração, desinfecção) e na rede de distribuição permanece dentro da faixa recomendada pela **Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde**, ou seja, situado entre 6 a 9,5. Conseqüentemente, tem-se economia com relação a produtos químicos alcalinizantes, onde não há necessidade de aquisição, monitoramento e controle de dosagem dos mesmos.

Conforme mencionado anteriormente, os flocos originados com este produto apresentam uma morfologia irregular e, conseqüentemente, possuem uma superfície de contato relativamente maior quando comparados aos flocos formados com outros produtos químicos que originam flocos mais regulares (esféricos). Assim sendo, tem-se uma **clarificação** mais **eficiente**, com um menor valor de turbidez ao final do processo na água tratada.

Com relação à água tratada, uma vez que o produto à base de tanino não possui alumínio incorporado, não se está adicionando este metal em nenhuma etapa do processo. Vale ressaltar que o valor máximo permitido de alumínio na água tratada para consumo humano, de acordo com a Tabela 5, Artigo 16, da **Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde**, é igual a $0,2\text{mg.L}^{-1}$. Com relação ao lodo gerado com a utilização deste coagulante/floculante à base de tanino durante o tratamento, o mesmo também se torna livre de alumínio e bem menos agressivo ao meio-ambiente. A única fonte possível de alumínio, nesse caso, é o alumínio presente na água bruta do manancial abastecedor.

A água tratada com o agente coagulante/floculante orgânico à base de tanino, conforme apresentada neste trabalho, atende plenamente aos padrões de potabilidade exigidos pela legislação brasileira **Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde**.

Não houve necessidade de grandes mudanças na ETA. A transição da tecnologia de coagulação/floculação baseada no sal inorgânico sulfato de alumínio para a baseada no tanino não exigiu grandes adaptações.

Adicionalmente, pode-se destacar que este produto é renovável, pois a sua utilização exige o plantio da árvore Acácia Negra (matéria-prima).

Por fim, todas essas particularidades, inerentes ao produto orgânico à base de tanino, mostram-se positivas ao tratamento de água destinada ao consumo humano.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th Edition. Washington DC. APHA-WEF, 1195p. 1998.
2. BRASIL. Portaria nº518, de 25 de março de 2004, que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. **Ministério da Saúde**, Brasília, DF, 2004.
3. BRASIL. Decreto Presidencial: nº5440, de 04 de maio de 2005, que estabelece as definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano. **Presidência da República**, Brasília, DF, 2005. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos.
4. METCALF & EDDY, INC. WASTEWATER ENGINEERING: Collection, Treatment, Disposal. New York: McGraw-Hill, 1972.
5. RÄDER, A. S. *Utilização de Coagulante/Floculante Orgânico-Vegetal à base de Tanino em Tratamento de Água para Consumo Humano*. In: ASSEMBLÉIA NACIONAL DA ASSEMAE, 38ª, 2008, Salvador, Bahia, Brasil. **Anais...** Salvador: ASSEMAE, 2008. 1 CD-ROM.
6. TANAC. 2008. Montenegro, RS. Disponível em: <<http://www.tanac.com.br>>. Acesso em fevereiro 2008.