

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E MEIO
AMBIENTE

MONOGRAFIA

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DAS ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ÁGUA DE PEQUENO
PORTE DA REGIÃO METROPOLITANA
DE BELO HORIZONTE

Ronaldo de Melo Serpa Junior

Belo Horizonte
2010

Ronaldo de Melo Serpa Junior

**Análise da eficiência das estações de tratamento de água
de pequeno porte da região metropolitana de Belo
Horizonte**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Meio Ambiente da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia Sanitária e Meio Ambiente.

Área de concentração: Tratamento de água

Orientador: Marcelo Libânio

RESUMO

O estado de Minas Gerais possui 853 municípios, sendo destes, 508 com menos de 10 mil habitantes. Sob essa ótica, percebe-se a que no sistema de abastecimento de água no estado prevalecem as pequenas estações de tratamento. Diante desta realidade, torna-se imperativo o estudo destas unidades, de maneira a obter soluções que possam, por um lado simplificar a operação e por outra aumentar sua eficiência. O presente estudo tem por objetivo avaliar o desempenho de cinco estações de tratamento de água compactas da região metropolitana de Belo Horizonte. A turbidez da água tratada foi considerada como parâmetro balizador desta eficiência, devido a sua correlação na remoção de cistos e oocistos de protozoários. Das estações analisadas duas apresentaram excelente resultados operacionais e uma apresentou problemas. Foi também analisado o funcionamento das unidades de operação das estações por meio de seus parâmetros hidráulicos. Todas as estações estudadas apresentaram bons resultados, sem sobrecarga de nenhuma unidade do sistema. Também não foi observada correlação significativa entre estes parâmetros e eficiência do tratamento. Foi também analisado a correlação entre o IQAB e os custos com produto químicos do tratamento. Ao analisar todo o conjunto de estações, a correlação não foi significativa. Já em análise por estação, a correlação foi significativa.

Palavras chaves: Tratamento de água, qualidade da água bruta, parâmetros hidráulicos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 5-1 – Correlação entre eficiência das estações segundo a turbidez da água filtrada e turbidez da água bruta no período seco.....	27
Figura 5-2 – Correlação entre eficiência das estações segundo a turbidez da água filtrada e turbidez da água bruta no período chuvoso.....	28
Figura 5-3 – Correlação entre média mensal da turbidez da água filtrada e média mensal da turbidez da água bruta para as ETAs 1 e 2.....	29
Figura 5-4 – Correlação entre média mensal da turbidez da água filtrada e média mensal da turbidez da água bruta para as ETAs 3 e 4.....	29
Figura 5-5 – Correlação entre média mensal da turbidez da água filtrada e média mensal da turbidez da água bruta para a ETA 5	30
Figura 5-6 – Diagrama de dispersão das variáveis eficiência das estações segundo a turbidez da água filtrada e tempo de detenção no período seco.....	31
Figura 5-7 – Diagrama de dispersão das variáveis eficiência das estações segundo a turbidez da água filtrada e tempo de detenção no período chuvoso.....	31
Figura 5-8 – Diagrama de dispersão das variáveis eficiência das estações segundo a turbidez da água filtrada e velocidade de sedimentação no período seco	32
Figura 5-9 – Diagrama de dispersão das variáveis eficiência das estações segundo a turbidez da água filtrada e velocidade de sedimentação no período chuvoso	33
Figura 5-10 – Diagrama de dispersão das variáveis eficiência das estações segundo a turbidez da água filtrada e velocidade longitudinal de escoamento no período seco	34
Figura 5-11 – Diagrama de dispersão das variáveis eficiência das estações segundo a turbidez da água filtrada e velocidade longitudinal de escoamento no período chuvoso	34
Figura 5-12 – Diagrama de dispersão das variáveis eficiência das estações segundo a turbidez da água filtrada e taxa de filtração no período seco.....	35
Figura 5-13 – Diagrama de dispersão das variáveis eficiência das estações segundo a turbidez da água filtrada e taxa de filtração no período chuvoso.....	36
Figura 5-14 – Correlação entre eficiência do tratamento segunda a turbidez da água filtrada e o IQAB.....	36
Figura 5-15 – Gráfico de dispersão do custo dos produtos químicos por 1000 m ³ tratados e o IQAB calculado pelo método do somatório.....	38

Figura 5-16 – Gráfico de dispersão do custo dos produtos químicos por 1000 m ³ tratados e o IQAB calculado pelo método do somatório	38
Figura 5-17 – Gráfico de dispersão do custo dos produtos químicos por m ³ tratado e o IQAB calculado pelo método do somatório para as ETAs 1 e 2	39
Figura 5-18 – Gráfico de dispersão do custo dos produtos químicos por m ³ tratado e o IQAB calculado pelo método do somatório para as ETAs 3 e 4	40
Figura 5-19 – Gráfico de dispersão do custo dos produtos químicos por m ³ tratado e o IQAB calculado pelo método do somatório para a ETA 5.....	40
Figura 9-1 – Dados utilizados para o cálculo do IQAB	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 – Lista de parâmetros e seus respectivos pesos para o cálculo do IQAB.....	16
Tabela 4-1 – Características gerais das estações de tratamento	21
Tabela 4-2 - Características da unidade de coagulação das estações de tratamento	22
Tabela 4-3 - Características da unidade de floculação das estações de tratamento.....	22
Tabela 4-4 - Características da unidade de decantação das estações de tratamento.....	22
Tabela 4-5 - Características da unidade de filtração das estações de tratamento.....	23
Tabela 4-6 – Produtos químicos utilizados	24
Tabela 5-1 – Resultados dos IQABs e dos custos de produtos químicos por m ³ tratado das estações	37
Tabela 8-1 – Pontuação do parâmetro turbidez.....	43
Tabela 8-2 – Pontuação do parâmetro cor verdadeira	43
Tabela 8-3 – Pontuação do parâmetro <i>E. coli</i>	43
Tabela 8-4 – Pontuação do parâmetro pH.....	44
Tabela 8-5 – Pontuação do parâmetro cianobactérias.....	44
Tabela 8-6 – Pontuação do parâmetro algas.....	44
Tabela 8-7 – Pontuação do parâmetro ferro	45
Tabela 8-8 – Pontuação do parâmetro manganês	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A_{filt} - Área superficial dos filtros

AWWA – America Water Work Association

d - Espaçamento entre as placas

ETA – Estação de tratamento de água

IQA – Índice de qualidade da água

IQAB – Índice de qualidade da água bruta

L - Comprimento da placa

L_d - Largura do decantador

N_p – Número de placas do decantador

Q - Vazão afluente;

Sc - Coeficiente de forma das placas

T_f – Tempo de floculação

T_{filt} – Taxa de filtração

V_l – Velocidade longitudinal de escoamento

V_s – Velocidade de sedimentação

V_f - Volume do floclador

θ - Inclinação das placas

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABELAS.....	6
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	7
1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1. Objetivo geral	12
2.2. Objetivos específicos.....	12
3. REVISÃO DA LITERATURA	13
3.1. Avaliação de desempenho de estações de tratamento.....	13
3.2. Fatores intervenientes no desempenho de uma estação de tratamento	14
3.2.1. Características da água bruta	15
3.2.2. Parâmetros hidráulicos da instalação.....	17
4. METODOLOGIA	21
4.1. Características das estações de tratamento.....	21
4.1.1. Mananciais	21
4.1.2. Estrutura física das estações	21
4.1.3. Estrutura operacional das estações	23
4.1.4. Produtos químicos utilizados.....	23
4.2. Considerações sobre os dados utilizados	24
4.2.1. Comparações envolvendo a turbidez.....	24
4.2.2. Cálculo do IQAB.....	25
4.2.3. Custo dos produtos químicos utilizados no tratamento	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1. Verificação da eficiência das estações por meio da remoção da turbidez.....	27
5.2. Avaliação dos principais parâmetros hidráulicos intervenientes no tratamento e comparação com a eficiência do tratamento.....	30
5.2.1. Tempo de detenção no floculador	30
5.2.2. Velocidade de sedimentação no decantador	32
5.2.3. Velocidade de escoamento no decantador	33
5.2.4. Taxa de filtração.....	35
5.3. Comparação do IQAB com a eficiência do tratamento.....	36
5.4. Verificação da correlação do IQAB com o custo dos produtos químicos do tratamento	37

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
APÊNDICE A – TABELAS REFERENTES AOS CRITÉRIOS DE PONTUAÇÃO DO IQAB.....	43
APÊNDICE B – DADOS DOS CÁLCULOS DO IQAB	46

1. INTRODUÇÃO

O estado de Minas Gerais possui 853 municípios, sendo destes, 508 com menos de 10 mil habitantes. Além disto, devidos às características da ocupação do estado, vários destes municípios são compostos de pequenas localidades independentes.

Sob essa ótica, percebe-se a que no sistema de abastecimento de água no estado prevalecem as pequenas estações de tratamento. Diante desta realidade, torna-se imperativo o estudo destas unidades, de maneira a obter soluções que possam, por um lado simplificar a operação e por outra aumentar sua eficiência.

Para determinar a eficiência de uma estação, seria necessário verificar todos os 72 parâmetros controlados pela Portaria 518 do Ministério da Saúde. Diante a inviabilidade desta opção, tanto econômica quanto prática, a turbidez da água trata têm aparecido em estudos recentes como melhor parâmetro. Além da simplicidade de sua determinação, tem sido comprovada a correlação entre sua redução e a redução de protozoários e melhor desempenho da desinfecção.

Para este estudo, foram analisados dados de turbidez de cinco estações de tratamento de água compactas da região metropolitana de Belo Horizonte. Estas estações são operadas pela COPASA.

Das estações analisadas duas apresentaram excelente resultados operacionais e uma apresentou problemas.

Buscando entender a origem destes problemas, foram analisados o funcionamento das unidades de operação das estações por meio de seus parâmetros hidráulicos.

Todas as estações estudadas apresentaram bons resultados, sem sobrecarga de nenhuma unidade do sistema. Também não foi observada correlação significativa entre estes parâmetros e eficiência do tratamento.

Foi também analisada a correlação entre o IQAB e a eficiência do tratamento e nenhuma correlação significativa foi encontrada.

Finalizando o estudo, foi analisada a correlação entre o IQAB e os custos com produto químicos do tratamento. Ao analisar todo o conjunto de estações, a correlação não foi significativa. Já em análise por estação, a correlação foi significativa.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Verificar a eficiência operacional de algumas estações de tratamento de água de pequeno porte da região metropolitana de Belo Horizonte.

2.2. Objetivos específicos

Verificar a eficiência das estações através da remoção da turbidez;

Avaliar os principais parâmetros hidráulicos intervenientes no tratamento e compará-los com a eficiência do tratamento;

Comparar o IQAB com a eficiência do tratamento;

Verificar a correlação entre o IQAB e os custos com produtos químicos do tratamento.

3. REVISÃO DA LITERATURA

A água contém, geralmente, diversos componentes, os quais provêm do próprio ambiente natural ou foram introduzidos a partir de atividades antrópicas.

Para caracterizar uma água, são determinados diversos parâmetros, os quais representam as suas características físicas, químicas e biológicas. Esses parâmetros são indicadores da qualidade da água e constituem impurezas quando alcançam valores superiores aos estabelecidos para determinado uso.

Os teores máximos de impurezas constituem os padrões de qualidade, os quais são fixados por entidades públicas, com o objetivo de garantir que a água a ser utilizada para um determinado fim não contenha impurezas que venham a prejudicá-lo.

Os padrões de qualidade da água variam para cada tipo de uso. No caso do consumo humano, o padrão de qualidade é regulamentado no país pela Portaria 518 do Ministério da Saúde. Esta portaria contempla ao todo, 72 parâmetros, classificados como: de aceitação (18), orgânicos (13) e inorgânicos (13); e às concentrações máximas permissíveis de 23 agrotóxicos e 6 subprodutos da desinfecção com compostos de cloro.

3.1. Avaliação de desempenho de estações de tratamento

A avaliação da performance de estações de tratamento realizada pelas concessionárias de abastecimento de água no País comumente norteia-se pela qualidade do efluente tratado ou, em outras palavras, pelo percentual do tempo de operação da unidade durante o qual o efluente atendeu às premissas estabelecidas pela Portaria 518 (DE SOUZA, 2008).

Como vários parâmetros são analisados com frequência apenas semestral, avaliar a performance de estações analisando todos os parâmetros da Portaria torna-se pouco prático.

Partindo desta premissa, segundo Libânio (2008), a turbidez da água filtrada vem progressivamente se consolidando como um dos principais parâmetros de avaliação de desempenho das estações de tratamento de água. Consoante com padrões internacionais, a Portaria 518 estabelece para águas de consumo humano limite máximo permissível de 1,0 uT – recomendando enfaticamente valores inferiores a 0,5 uT em 95% das amostras mensais –,

essencialmente objetivando assegurar o êxito das etapas de clarificação na remoção física e da desinfecção na inativação de patogênicos mais resistentes. O emprego da turbidez como parâmetro indicador da eficiência do tratamento encontra respaldo em recentes estudos associando a remoção dessa característica física à de cistos e oocistos de protozoários

Entre estes estudos, destaca-se pesquisa (PATANIA et al., 1995 apud LIBÂNIO, 2008 p. 24) avaliando a remoção de cistos e oocistos de protozoários, *Giardia muris* e *Cryptosporidium parvum*, realizada em várias unidades-piloto nos Estados Unidos empregando águas naturais com turbidez inferior a 10 uT. Embora os resultados apontassem baixa correlação entre remoção de turbidez e a de protozoários, a elevação de 0,1 a 0,3 uT da turbidez da água filtrada esteve associada à redução de 1,0 log na remoção destes microrganismos.

Outros autores (LE CHEVALLIER et al., 1981 apud DE SOUZA, 2008, p. 26) também destacam a vantagem da utilização da turbidez como indicador de qualidade da água porque sua determinação é rápida, relativamente barata e pode ser realizada continuamente com detectores no local.

Desta forma, neste estudo também a turbidez da água filtrada foi considerada como balizador da eficiência das estações.

3.2. Fatores intervenientes no desempenho de uma estação de tratamento

Uma pesquisa (LUSARDI et al., 1999) realizada em 75 estações de tratamento de água do estado norte-americano da Pennsylvania objetivou identificar os fatores intervenientes na eficiência da potabilização.

A avaliação balizou-se principalmente nos seguintes parâmetros: magnitude da população abastecida, emprego e tipo de coagulante, taxa de filtração e tipo de meio filtrante, tipo de manancial, tecnologia de tratamento e idade da estação. A turbidez da água filtrada norteou a avaliação da eficiência das estações. Por fim, desta pesquisa depreende-se que fatores usualmente considerados mais relevantes no desempenho das estações de tratamento – características da água bruta, parâmetros hidráulicos da instalação e tipo de coagulante – adquirem igual relevância quando cotejados a fatores intangíveis, tais como à adequada

operação e ao comprometimento da equipe na consecução do objetivo de produzir água de melhor qualidade.

Desta maneira, os referidos fatores serão estudados a seguir.

3.2.1. Características da água bruta

A qualidade da água bruta de um manancial depende das características da bacia hidrográfica, incluindo clima, hidrologia, geologia, pedologia, morfologia, usos e ocupação da terra. O planejamento e a operação racional de sistemas de água requerem o conhecimento das relações causa-efeito que influem na qualidade da água, especialmente aquelas relacionadas ao desenvolvimento de algas, visando à proteção do manancial (DI BERNARDO, 1995 apud DE SOUZA, 2008).

O critério bacteriológico não basta para a classificação de uma determinada água. As análises físicas e químicas são também indispensáveis na demonstração de sua qualidade, especialmente na detecção de substâncias tóxicas ou mesmo de compostos que prejudiquem esteticamente, podendo alterar aspectos como o sabor, cor, odor e outras características. A análise hidrobiológica pode revelar a presença de organismos, que de muitas e diferentes maneiras podem afetar as características e potabilidade da água (BRANCO, 1978 apud DE SOUZA, 2008).

Um índice de qualidade da água é definido como uma simples expressão de combinações mais ou menos complexas de um número de parâmetros, a qual serve como medida da qualidade da água. O índice é apresentado como um número, uma classe, uma descrição verbal, um único símbolo ou uma cor. O uso do índice de qualidade da água tem a habilidade de reduzir e simplificar uma grande quantidade de informações (VAN HELMOND; BREUKEL, 1997).

De Souza (2008) propõe a utilização de um Índice de Qualidade da Água Bruta (IQAB) aflrente às estações de tratamento como maneira prática e objetiva para fornecer informações sobre as características de mananciais de abastecimento.

O IQAB foi desenvolvido nos mesmos princípios básicos do desenvolvimento do Índice de Qualidade da Água (IQA), as diferenças fundamentais referem-se aos parâmetros e aos pesos que compõem cada índice.

A fórmula do IAQB é apresentada nas seguintes equações:

$$IQAB = \sum_{i=1}^n w_i q_i \quad (3-1)$$

$$IQAB = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (3-2)$$

Onde

w_i = Peso atribuído a cada parâmetro definido na pesquisa de opinião, de forma que $\sum_{i=1}^n w_i = 1$

q_i = Pontuação atribuída ao parâmetro observada nas curvas de qualidade;

i = Cada parâmetro incluído no índice;

n = Número de parâmetros.

A tabela 3.1 mostra os parâmetros utilizados e seus respectivos pesos. As tabelas com as informações para cálculo da pontuação de cada parâmetro encontram-se no anexo A deste trabalho.

Tabela 3-1 – Lista de parâmetros e seus respectivos pesos para o cálculo do IQAB.

Parâmetro	Peso
Turbidez	0,22
Cor Verdadeira	0,19
pH	0,12
Cianobactérias	0,11
Algas	0,1
<i>E.coli</i>	0,09
Fe	0,09
Mn	0,08

3.2.2. Parâmetros hidráulicos da instalação

Diversos parâmetros hidráulicos intervêm na eficiência do tratamento. Para as estações convencionais, nas quais tenciona-se fomentar a agregação das partículas suspensas e dos colóides em flocos a serem removidos por sedimentação, os parâmetros da mistura rápida, gradiente de velocidade e tempo de agitação, adquirem relevância secundária quando cotejados aos parâmetros inerentes à floculação, decantação e filtração. Em relação às referidas operações unitárias, assumem primazia o tempo de floculação – uma vez que o gradiente de velocidade é usualmente restrito ao intervalo de 20 a 60 s⁻¹ e definido também em função das características da água bruta -, as velocidades de sedimentação e longitudinal de escoamento nos decantadores e a taxa de filtração (LIBÂNIO, 2002).

3.2.2.1 Tempo de floculação

Deve ser suficiente para a redução do número de partículas desestabilizadas através dos choques promovidos pela energia dissipada na massa líquida. É calculado pela fórmula:

$$T_f = \frac{V_f}{Q} \quad (3-3)$$

Onde

T_f = Tempo de floculação;

Q = Vazão afluyente;

V_f = Volume do floculador.

A NBR 12216 preconiza que, na ausência de ensaios, seja adotado valores de 20 a 30 minutos para decantadores hidráulicos como os das estações pré-fabricadas do estudo.

3.2.2.2 Velocidade longitudinal de escoamento

Velocidades altas de escoamento podem ocasionar arraste dos flocos, sobrecarregando a unidade de filtração.

Nos decantadores de alta taxa, presentes nas estações pré-fabricadas deste estudo, é calculada utilizando a seguinte fórmula:

$$V_l = \frac{Q}{Ld \cdot d \cdot np} \quad (3-4)$$

Onde

V_l = Velocidade longitudinal de escoamento;

Q = Vazão afluente;

Ld = Largura do decantador;

d = Espaçamento transversal das placas;

np = Número de placas;

Na ausência de ensaios específicos, a NBR 12216 determina que, em decantadores de elementos tubulares, a velocidade longitudinal máxima, para fluxo laminar, deve ser de 0,35 cm/s, e para fluxo não-laminar, de 0,60 cm/s.

3.2.2.3 Velocidade de sedimentação

Também conhecida como taxa de aplicação superficial, é delineada a partir do conceito que as partículas se sedimentam mantendo sua individualidade (sedimentação discreta). Todas as partículas que adentrarem na unidade de decantação com velocidade superior a esta serão removidas. Nos decantadores de alta taxa, presentes nas estações pré-fabricadas deste estudo, é calculada utilizando a seguinte fórmula

$$V_s = \frac{V_s \cdot Sc}{\left(\frac{L}{d} \cdot \cos \theta + \text{sen} \theta\right)} \quad (3-5)$$

Onde:

V_s = Velocidade de sedimentação;

A NBR 12216 preconiza que, não sendo possível proceder a experiências em filtro-piloto, as taxas máximas a serem adotadas devem ser as seguintes: 180 m³/m².dia para filtros de camada simples e 360 m³/m².dia para filtros de camada dupla.

4. METODOLOGIA

Para este trabalho, foram utilizados dados de cinco estações de tratamento de água de pequeno porte da região metropolitana de Belo Horizonte.

Estas estações foram escolhidas por suas características semelhantes, tanto físicas quanto operacionais, de maneira a permitir algumas comparações.

A ETA 3 possui duas unidades independentes de tratamento lançando em um mesmo tanque de contato. Assim, os dados físicos das unidades serão trabalhados separadamente, mas os resultados de análises serão tratados de maneira única, pois a amostragem é realizada no tanque de contato.

4.1. Características das estações de tratamento

4.1.1. Mananciais

As estações escolhidas captam água de ambientes lóticos situados nas bacias dos rios das Velhas e Paraopeba. A captação se dá de maneira direta.

4.1.2. Estrutura física das estações

Todas as estações estudadas são pré-fabricadas e utilizam tecnologia convencional de tratamento. Detalhes de suas características são apresentados nas tabelas 4.1 a 4.5.

Tabela 4-1 – Características gerais das estações de tratamento

<i>ETA</i>	Tipo	Características gerais	
		Material	Vazão nominal (L/s)
1	Fixa	Concreto	20
2	Portátil	Aço	30
3a	Portátil	Aço	8
3b	Portátil	Fibra de Vidro	8
4	Portátil	Fibra de Vidro	10,5
5	Portátil	Fibra de Vidro	8

Tabela 4-2 - Características da unidade de coagulação das estações de tratamento

ETA	Coagulação		
	Tipo	Equipamento	Largura da garganta (pol)
1	Hidráulica	Medidor Parshall	3
2	Hidráulica	Medidor Parshall	6
3a	Hidráulica	Vertedor triangular	-
3b	Hidráulica	Medidor Parshall	3
4	Hidráulica	Medidor Parshall	3
5	Hidráulica	Medidor Parshall	3

A tabela 4.3 apresenta as características das unidades de floculação. Todas as estações possuem grande quantidade de câmaras, fator preponderante para minimizar possíveis efeitos de curto-circuito.

Tabela 4-3 - Características da unidade de floculação das estações de tratamento

ETA	Floculação				
	Tipo	Quant.	Unidades em série	Nº de câmaras	Tempo de detenção nominal (min)
1	Hidráulico de bandejas	1	3	6	22
2	Hidráulico de bandejas	2	3	10	32,5
3a	Hidráulico de bandejas	1	4	6	33,5
3b	Hidráulico de bandejas	1	3	5	24
4	Hidráulico de bandejas	1	4	6	31
5	Hidráulico de bandejas	1	4	5	25,5

A tabela 4.4 mostra que, como era esperado em estações compactas, todas utilizam decantadores de alta taxa. Este tipo de unidade permite reduzida área com mesma eficiência de decantadores tradicionais.

Tabela 4-4 - Características da unidade de decantação das estações de tratamento

ETA	Decantação				
	Tipo	Equipamento	Quant.	Velocidade de Sedimentação nominal (cm/min)	Velocidade longitudinal de escoamento nominal (cm/s)
1	Alta Taxa	Laminar de placas paralelas	2	2,36	0,37
2	Alta Taxa	Laminar colméia	2	1,18	0,15
3a	Alta Taxa	Laminar de placas paralelas	1	0,99	0,17
3b	Alta Taxa	Laminar de placas paralelas	1	1,24	0,2
4	Alta Taxa	Laminar colméia	1	0,69	0,22
5	Alta Taxa	Laminar colméia	1	1,17	0,14

O sistema de filtração utilizado pelas estações é o mesmo, conforme indicado na tabela 4.5. A utilização de leito filtrante duplo permite maiores taxas de filtração e conseqüentemente menores áreas.

Tabela 4-5 - Características da unidade de filtração das estações de tratamento

ETA	Filtração					
	Tipo	Fluxo	Quant.	Lavagem	Leito Filtrante	Taxa de filtração nominal(m ³ /m ² .dia)
1	Filtro rápido	Descendente	5	Auto-lavável	Duplo (areia e antracito)	345,6
2	Filtro rápido	Descendente	4	Auto-lavável	Duplo (areia e antracito)	192,4
3a	Filtro rápido	Descendente	4	Auto-lavável	Duplo (areia e antracito)	288
3b	Filtro rápido	Descendente	4	Auto-lavável	Duplo (areia e antracito)	271
4	Filtro rápido	Descendente	5	Auto-lavável	Duplo (areia e antracito)	191
5	Filtro rápido	Descendente	5	Auto-lavável	Duplo (areia e antracito)	217,36

4.1.3. Estrutura operacional das estações

Todas as estações em questão trabalham dentro dos mesmos padrões operacionais.

Possuem controle manual, com três operadores se revezando em esquema de turno de maneira a garantir sua operação 24 horas por dia.

Possuem laboratório anexo, permitindo realizar ensaios quantitativos de turbidez, cor aparente, pH, cloro e flúor e qualitativos de coliformes totais e termotolerantes através de equipamentos de bancada.

4.1.4. Produtos químicos utilizados

A figura 4.6 relaciona os principais produtos químicos utilizados em cada estação. A estação 5 substituiu o hidróxido de cálcio pelo hidróxido de sódio durante o último período em observação (período chuvoso de 2009).

Tabela 4-6 – Produtos químicos utilizados

ETA	Coagulante	Produtos químicos		
		Corretor de PH	Desinfectante	Flúor
1	Sulfato de alumínio líquido	Hidróxido de cálcio	Cloro gasoso	Fluossilicato de Sódio
2	Cloreto Férrico	Hidróxido de cálcio	Cloro gasoso	Fluossilicato de Sódio
3a	Sulfato de alumínio granulado	Hidróxido de sódio	Hipoclorito de cálcio	Ácido Fluossilícico
3b	Sulfato de alumínio granulado	Hidróxido de sódio	Hipoclorito de cálcio	Ácido Fluossilícico
4	Sulfato de alumínio líquido	Hidróxido de sódio	Hipoclorito de cálcio	Ácido Fluossilícico
5	Sulfato Ferroso Clorado	Hidróxido de cálcio	Hipoclorito de cálcio	Ácido Fluossilícico

4.2. Considerações sobre os dados utilizados

4.2.1. Comparações envolvendo a turbidez

Foram utilizados dados de análises de água realizadas a cada duas horas referentes ao período compreendido entre junho de 2008 e junho de 2010.

Os dados foram trabalhados considerando dois períodos: seco, compreendendo o mês de julho, e chuvoso, compreendendo os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Esta simplificação foi feita para destacar os momentos críticos de uma estação, uma vez que correspondem aos valores extremos de variações da qualidade da água bruta.

Para analisar os dados dentro dos períodos citados, no caso da água bruta, como seu espectro de variação é amplo, foi utilizada a média geométrica.

Já no caso da água tratada, os dados foram tratados de maneira a identificar o percentual de tempo em que o valor se encontra abaixo do patamar 0,5 uT recomendado pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. Este valor foi considerado como a eficiência da estação.

Especificamente para a comparação da turbidez da água bruta com a da água tratada os dados foram tratados utilizando a média mensal geométrica e aritmética, respectivamente.

4.2.2. Cálculo do IQAB

Conforme determinação da Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, a amostragem para os parâmetros ferro e manganês é feita semestralmente. No caso das estações em questão, nesta coleta semestral também são realizadas análises quantitativas para determinação de algas, cianobactérias e coliformes termotolerantes.

Como estes parâmetros são os que possuem maior periodicidade dentre os inseridos no IQAB, o índice será calculado semestralmente, para o período entre dezembro de 2007 e janeiro de 2010.

Já a turbidez e o pH da água bruta são analisados com frequência variável nas estações estudadas, mas todas realizam pelo menos duas análises diárias. Para possibilitar a compatibilização com os parâmetros anteriores, foi considerada a média aritmética dos valores obtidos dentro do mês na qual a análise semestral foi realizada.

As estações estudadas realizam monitoramento apenas da cor aparente. Como o IQAB é calculado utilizando a cor verdadeira, torna-se necessário uma adaptação dos dados.

Conforme já citado, os resultados de cor aparente são influenciados pela turbidez. Na falta de estudos que tentem associar estes três indicadores, a cor verdadeira foi considerada como sendo 10% da cor aparente, como tentativa de minimizar a influência da turbidez.

Assim como a turbidez e o pH, na cor verdadeira foi considerada a média aritmética dos valores de cor aparente adaptados dentro do mês no qual a análise semestral foi realizada.

4.2.3. Custo dos produtos químicos utilizados no tratamento

Para apuração da quantidade de produtos gastos no tratamento, foram utilizadas metodologias distintas para cada período do ano. Para os períodos secos, foi utilizado a quantidade real gasta no mês e para o período chuvoso, foi utilizada a média gasta durante os meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

Para a composição dos custos, foi realizada pesquisa de mercado no mês de julho de 2010.

O gasto com produtos para a fluoretação foi desconsiderado no cálculo, uma vez que esta etapa, em princípio, independe da qualidade da água bruta.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Verificação da eficiência das estações por meio da remoção da turbidez

Seguindo a metodologia proposta, foram feitos gráficos de dispersão para avaliar a eficiência das estações e investigar alguma possível correlação entre a turbidez bruta e tratada.

Analisando a figura 5.1, observa-se que a variação da turbidez da água bruta é muito pequena durante o período de seca. Mesmo assim, apenas as ETAs 2 e 5 conseguem atingir os 95% de eficiência. A ETA 3 apresenta maus resultados, uma vez que não consegue atingir sequer 80%, mesmo trabalhando com turbidez bruta da ordem de 4 uT.

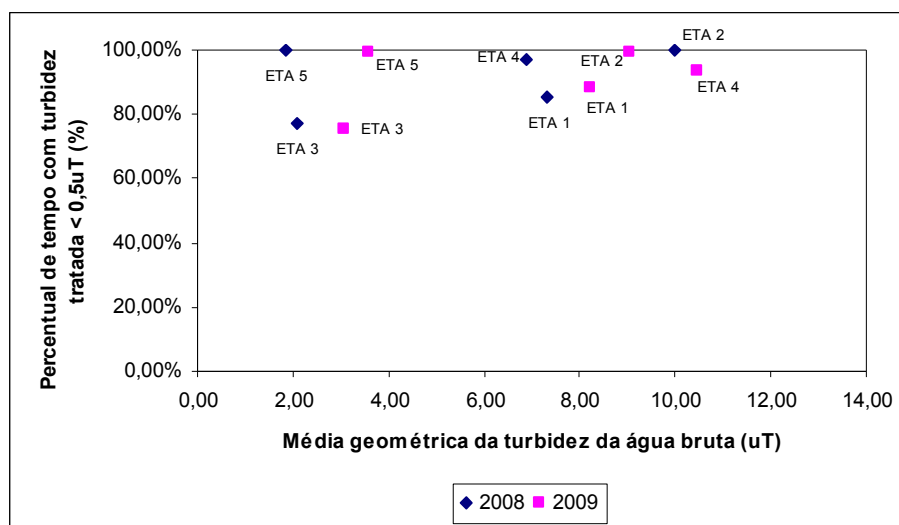


Figura 5-1 – Correlação entre eficiência das estações segundo a turbidez da água filtrada e turbidez da água bruta no período seco

A partir da figura 5.2, observa-se que as ETAs 2 e 5 continuam se destacando, trabalhando muito próximo à recomendação. As ETAs 1 e 4 apresentaram grande queda de rendimento no período chuvoso, principalmente em um dos dois períodos avaliados. Já a ETA 3 apresentou rendimento muito fraco no período chuvoso.

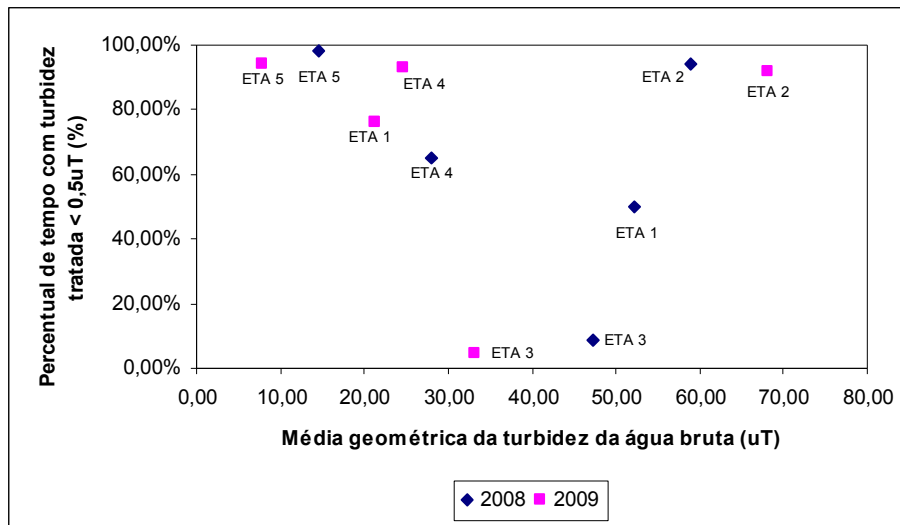


Figura 5-2 – Correlação entre eficiência das estações segundo a turbidez da água filtrada e turbidez da água bruta no período chuvoso

Avaliando as diferenças de eficiência das ETAs nos períodos secos e chuvosos, fica nítida a dificuldade de estações de pequeno porte em enfrentar grandes variações de turbidez na água bruta, seja por problemas operacionais ou técnicos. É também importante ressaltar que os resultados apresentados, principalmente nos períodos chuvosos, são poucos significativos para o objetivo de remoção de protozoários.

Para se investigar melhor a possibilidade de correlação entre a turbidez bruta e tratada das cinco estações, foi elaborado o gráfico das médias mensais da turbidez da água tratada e da água bruta. Conforme mostra a figura 5.3, a ETA 1 apresenta uma pequena correlação entre os parâmetros e a ETA 2 não apresenta qualquer correlação.

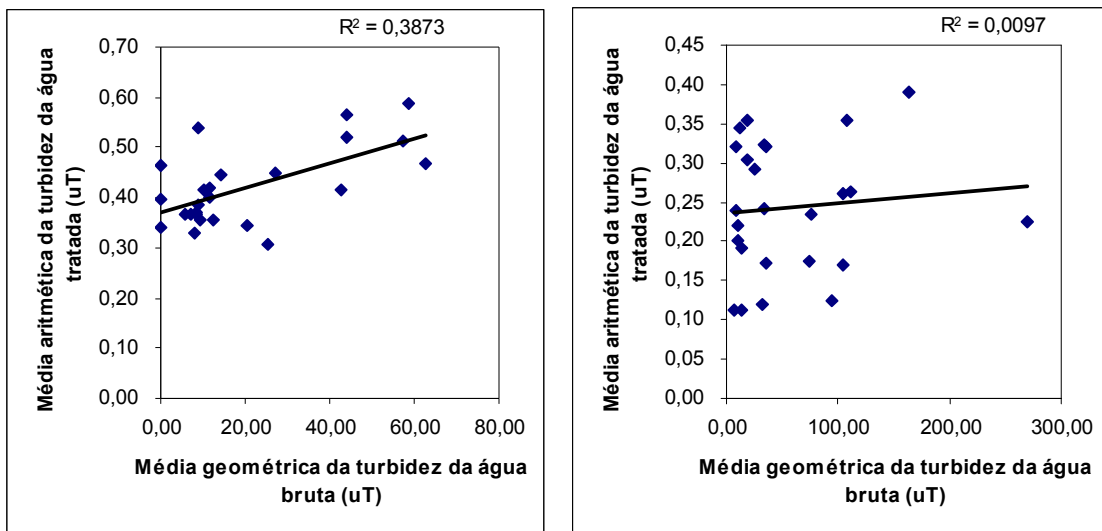


Figura 5-3 – Correlação entre média mensal da turbidez da água filtrada e média mensal da turbidez da água bruta para as ETAs 1 e 2

Conforme a figura 5.4, a ETA 3 apresenta considerável correlação entre os fatores e ETA 4 não apresenta qualquer correlação.

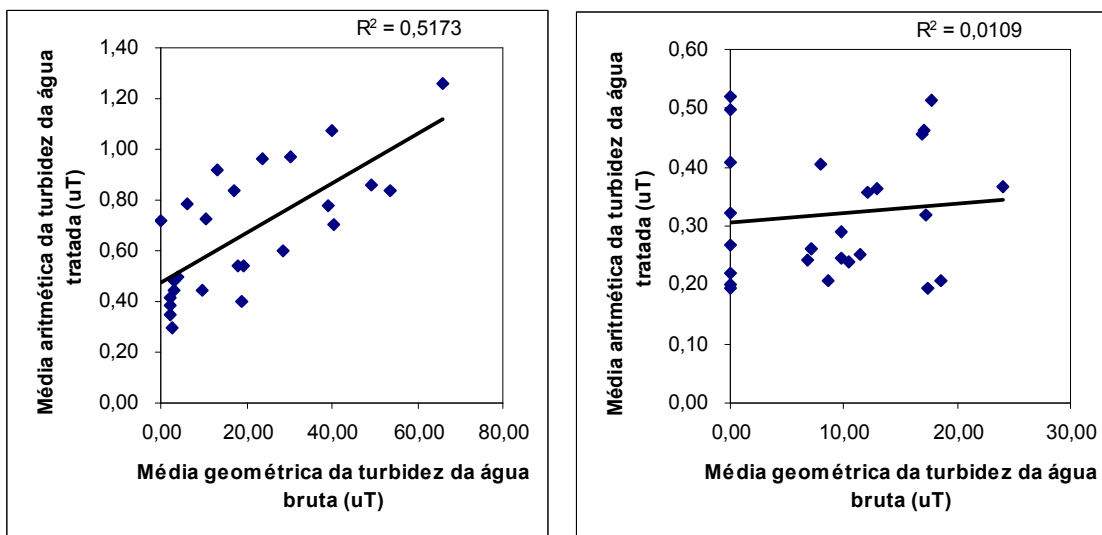


Figura 5-4 – Correlação entre média mensal da turbidez da água filtrada e média mensal da turbidez da água bruta para as ETAs 3 e 4

A ETA 5 não apresenta qualquer correlação entre os fatores, conforme a figura 5.5.

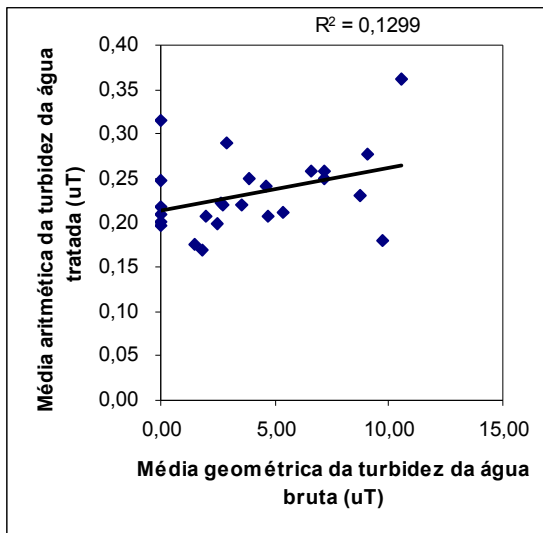


Figura 5-5 – Correlação entre média mensal da turbidez da água filtrada e média mensal da turbidez da água bruta para a ETA 5

A significância encontrada entre os fatores em maior escala na ETA 3 e em menor escala na ETA 1 corroboram com as baixas eficiências apresentadas por estas duas estações de tratamento.

5.2. Avaliação dos principais parâmetros hidráulicos intervenientes no tratamento e comparação com a eficiência do tratamento

5.2.1. Tempo de detenção no floculador

A linha vertical indicada nas figuras 5.6 e 5.7 representa o limite inferior de 20 minutos preconizado pela ABNT para unidades hidráulicas.

Analisando a figura 5.6 é possível perceber que nenhuma estação de tratamento apresentou tempo inferior ao preconizado pela ABNT.

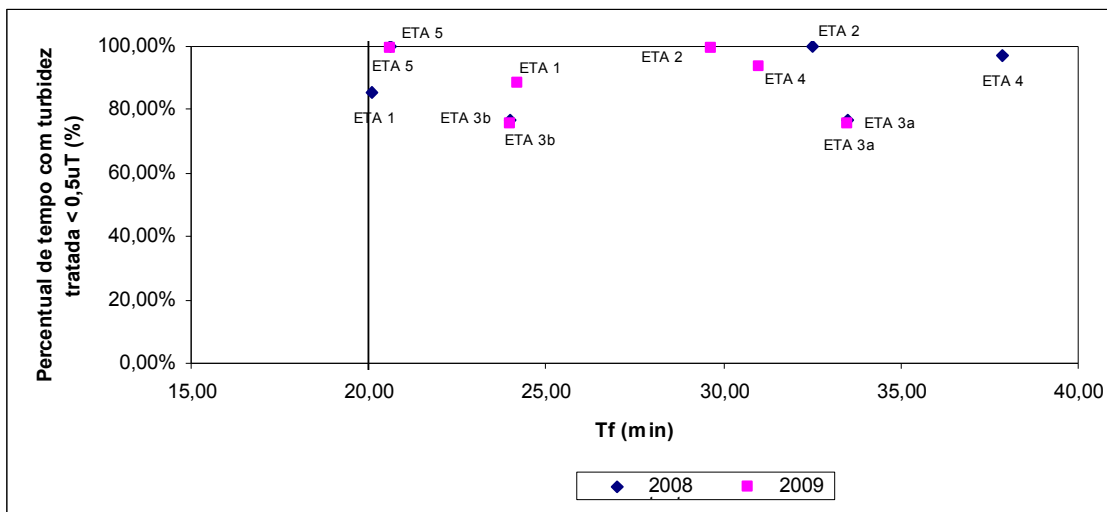


Figura 5-6 – Diagrama de dispersão das variáveis eficiência das estações segundo a turbidez da água filtrada e tempo de detenção no período seco

Na estação chuvosa, a situação, o tempo de floculação fica ainda maior, conforme apresenta a figura 5.7.

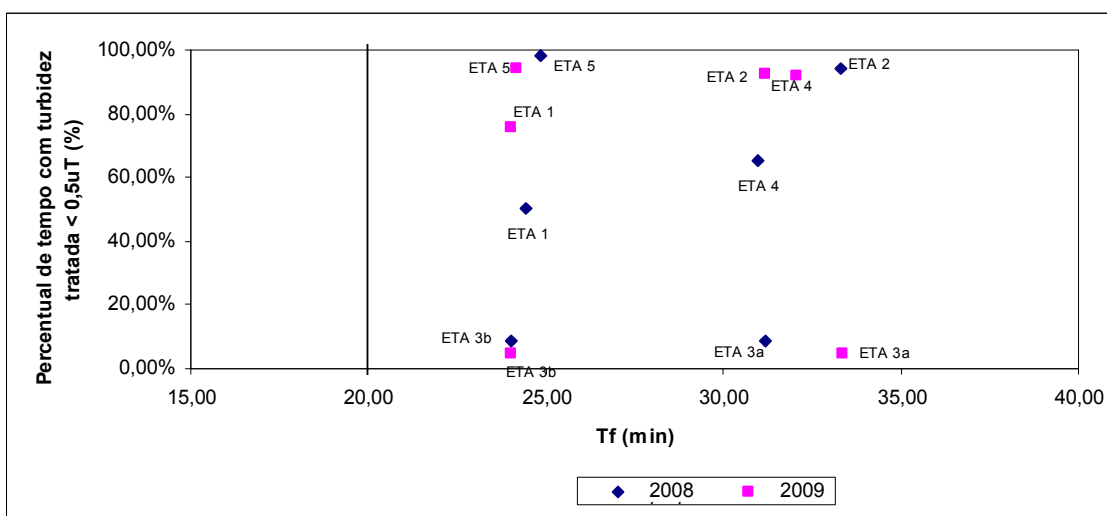


Figura 5-7 – Diagrama de dispersão das variáveis eficiência das estações segundo a turbidez da água filtrada e tempo de detenção no período chuvoso

Considerando que dentre os floculadores analisados, o mais simples possui 15 câmaras, pode-se minimizar qualquer ocorrência de curto-circuito. Tal afirmação pode ser corroborada pela alta eficiência da ETA 5 mesmo, no período de seca, apresentado tempo de detenção teórico

muito próximo de 20 minutos. Desta maneira, é possível concluir que as baixas eficiências obtidas por algumas ETAs não estão relacionadas a problemas hidráulicos no floculador.

5.2.2. Velocidade de sedimentação no decantador

As linhas verticais indicadas nas figuras 5.8 e 5.9 representam a velocidade de sedimentação máxima indicada pela ABNT conforme a magnitude da vazão (1,74 cm/min para vazões inferiores a 11,6 l/s e 2,43 cm/min para vazões entre 116 e 11,6 l/s).

As ETAs 1 e 2, por tratar vazão média de 20 e 30 l/s, respectivamente, devem obedecer ao limite de 2,43 cm/min. As demais devem obedecer ao limite de 1,74 cm/min. Conforme figura 5.8, a ETA 1 apresenta em um dos anos estudados velocidade de sedimentação média maior que a estabelecida, mas tal fato não indica ser o responsável por seu desempenho insuficiente, uma vez que sua eficiência foi praticamente a mesma que a obtida em um período onde manteve a velocidade de sedimentação abaixo do valor da ABNT.

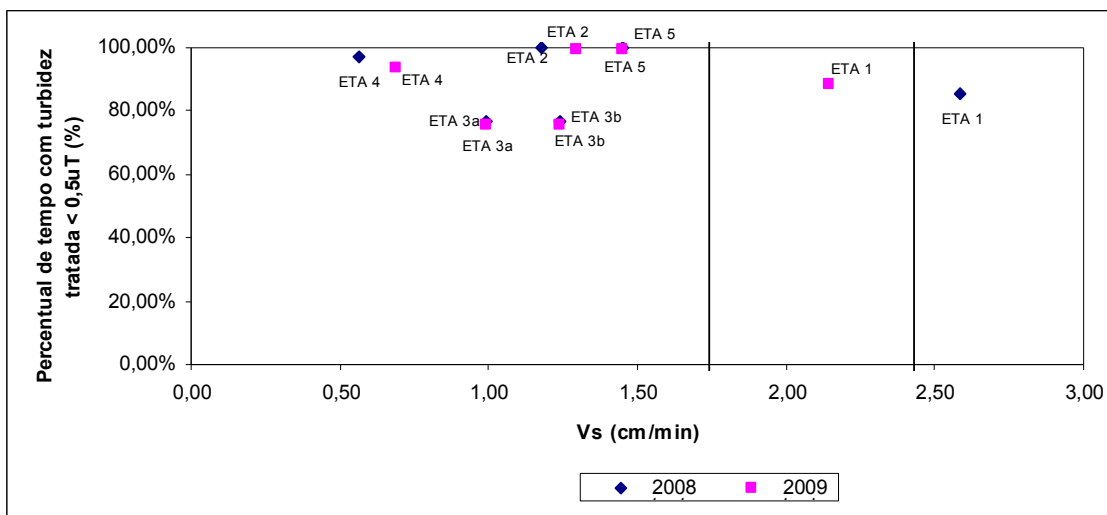


Figura 5-8 – Diagrama de dispersão das variáveis eficiência das estações segundo a turbidez da água filtrada e velocidade de sedimentação no período seco

Dentro do período chuvoso, conforme indica a figura 5.9, todas as estações trabalharam de acordo com a indicação da ABNT.

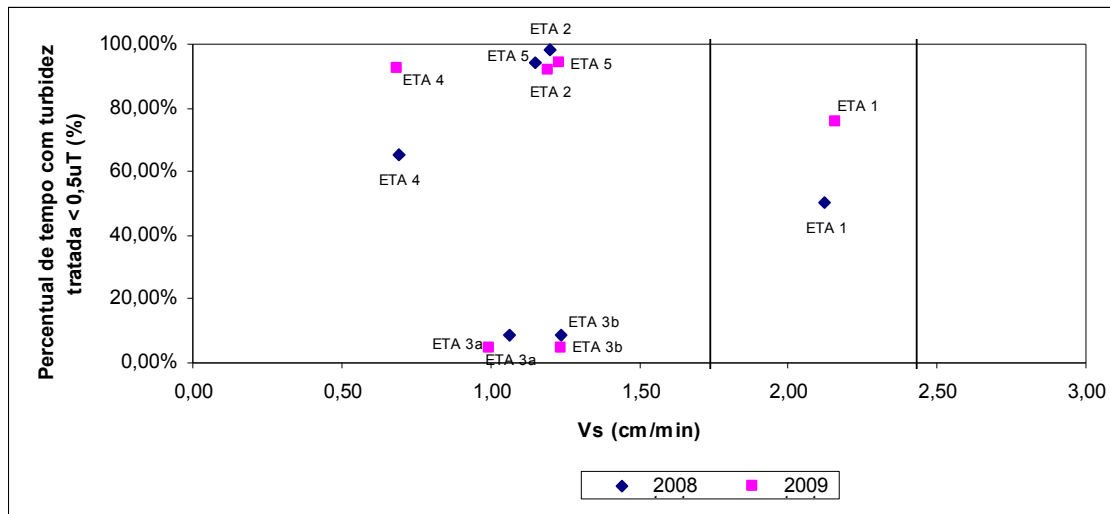


Figura 5-9 – Diagrama de dispersão das variáveis eficiência das estações segundo a turbidez da água filtrada e velocidade de sedimentação no período chuvoso

Analisado conjuntamente as figuras 5.8 e 5.9 pode-se aferir que as baixas eficiências, principalmente da ETA 3, não estão correlacionados com sobrecarga do floculador .

5.2.3. Velocidade de escoamento no decantador

A linha vertical indicada nas figuras 5.10 e 5.11 representa a velocidade longitudinal de escoamento máxima indicada pela ABNT para a situação das ETAs em estudo (0,35 m/s).

No período seco, conforme delinea a figura 5.10 somente a ETA 1 apresenta em um dos anos estudados velocidade longitudinal média maior que a recomendada pela ABNT para evitar quebra dos flocos, mas tal fato não indica ser o responsável por seu desempenho insuficiente, uma vez que sua eficiência foi praticamente a mesma que a obtida em um período onde manteve a velocidade longitudinal abaixo do valor recomendado.

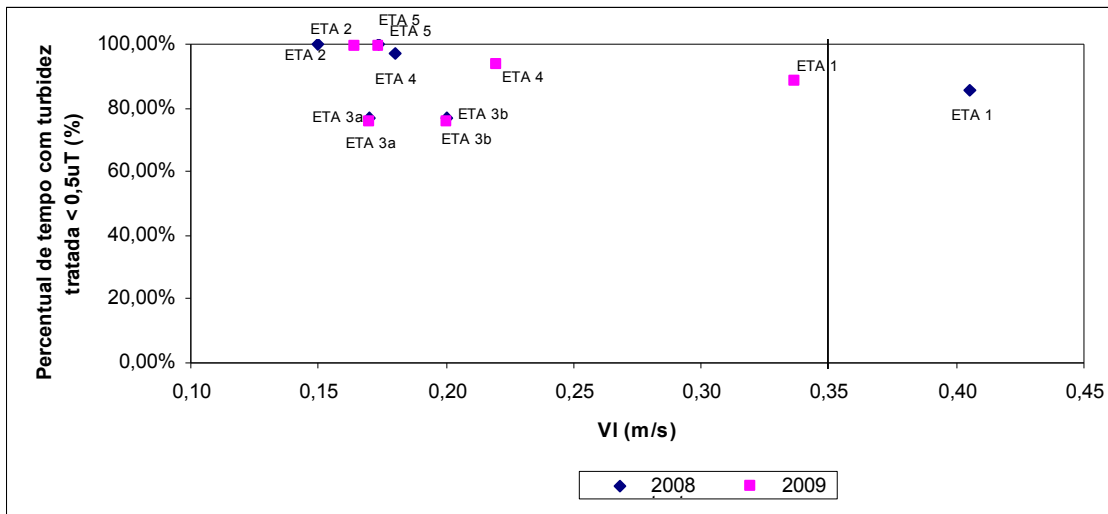


Figura 5-10 – Diagrama de dispersão das variáveis eficiência das estações segundo a turbidez da água filtrada e velocidade longitudinal de escoamento no período seco

A figura 5.11 mostra que no período chuvoso, todas as estações apresentaram velocidades longitudinais dentro das recomendações.

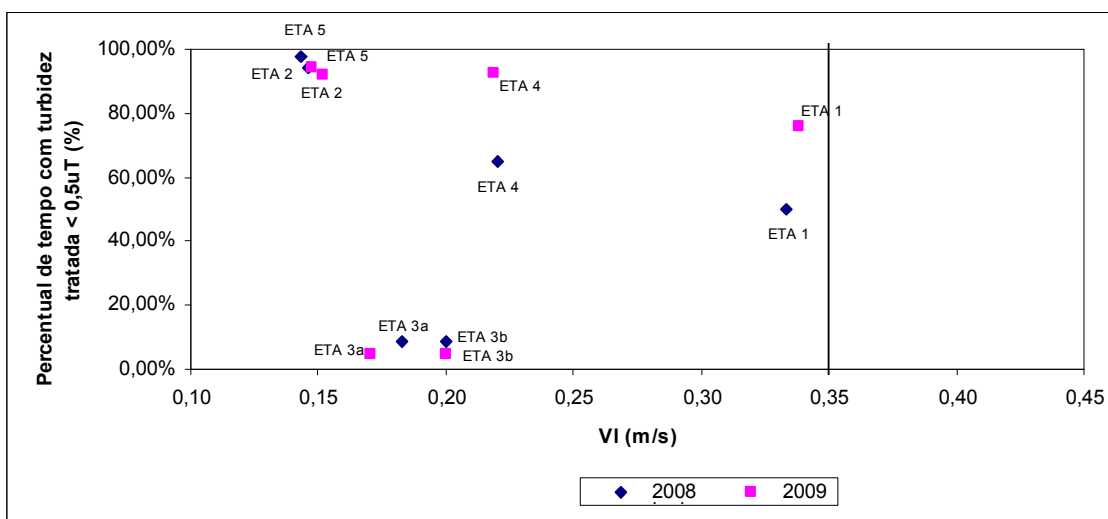


Figura 5-11 – Diagrama de dispersão das variáveis eficiência das estações segundo a turbidez da água filtrada e velocidade longitudinal de escoamento no período chuvoso

Analisando as velocidades longitudinais das ETAs, observa-se que as baixas eficiências apresentadas por algumas delas não estão correlacionadas com a possível quebra do flocos dentro do floculador.

5.2.4. Taxa de filtração

A linha vertical indicada nas figuras 5.12 e 5.13 representa a taxa de filtração máxima preconizada pela ABNT para a situação das ETAs em estudo ($360\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$).

A ETA 1 apresenta em um dos anos estudados, conforme mostra a figura 5.12, sobrecarga de 5% nos filtros, podendo causar trespasse. Como sua eficiência, quando da sobrecarga, foi praticamente a mesma de quando em situação normal, esta fator não influenciou seu desempenho. As demais ETAs apresentam taxa de filtração dentro dos padrões sugeridos pela ABNT.

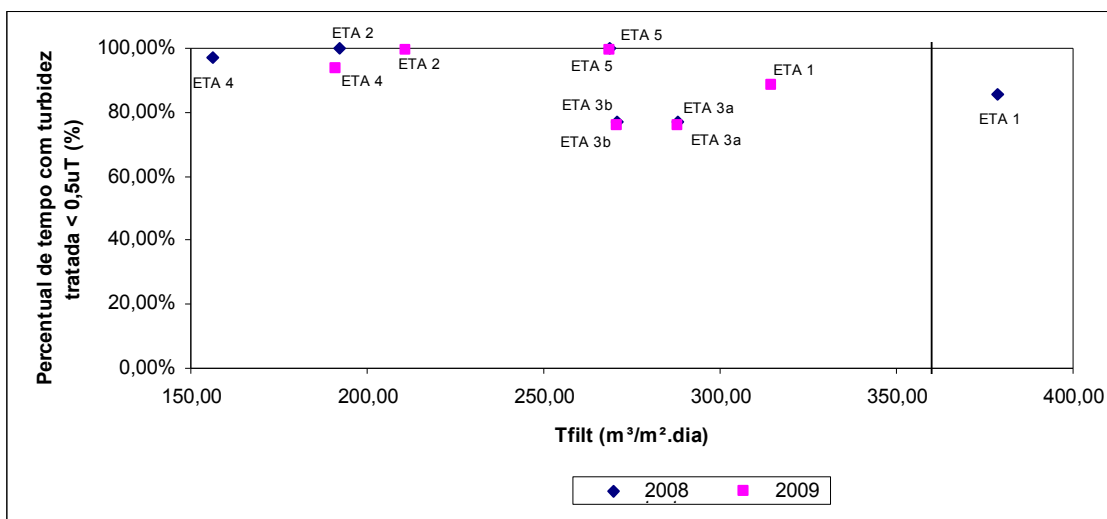


Figura 5-12 – Diagrama de dispersão das variáveis eficiência das estações segundo a turbidez da água filtrada e taxa de filtração no período seco

A figura 5.13 mostra que todas as estações operam com taxa de filtração satisfatória durante o período chuvoso.

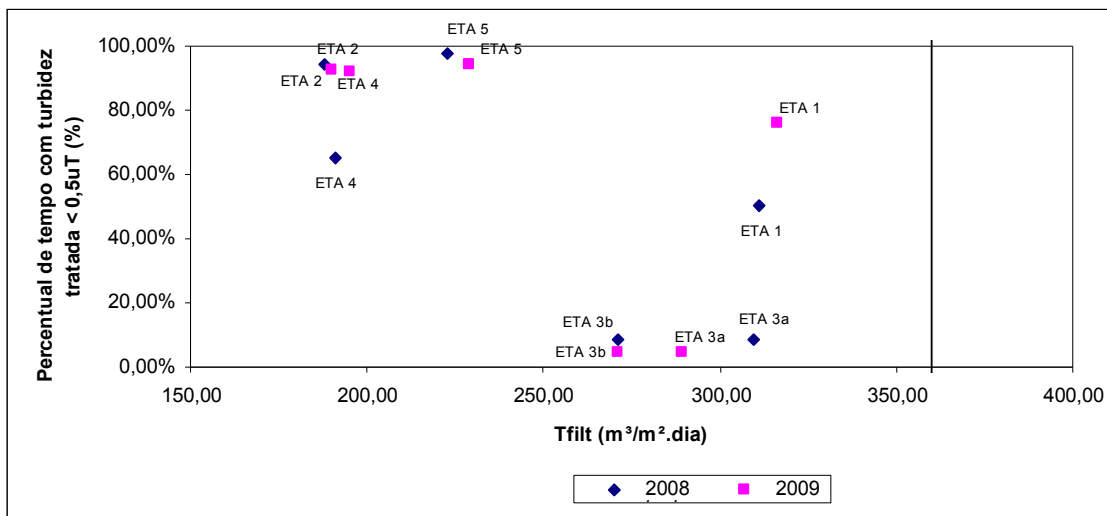


Figura 5-13 – Diagrama de dispersão das variáveis eficiência das estações segundo a turbidez da água filtrada e taxa de filtração no período chuvoso

Analisando os dois períodos, percebe-se que não existem problemas no processo de filtração.

5.3. Comparação do IQAB com a eficiência do tratamento

A figura 5.14 mostra a inexistência de correlação entre a eficiência do tratamento e a qualidade da água bruta, uma vez valores de qualidade da água bruta maiores resultaram em menores eficiências.

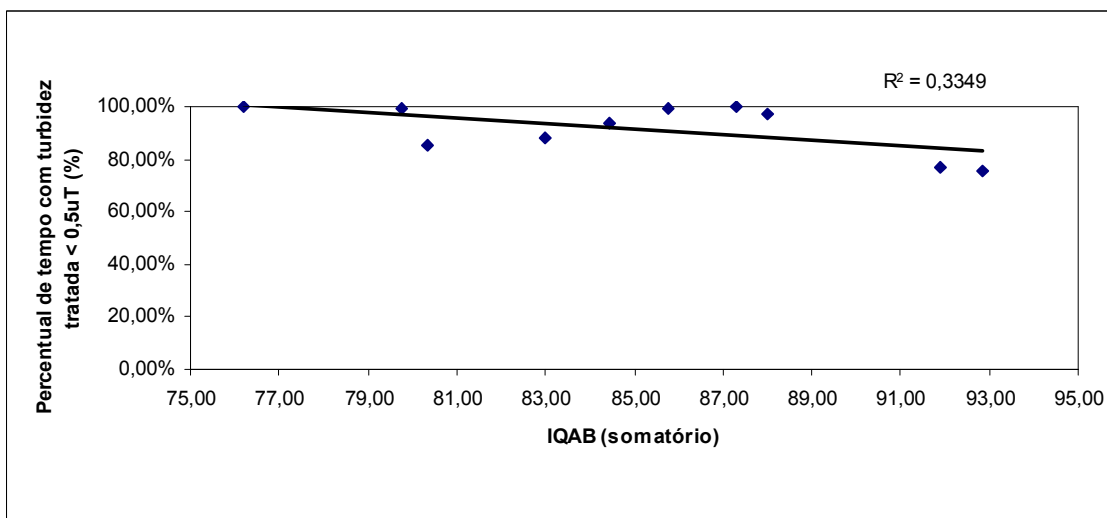


Figura 5-14 – Correlação entre eficiência do tratamento segundo a turbidez da água filtrada e o IQAB

5.4. Verificação da correlação do IQAB com o custo dos produtos químicos do tratamento

Os dados utilizados para o cálculo do IQAB encontram-se no apêndice B. Os resultados encontrados estão listados na tabela 5.1. O custo do produto químico foi apurado para 1000m³ tratados para permitir melhor visualização dos valores.

Tabela 5-1 – Resultados dos IQABs e dos custos de produtos químicos por m³ tratado das estações

ETA	Período	Ano	Resultado do IQAB		Produtos Químicos Custo por 1000m ³ tratados
			IQAB		
			Somatório	Produtório	
1	Período Seco	2008	80,35	77,72	R\$ 26,03
1	Período Chuvoso	2008/2009	72,05	67,59	R\$ 30,93
1	Período Seco	2009	82,99	79,84	R\$ 20,81
1	Período Chuvoso	2009/2010	67,55	63,50	R\$ 31,24
2	Período Seco	2008	76,19	72,59	R\$ 30,91
2	Período Chuvoso	2008/2009	61,72	56,68	R\$ 38,33
2	Período Seco	2009	79,75	75,62	R\$ 45,82
2	Período Chuvoso	2009/2010	57,63	51,11	R\$ 57,90
3	Período Seco	2008	91,89	90,80	R\$ 34,71
3	Período Chuvoso	2008/2009	74,2	71,61	R\$ 46,00
3	Período Seco	2009	92,84	92,57	R\$ 42,35
3	Período Chuvoso	2009/2010	69,27	68,00	R\$ 50,33
4	Período Seco	2008	87,99	86,55	R\$ 21,21
4	Período Chuvoso	2008/2009	82,47	82,07	R\$ 34,70
4	Período Seco	2009	84,43	82,29	R\$ 20,38
4	Período Chuvoso	2009/2010	ND	ND	R\$ 26,89
5	Período Seco	2008	87,29	84,99	R\$ 12,38
5	Período Chuvoso	2008/2009	69,86	61,46	R\$ 20,04
5	Período Seco	2009	85,76	80,50	R\$ 12,20
5	Período Chuvoso	2009/2010	84,29	79,70	R\$ 36,80

As figuras 5.15 e 5.16 apresentam gráfico de dispersão tentando correlacionar o IQAB com os custos dos produtos químicos utilizados no tratamento. A primeira figura utiliza o método do somatório e a segunda o método do produtório.

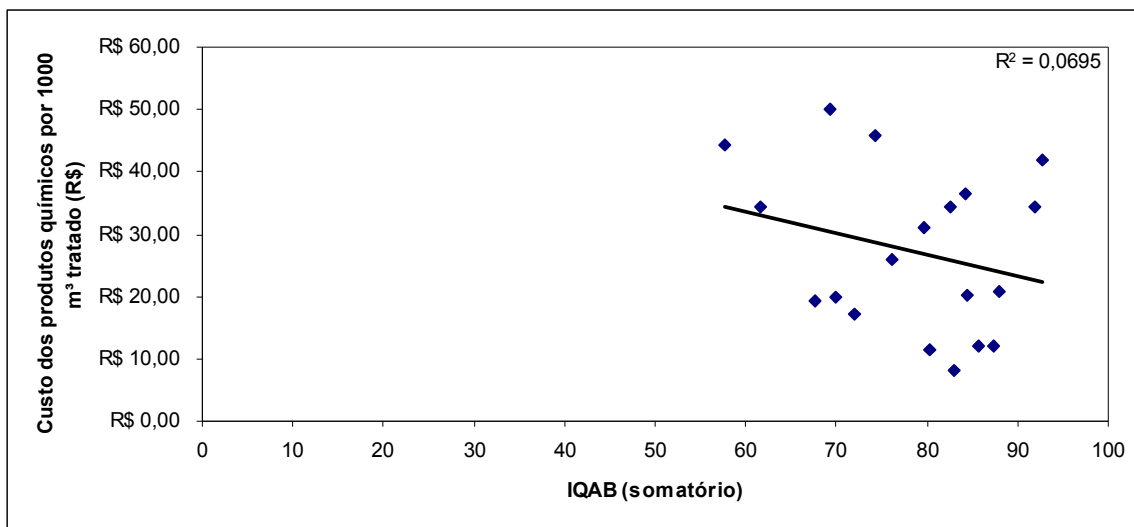


Figura 5-15 – Gráfico de dispersão do custo dos produtos químicos por 1000 m³ tratados e o IQAB calculado pelo método do somatório

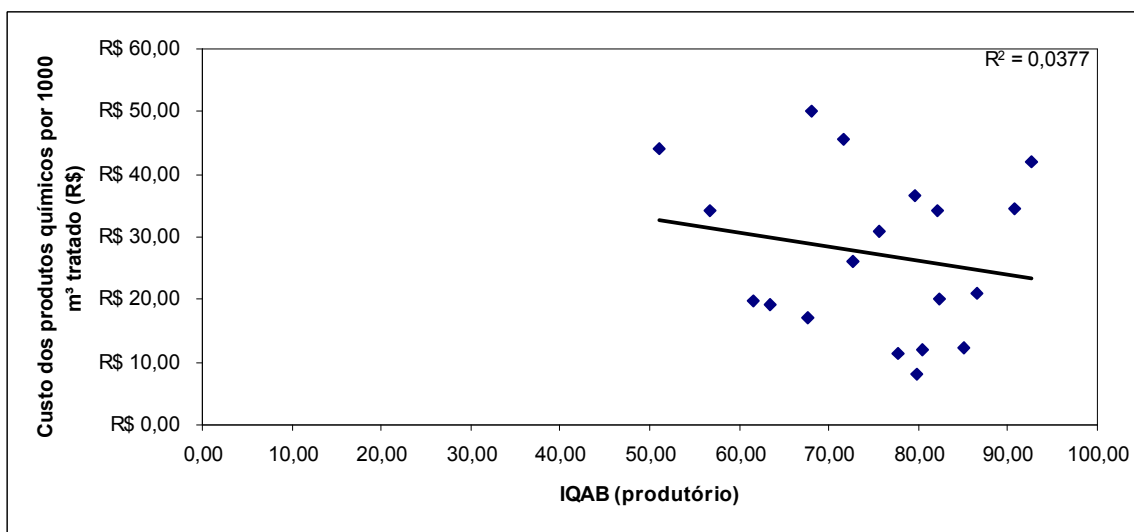


Figura 5-16 – Gráfico de dispersão do custo dos produtos químicos por 1000 m³ tratados e o IQAB calculado pelo método do produtório

As figuras 5.15 e 5.16 demonstram não haver correlação entre o custo dos produtos químicos por m³ tratado e o IQAB, seja ele calculado pelo produtório ou pelo somatório. Nenhuma das ETAs estudadas utilizam exatamente a mesma combinação de produtos químicos. E esta variação não obrigatoriamente está associada a qualidade do tratamento. Como exemplo, a

utilização do cloro gasoso é menos onerosa que a do hidróxido de sódio, mas requer maior cuidado operacional devido a sua periculosidade. Desta maneira, as três ETAs de menor porte não o utilizam. Esta situação pode levar a diferenças nos custos de tratamento não motivadas pela qualidade de água bruta, o que poderia contribuir diretamente na ausência de correlação.

Analisou-se então a correlação entre o custo dos produtos químicos e a eficiência do tratamento individualmente para cada estação.

Conforme figura 5.17, a ETA 1 apresenta alta correlação entre os fatores (98% do custo da produção é explicado pelo IQAB) e a ETA 2 possui considerável correlação (70%). Na ETA 2, é importante salientar que o ponto referente ao período chuvoso de 2008/2009 (61,72;R\$ 34,34) teve seu custo desonerado devido a utilização de sulfato de alumínio ao invés de cloreto férrico em um dos meses. Tal substituição ocorreu por falta do material.

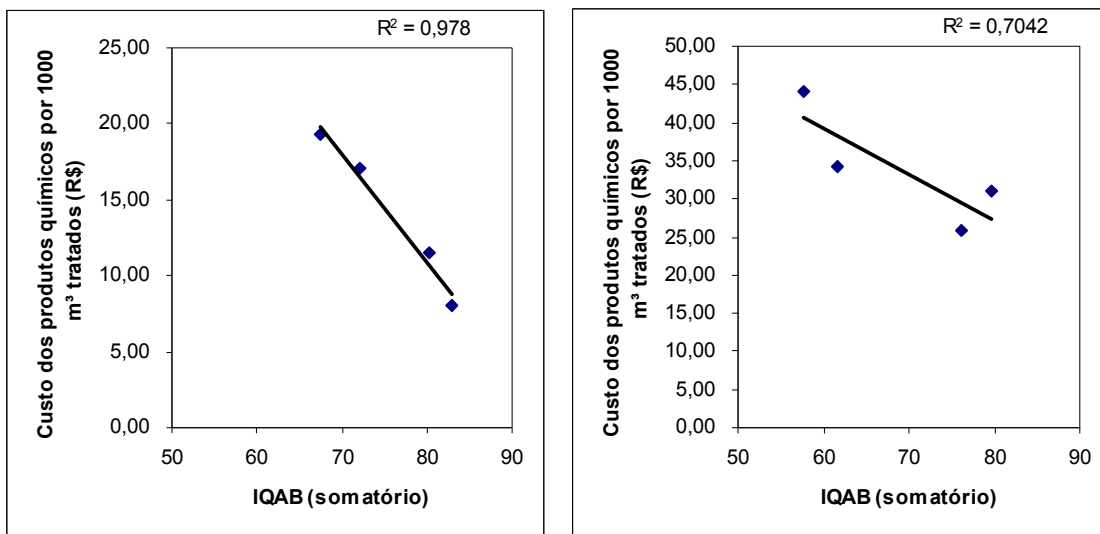


Figura 5-17 – Gráfico de dispersão do custo dos produtos químicos por m³ tratado e o IQAB calculado pelo método do somatório para as ETAs 1 e 2

A figura 5.18 mostra que a ETA 3 apresenta considerável correlação entre os fatores (74% do custo da produção é explicado pelo IQAB) e a ETA 4 possui alguma correlação (54%). A ETA 3 apresenta apenas três pontos pois não foi possível realizar análise de *E. coli* no períodos, por problemas operacionais.

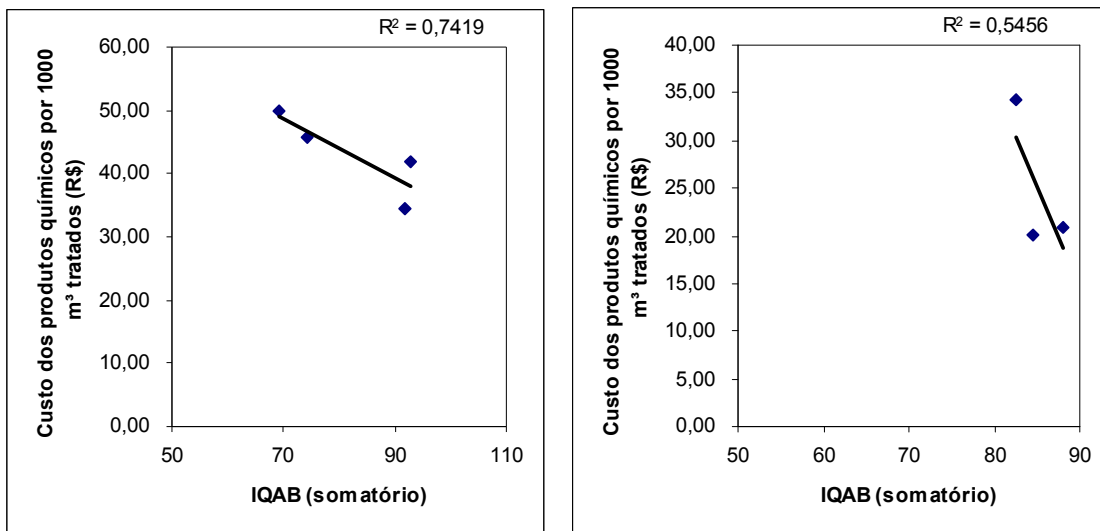


Figura 5-18 – Gráfico de dispersão do custo dos produtos químicos por m³ tratado e o IQAB calculado pelo método do somatório para as ETAs 3 e 4

A figura 5.19 indica que a ETA 5 não apresenta qualquer correlação entre os parâmetros. É importante salientar que o ponto referente ao período chuvoso de 2008/2009 (84,29 ; R\$ 36,51) apresentou custo elevado devido a substituição do método de correção de pH realizada na ETA. A partir deste período, o hidróxido de cálcio foi substituído pelo hidróxido de sódio.

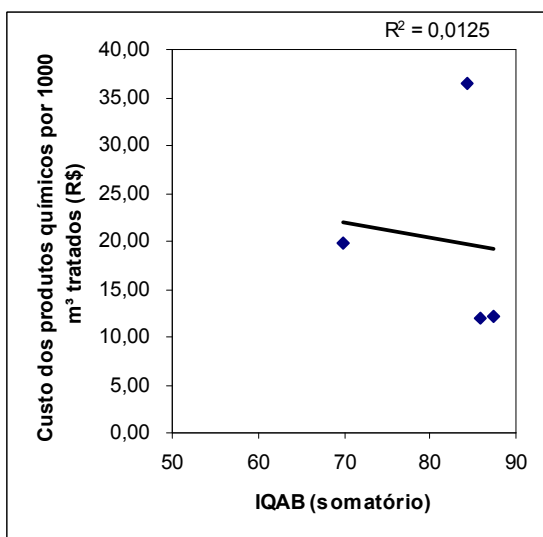


Figura 5-19 – Gráfico de dispersão do custo dos produtos químicos por m³ tratado e o IQAB calculado pelo método do somatório para a ETA 5

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Duas estações de tratamento apresentaram ótimo desempenho, enquanto uma apresentou baixo desempenho.

A estação com baixo desempenho foi a única que apresentou correlação significativa entre a turbidez da água tratada e a da água bruta.

Não foi percebida correlação significativa entre os parâmetros hidráulicos tempo de floculação, velocidade de sedimentação, velocidade longitudinal de escoamento e taxa de filtração e a turbidez da água tratada.

As unidades da estação com baixo desempenho não apresentaram sobrecarga.

Não foi observada correlação significativa entre o IQAB e a turbidez da água tratada.

Diante da ausência de sobrecarga e da inexistência de correlação entre a qualidade da água bruta e a turbidez da água tratada, conclui-se que a baixo desempenho apresentado por uma das ETA pode ser causado por problemas operacionais.

Foi observada considerável significância entre o IQAB e o custo de produtos químicos de tratamento quando analisada cada estação separadamente. Como as estações utilizavam produtos químicos diferentes, ao se analisar o conjunto a correlação não foi identificada.

A análise desta última correlação foi prejudicada pela pequena amostragem do estudo. Como o IQAB é um índice recente e ainda não amplamente difundido, nas ETAs estudadas alguns parâmetros necessários para o seu cálculo são apurados apenas com frequência semestral, como recomenda a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. Tal situação se justifica pelo fato de alguns dos mananciais utilizados não apresentarem problemas históricos.

Sugere-se o estudo mais aprofundado da correlação entre o IQAB e o custo de produtos químicos de tratamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12218**: Projeto de estação de tratamento de água para o abastecimento. Abril, 1992.
- ALMEIDA, J.F.A.; VIANA, M.; LIBÂNIO, M. **Avaliação do desempenho de estações de tratamento de água operadas por companhia estadual de saneamento e autarquias municipais**. In: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Saneamento ambiental Brasileiro: Utopia ou realidade?. Rio de Janeiro, ABES, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216: Projeto de estações de tratamento de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro, 1992.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria 518 de 25 de março de 2004**. Diário Oficial da União, 26 de março de 2004. p. 266-70.
- DE SOUZA, M. E. T. A. **Proposição de um índice de qualidade de água bruta afluenta a estações convencionais de tratamento de água**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2008.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. Editora Átomo, Campinas, 2008.
- LIBÂNIO, M.; VIANA, M. **Turbidez da água bruta x parâmetros hidráulicos: afinal, o que é mais relevante no desempenho das estações de tratamento de água?** . In: VI SIBESA - Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vitória. 2002.
- LOPES, V. C. **Proposição de um Índice para Avaliação do Desempenho de Estações Convencionais de Tratamento de Água**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2005.
- LOPES, V. C.; LIBÂNIO, M. **Proposta de Índice de Qualidade para Água Bruta afluenta a estações convencionais de tratamento**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 14, n.4 p. 471-478, 2009.
- LUSARDI, P. J.; CONSONERY, P J. **Factors Affecting Filtered Water Turbidity**. Journal of American Water Association (AWWA), vol. 91 n. 12, p. 28-40, dezembro de 1999.
- VAN HELMOND, C. A. M.; BREUKEL R. M. A. **Physico- chemical water quality indices**. Disponível em http://www.mtm-conference.nl/mtm2/doc/Van_Helmond_1997.pdf. Acessado em 20/7/2010.

APÊNDICE A – TABELAS REFERENTES AOS CRITÉRIOS DE PONTUAÇÃO DO IQAB

Tabela 8-1 – Pontuação do parâmetro turbidez

Turbidez (uT)	Pontuação
300	33
250	35
200	40
150	50
100	60
60	75
40	80
20	85
10	90
0	100

Tabela 8-2 – Pontuação do parâmetro cor verdadeira

Cor Verdadeira (uC)	Pontuação
0	100
10	95
15	90
20	85
25	80
35	75
40	70
50	65
60	60
70	55
75	50
80	45
90	40
100	35
120	30

Tabela 8-3 – Pontuação do parâmetro *E. coli*

<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Pontuação
0	100
1	80
2	50
3	30
4	1

Tabela 8-4 – Pontuação do parâmetro pH

pH	Pontuação
2	30
2,5	35
3	40
3,5	45
4	50
4,5	55
5	60
5,5	70
6	80
6,5	90
7	100
7,5	90
8	85
8,5	80
9	70
9,5	60
10	50
10,5	30
11	15
11,5	5
12	1

Tabela 8-5 – Pontuação do parâmetro cianobactérias

Conc.Cianob. (Nº cél/mL)	Pontuação
1,00E+00	100
1,00E+01	90
1,00E+02	80
1,00E+03	60
1,00E+04	50
1,00E+05	10
1,00E+06	1

Tabela 8-6 – Pontuação do parâmetro algas

Algas (Nº de cel./ml)	Pontuação
1,00E+00	100
1,00E+01	95
1,00E+02	90
1,00E+03	70
1,00E+04	60
1,00E+05	20
1,00E+06	5
1,00E+07	1

Tabela 8-7 – Pontuação do parâmetro ferro

Conc. Fe (mg/L)	Pontuação
0	100
0,1	90
0,2	80
0,3	70
0,4	60
0,5	50
1	40
1,3	30
1,5	25
1,7	20
2	15
2,5	12
3	10
3,5	5
4	1

Tabela 8-8 – Pontuação do parâmetro manganês

Conc. Mn (mg/L)	Pontuação
0	100
0,01	90
0,02	80
0,05	70
0,1	60
0,12	50
0,15	40
0,2	30
0,3	20
0,5	10
1	1

APENDICE B – DADOS DOS CALCULOS DO IQAB

ETA 1																													
Algas (Orig/ml)	W	q	Cianobactérias (Orig/ml)	W	q	E. coli (NMP/100 ml)	W	q	Ferro (mg/l)	W	q	Manganés (mg/l)	W	q	Turbidez (uT)	W	q	pH	W	q	Cor (uH)	W	q	Cor corrigida (uH)	W	q	Somatónio	Produtório	
18/12/2007	139,06	88	0,1	13,21	89	0,11	231	42	0,09	1,91	17	0,09	0,14	43	0,08	9	0,22	6,9	91	0,22	7,8	96	0,19	0	0	27,34	0,00		
26/6/2008	207,86	84	0,1	191,01	74	0,11	1223,3	48	0,09	0,81	43	0,09	0,05	70	0,08	9	0,22	6,9	91	0,22	7,8	96	0,19	23,1	82	77,72	80,35	77,72	
23/12/2008	73,6	91	0,1	18,4	88	0,11	387,3	38	0,09	1,5	25	0,09	0,06	68	0,08	74,7	0,22	6,74	69	0,22	23,1	97	0,19	6,9	97	72,05	67,59	72,05	67,59
8/6/2009	252,78	82	0,1	0	100	0,11	344,8	40	0,09	0,76	46	0,09	0,02	80	0,08	11,6	0,22	6,86	89	0,22	69	97	0,19	6,9	97	82,99	79,84	82,99	79,84
21/12/2009	87,46	91	0,1	0	100	0,11	360,9	38	0,09	1,3	30	0,09	0,05	70	0,08	126,6	0,22	6,72	55	0,22	45,6	65	0,19	45,6	65	67,55	63,50	67,55	63,50

ETA 2																													
Algas Orig/ml	W	q	Cianobactérias	W	q	E. coli (NMP/100 mL)	W	q	Ferro (mg/L)	W	q	Manganés (mg/L)	W	q	Turbidez	W	q	pH	W	q	Cor	W	q	Cor verdadeira	W	q	Somatónio	Produtório	
12/12/2007	493,48	76	0,1	0	100	0,11	307,6	40	0,09	1,19	35	0,09	0,25	25	0,08	0	0,22	6,84	89	0,22	57	97	0,19	0	0	27,35	0,00		
25/6/2008	764,17	72	0,1	728,74	64	0,11	488,4	36	0,09	0,8	42	0,09	0,13	66	0,08	13,1	0,22	6,84	89	0,22	57	97	0,19	5,7	97	76,19	72,59	76,19	72,59
10/12/2008	143,76	86	0,1	26,52	86	0,11	172,5	46	0,09	0,16	20	0,09	0,16	38	0,08	184	0,22	6,57	47	0,22	40,2	70	0,19	40,2	70	61,72	56,68	61,72	56,68
22/6/2009	8,9	100	0,1	0	100	0,11	151,5	46	0,09	0,78	44	0,09	0,16	38	0,08	33,2	0,22	6,83	82	0,22	103	95	0,19	10,3	95	79,75	75,62	79,75	75,62
21/12/2009	35,42	92	0,1	0	100	0,11	2419,6	30	0,09	1,39	27	0,09	0,19	38	0,08	269,6	0,22	6,82	34	0,22	71,5	54	0,19	71,5	54	57,63	51,11	57,63	51,11

ETA 3																													
Algas Orig/ml	W	q	Cianobactérias	W	q	E. coli (NMP/100 mL)	W	q	Ferro (mg/L)	W	q	Manganés (mg/L)	W	q	Turbidez	W	q	pH	W	q	Cor	W	q	Cor verdadeira	W	q	Somatónio	Produtório	
14/1/2008	68,43	91	0,1	0	100	0,11	150	46	0,09	0,07	45	0,09	0,02	80	0,08	0	0,22	7,6	98	0,22	13	99	0,19	0	0	34,69	0,00		
2/7/2008	67,23	91	0,1	0	100	0,11	58,3	56	0,09	0,1	90	0,09	0,02	80	0,08	2,1	0,22	7,6	98	0,22	13	99	0,19	1,3	99	91,89	90,80	91,89	90,80
7/1/2009	0,45	100	0,1	0	100	0,11	150	46	0,09	0,18	82	0,09	0,07	66	0,08	119,3	0,22	6,9	55	0,22	47,3	66	0,19	47,3	66	74,2	71,61	74,2	71,61
6/7/2009	66,75	91	0,1	0	100	0,11	10	80	0,09	0,13	87	0,09	0,02	80	0,08	3,1	0,22	7,35	97	0,22	21	99	0,19	2,1	99	82,84	82,57	92,57	82,57
11/1/2010	338,8	80	0,1	108	80	0,11	64,4	56	0,09	0,42	58	0,09	0,06	68	0,08	115,5	0,22	7,05	57	0,22	44,9	65	0,19	44,9	65	69,27	68,00	69,27	68,00

ETA 4																													
Algas Orig/ml	W	q	Cianobactérias	W	q	E. coli (NMP/100 mL)	W	q	Ferro (mg/L)	W	q	Manganés (mg/L)	W	q	Turbidez	W	q	pH	W	q	Cor	W	q	Cor verdadeira	W	q	Somatónio	Produtório	
8/1/2008	20,3	93	0,1	0	100	0,11	920,8	30	0,09	0,6	48	0,09	0,05	70	0,08	0	0,22	6,51	93	0,22	65	90	0,12	0	0	32,92	0,00		
2/7/2008	35,6	92	0,1	0	100	0,11	124,6	48	0,09	0,18	82	0,09	0,02	80	0,08	7,1	0,22	6,51	93	0,22	65	90	0,12	6,5	97	87,99	86,55	87,99	86,55
5/1/2009	24,2	93	0,1	13,48	100	0,11	6,3	84	0,09	0,21	79	0,09	0,04	78	0,08	59,1	0,22	6,27	75	0,22	32,3	76	0,19	32,3	76	82,47	82,07	82,47	82,07
6/7/2009	49,45	91	0,1	0	100	0,11	344,8	40	0,09	0,32	68	0,09	0,02	80	0,08	11	0,22	6,48	88	0,22	107	95	0,19	10,7	95	84,43	82,29	84,43	82,29
11/1/2010	196,26	84	0,1	52,19	83	0,11	0	0,09	1,28	30	0,09	0,12	50	0,08	23,5	0,22	6,82	84	0,22	24,3	80	0,19	24,3	80	69,43	68,43	69,43	68,43	

ETA 5																													
Algas Orig/ml	W	q	Cianobactérias	W	q	E. coli (NMP/100 mL)	W	q	Ferro (mg/L)	W	q	Manganés (mg/L)	W	q	Turbidez	W	q	pH	W	q	Cor	W	q	Cor verdadeira	W	q	Somatónio	Produtório	
10/1/2008	0,44	100	0,1	0	100	0,11	2419,6	0,09	0,73	45	0,09	1,24	1	0,08	0	0,22	7,08	98	0,22	19	98	0,12	0	0	25,13	0,00			
24/7/2008	22,47	93	0,1	0	100	0,11	102	50	0,09	0,4	60	0,09	0,09	62	0,08	2,5	0,22	7,08	98	0,22	19	98	0,12	1,9	99	87,29	84,99	87,29	84,99
8/1/2009	0	100	0,1	0	100	0,11	1203,3	27	0,09	1,28	30	0,09	0,34	18	0,08	62,7	0,22	6,91	74	0,22	356	98	0,12	35,6	98	69,86	61,46	69,86	61,46
21/7/2009	0	100	0,1	0	100	0,11	2419,6	30	0,09	0,96	40	0,09	0,1	90	0,08	3,6	0,22	7,21	96	0,22	31	95	0,19	3,1	95	85,76	80,50	85,76	80,50
11/1/2010	20,1	93	0,1	0	100	0,11	2419,6	30	0,09	0,72	45	0,09	0,1	90	0,08	10	0,22	7,01	90	0,22	72	100	0,12	7,2	96	84,29	84,29	84,29	84,29

Figura 9-1 – Dados utilizados para o cálculo do IQAB