

I-005 – TURBIDEZ DA ÁGUA BRUTA X PARÂMETROS HIDRÁULICOS: AFINAL, O QUE É MAIS RELEVANTE NO DESEMPENHO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA?

Marcelo Libânio⁽¹⁾

Engenheira Civil, Mestre em Engenharia Sanitária e Doutor em Hidráulica e Saneamento Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG Pesquisador do CNPq.

Mônica Viana

Acadêmica do 4º ano de Engenharia Civil da UFMG
Bolsista de Iniciação Científica da Fapemig

Endereço⁽¹⁾: Av. Contorno, 842/8º andar – Centro – 30.110-060 – Belo Horizonte – MG - mllibanio@ehr.ufmg.br

RESUMO

O objetivo do presente trabalho consiste em avaliar a influência da turbidez da água bruta e de alguns parâmetros hidráulicos inerentes às etapas de floculação, decantação e filtração na qualidade da água tratada efluente de uma estação de médio porte. A partir dos dados horários de operação, referentes aos anos de 1996 a 1998 e 2000, foram analisadas algumas técnicas estatísticas disponíveis, tais como frequência acumulada, e de associação entre variáveis como a média geométrica – recomendável para água bruta devido à amplitude de variação -, a média aritmética, a mediana e os indicadores de variação de cada parâmetro envolvido.

As análises de regressão apontaram insignificante correlação entre os dados de turbidez de água bruta e água tratada, mesmo quando os dados foram avaliados distintamente para os meses secos e chuvosos. Vale mencionar que tais dados de turbidez da água bruta puderam ser reunidos em uma mesma amostra, pois os mesmos apresentaram homogeneidade, devido à magnitude de variação da mediana, proporcionando uma maior confiabilidade estatística.

Em relação aos parâmetros hidráulicos, a estação apresentou-se operando com sobrecarga, ainda que desuniforme, uma vez que o tempo de floculação e as velocidades de aproximação nos filtros superaram, na maior parte do tempo de operação da unidade potabilizadora, as premissas estabelecidas pela NBR 12216. Todavia, a característica da água bruta em relação à sedimentabilidade das partículas pode ser um dos motivos da ausência de correlação entre as variáveis testadas e de assegurar a produção de água filtrada com turbidez inferior a 0,4 uT em 83% do tempo de operação da unidade, sem reduzir significativamente a duração das carreiras dos filtros.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de água; turbidez da água bruta; turbidez da água tratada; parâmetros hidráulicos.

INTRODUÇÃO

Os indicadores de desempenho dos diversos processos e operações unitárias concernentes à potabilização referem-se, basicamente, à adequação das características da água bruta à tecnologia de tratamento e à relação vazão afluente/capacidade da unidade. Para a avaliação da eficiência global da estação, a tais fatores somam-se ainda as características do efluente e o custo do tratamento, este intrinsecamente vinculado à dosagem e ao tipo de coagulantes, à duração das carreiras de filtração, à existência de curtos-circuitos entre as unidades e ao nível técnico dos operadores da estação.

No presente estudo considerou-se a turbidez da água filtrada como indicador de desempenho, especialmente na remoção de protozoários e balizado nas premissas estabelecidas pela Portaria 1469/2000¹, que mantém o limite de 1,0 uT e recomenda 0,5 uT em 95 % das amostras mensais com tal intento. Procedimento similar foi

¹MINISTÉRIO DA SAÚDE - Normas e padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano, Portaria 1469, Brasília, 29 de dezembro 2000.



adotado por pesquisadores americanos em um estudo enfocando 75 estações de tratamento de água do estado norte-americano da Pennsylvania², no qual objetivou-se inferir a importância de diversos fatores no desempenho das estações, entre os quais a taxa de filtração, a idade da estação, o tipo de meio filtrante e a magnitude da população abastecida. Este estudo apontou a supremacia da qualidade da operação, fator tão relevante quanto intangível, em relação aos fatores alinhavados.

O emprego da turbidez como parâmetro balizador da eficiência do tratamento, juntamente com a contagem de partículas, encontra respaldo em recentes estudos correlacionando a remoção desta característica física à de cistos e oocistos de protozoários. Pesquisa³, avaliando a remoção de cistos de *Giardia muris* e oocistos de *Cryptosporidium parvum*, foi realizada em diversas unidades piloto, totalizando 105 pontos de amostragem, em três estados americanos – Oregon, Washington e Califórnia –, empregando águas naturais com baixa turbidez, inferior a 10 uT, e inoculadas com tais protozoários.

A pesquisa confirmou a baixa correlação entre a remoção de turbidez e a de protozoários. A mesma concluiu também que a remoção de turbidez e partículas - por meio de contagem nos intervalos de tamanhos de 1-2, 2-5 e 5-15 µm, compatíveis com as dimensões dos protozoários - parece subestimar a remoção de cistos e oocistos, para águas naturais de baixa turbidez. Todavia, comprovou que à elevação de 0,1 a 0,3 uT da turbidez da água filtrada está associada à redução de 1,0 log na remoção destes microrganismos.

Em relação à comparação entre distintas tecnologias, a pesquisa foi inconclusiva pois, embora as unidades piloto dotadas de sedimentação tenham apresentado eficiência superior quando comparadas às unidades de filtração direta, a remoção de protozoários na decantação variou desde 4,0 e 5,0 log até a remoção nula, reforçando a importância da filtração para este fim.

A turbidez da água filtrada tem sido questionada em função do progressivo advento dos contadores de partículas. O cerne de tais questionamentos reside na variação mais gradual do número de partículas no início e no fim da carreira de filtração⁴, como também no fato de que valores de turbidez usualmente verificados para água filtrada – principalmente quando inferiores a 0,5 uT – apresentam distintos número e distribuição dos tamanhos das partículas. Reforça, e justifica, o emprego da turbidez como balizador da eficiência a discrepância entre o custo dos respectivos equipamentos e a forte correlação, inferida em recente pesquisa⁵, entre os dois parâmetros para a conjunção dos dados de águas bruta, decantada e filtrada ($R^2 = 0,98$).

² LUSARDI, P. J. & CONSONERY, P. J. – *Factors affecting filtered water turbidity*, Journal of American Water Works Association, n.12, vol. 91, p.28-40, December 1999.

³ PATANIA, N. L.; JACANGELO, J. G.; CUMMINGS, L.; WILCZAK, A.; RILLEY, K. & OPPENHEIMER, J. – Optimization of Filtration for Cyst Removal, Ed. AWWA, USA, 153 p., 1995.

⁴ LAGE FILHO, F. A. – *Fundamentos da contagem de partículas em águas de abastecimento*, Anais Eletrônicos do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa, setembro de 2001.

⁵ PÁDUA, V. L. & DI BERNARDO, L. – *Comparação entre turbidez e distribuição de tamanhos de partículas*, Anais Eletrônicos do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa, setembro de 2001.

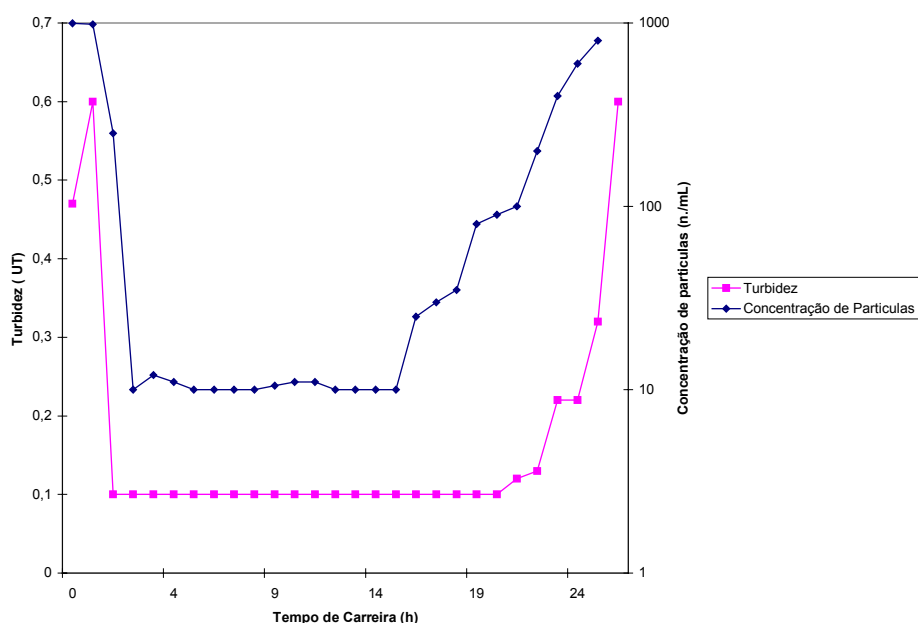


FIGURA 1: Evolução típica da turbidez e do número de partículas do efluente ao longo da carreira de filtração⁴.

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.

OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho consiste em avaliar a influência da turbidez da água bruta e de alguns parâmetros hidráulicos inerentes às etapas de floculação, decantação e filtração na qualidade da água tratada efluente de uma estação de médio porte.

METODOLOGIA

Descrição da Estação de Tratamento

A estação de tratamento objeto do estudo apresenta linha convencional de potabilização, dotada de unidades de mistura rápida, floculação, decantação, filtração e desinfecção, tendo sido construída em 1986. A água bruta afluente ao medidor Parshall de 9", com vazão média da ordem de 124 L/s, no qual efetua-se a coagulação com sulfato de alumínio. A partir do Parshall o fluxo é encaminhado ao floculador hidráulico de passagem forçada de sete câmaras, tipo Cox, dividindo-se entre dois decantadores de escoamento horizontal, com a água decantada afluindo a três filtros de escoamento descendente. O monitoramento da turbidez ocorre a montante do tanque de contato na tubulação para a qual convergem os efluentes das unidades de filtração.

Análise dos Dados de Operação

O universo amostral do estudo contemplou os registros horários de vazão afluente e turbidez da água bruta e tratada referentes aos anos de 1996 a 1998 e 2000. A partir das características físicas da estação e da vazão afluente determinaram-se os parâmetros hidráulicos envolvidos no estudo, quais sejam, os tempos teóricos de floculação, as velocidades de sedimentação e longitudinais de escoamento vigentes nas unidades de

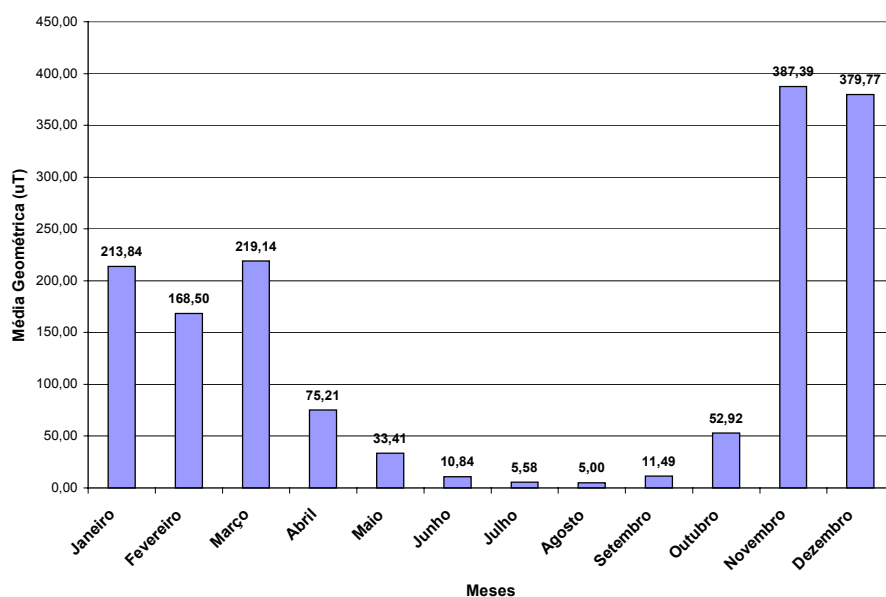
decantação e as taxas de filtração. A magnitude de tais parâmetros pôde ser comparada à recomendada pela ABNT⁶, visando inferir o grau de sobrecarga de cada unidade. Vale mencionar que, devido à capacidade de reservação do sistema de abastecimento, a vazão afluyente ao longo dos 4 anos de operação apresentou mesmo perfil de variação diária.

Posteriormente, os dados de operação foram analisados mediante algumas técnicas estatísticas disponíveis⁷. Em uma primeira etapa elaboraram-se gráficos de freqüência acumulada e de associação entre variáveis, com determinação de médias geométricas – recomendáveis para água bruta, passível de apresentar amplo espectro de variação - e aritméticas, medianas e indicadores de variação de cada parâmetro envolvido. Por fim, efetuaram-se diversas análises de regressão, correlacionando os distintos parâmetros, no intuito de desenvolver um modelo matemático – tendo a turbidez da água filtrada como variável dependente – que envolvesse os parâmetros hidráulicos e a turbidez da água bruta como variáveis explicativas.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A significativa variação da turbidez da água bruta ao longo do período da pesquisa materializa-se nos gráficos das figuras 2 e 3. Conforme mencionado, a amplitude de variação desta característica justificou o emprego da média geométrica como medida de tendência central. Efetuou-se uma análise de consistência dos dados, tendo sido detectado em períodos esparsos a improvável repetição de elevados valores de turbidez da água bruta, cujo descarte ou inserção não comprometeria o resultado das análises estatísticas realizadas devido ao tamanho da amostra. A definição dos intervalos desiguais de freqüência relativa estabelecidos para os valores da turbidez da água bruta, embora inusuais⁷, objetivou inferir o tempo de funcionamento da estação para o qual a tecnologia da filtração direta poderia ser empregada⁸. Neste contexto, admitindo turbidez de 15 uT como limite para aplicação da filtração direta, esta tecnologia poderia ser empregada em 33,04% do tempo de operação da unidade de tratamento.

FIGURA 2: Médias geométricas mensais de turbidez da água bruta.



⁶ ABNT - *Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público*, NBR 12216, Rio de Janeiro, ABNT, 18 p., 1995.

⁷ VON SPERLING, M.; HELLER, L. & NASCIMENTO, N. O. – *Investigação científica em engenharia sanitária e ambiental - Parte 2: Análise preliminar dos dados*, *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, ano 1, vol. 1, n. 1, p. 115-24, setembro 1996.

⁸ KAWAMURA, S. – *Preliminary Engineering Study*, In: *Integrated Design of Water Treatment Facilities*, Ed. John Wiley & Sons, Inc., 658 p., USA, 1991.

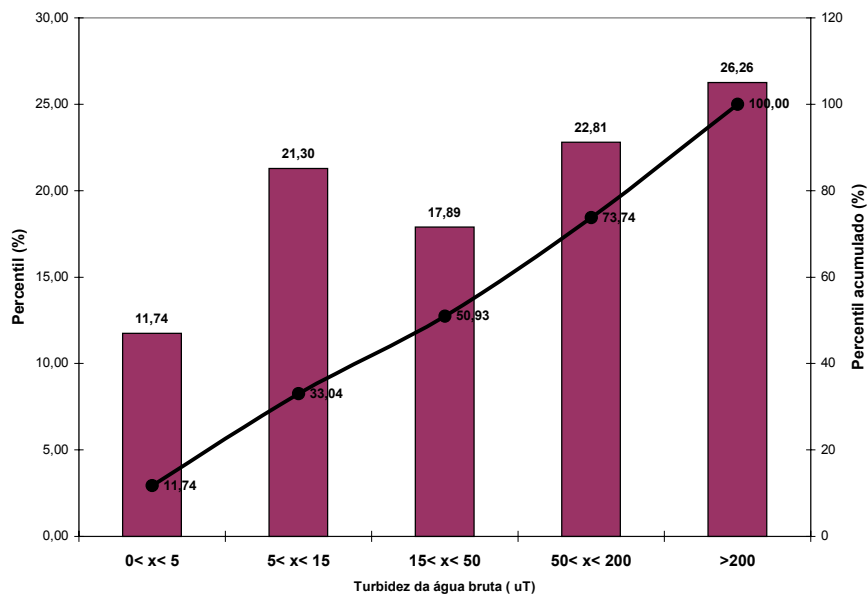


FIGURA 3: Frequência relativas simples e acumulada dos dados de turbidez da água bruta.

Embora os gráficos das figuras 2 e 4 apresentem semelhante tendência, qual seja, aos meses de maior turbidez da água bruta estarem associados os maiores valores de turbidez da água tratada, as análises de regressão apontaram insignificante correlação entre estes dados. Efetuaram-se também análises de regressão separando os dados operacionais referentes aos meses secos e chuvosos, igualmente com baixos coeficientes de determinação (R^2). Nestas análises foram detectados os coeficientes de determinação mais elevados ($R^2 \cong 0,4$), ainda que pouco significativos, em um ano (1998) e em um período de estiagem específicos (1997).

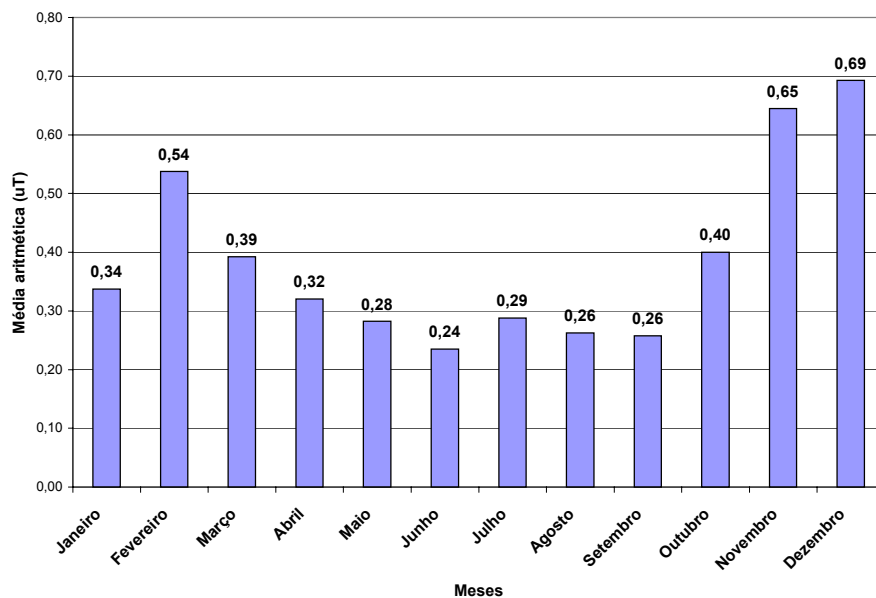


FIGURA 4: Médias aritméticas mensais de turbidez da água tratada.

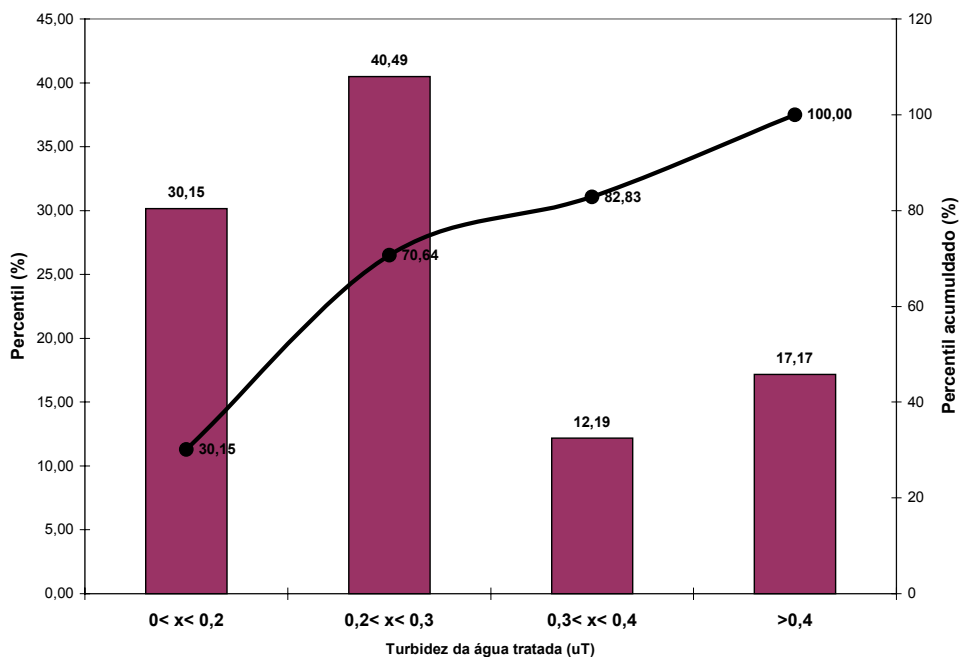


FIGURA 5: Freqüências relativas simples e acumulada de turbidez da água tratada.

Nas figuras 6 e 7 foi apresentado *boxplot* dos dados de turbidez dos meses chuvosos e de estiagem para cada ano inserido na pesquisa. Foram descartados os dados discrepantes referentes aos anos de 1996 e 2000, uma vez que os mesmos provavelmente decorreram de erros operacionais. Da figura 6 verifica-se que a maior amplitude de variação da turbidez da água bruta no período chuvoso ocorreu no ano de 1997, cujo valor máximo atingiu 5500 uT. Em relação aos meses de estiagem, conforme apresentado na Figura 7, a maior amplitude de variação da turbidez da água bruta sucedeu-se no ano de 1996, cujo valor máximo da 4000 uT.

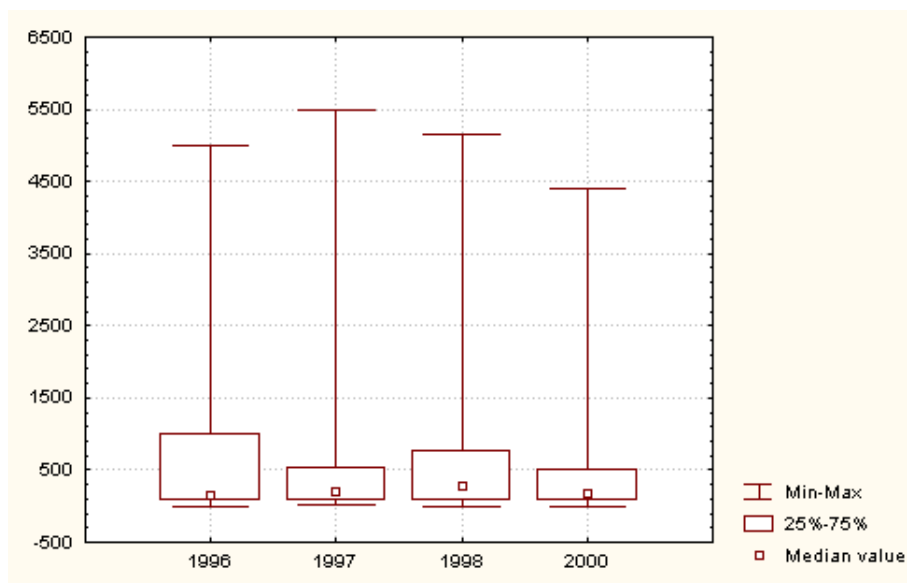


Figura 6 – Mediana e distribuição dos valores dos dados horários dos meses chuvosos, para os anos inseridos na pesquisa.

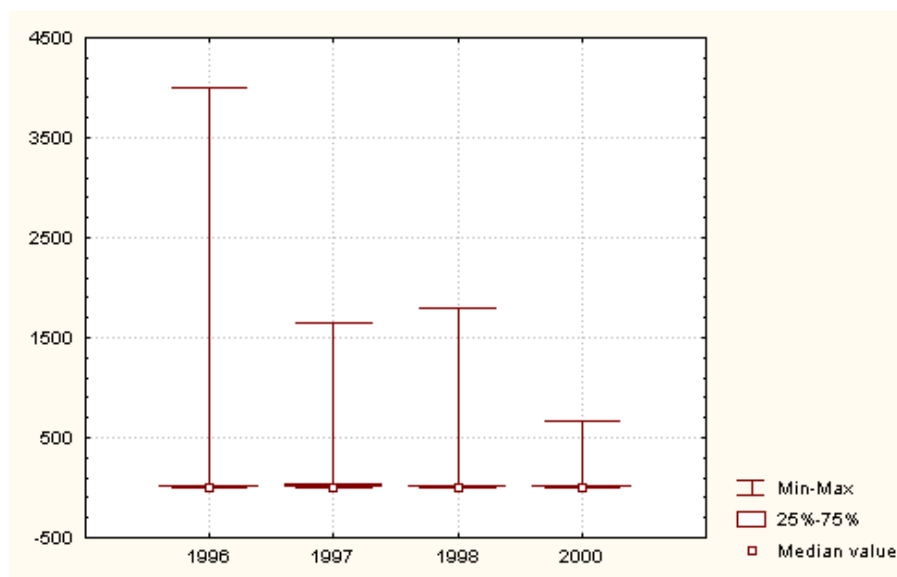


Figura 7 – Mediana e distribuição dos valores dos dados horários dos meses secos, para os anos inseridos na pesquisa.

Pôde-se notar uma semelhança estatística, referente à mediana, apresentada nos dados anteriores, concluindo-se por uma homogeneidade dos dados. Portanto, os mesmos podem ser reunidos em uma mesma amostra, uma vez que proporciona uma maior confiabilidade estatística.

Em relação aos parâmetros hidráulicos avaliados no estudo, o tempo teórico de floculação foi inferior ao preconizado pela ABNT (20 min) em 68,13% do tempo de funcionamento da estação ao longo dos 4 anos de operação, conforme apresentado na Figura 8. Como a unidade de floculação é dotada de 7 câmaras com aberturas alternadas, estima-se⁹ um efeito de curto-circuito da ordem de 20%, concorrendo para reduzir ainda mais o tempo real de floculação. Todavia, aliado ao fato do insignificante coeficiente de correlação entre os valores da turbidez da água tratada e o tempo de floculação, a adequada definição da dosagem de sulfato de alumínio – realizada na estação por meio de ensaio de *jar-test* - parece ser mais relevante que o próprio tempo de floculação.

Distintamente do verificado para o tempo de floculação, os parâmetros hidráulicos concernentes à decantação, as velocidades de sedimentação e de escoamento longitudinal, apresentaram-se inferiores aos recomendados pela ABNT conforme atesta as figuras 9 e 10. Em relação à velocidade de sedimentação, praticamente durante todo o período amostrado, este parâmetro foi inferior a 2,78 cm/min, e a velocidade longitudinal inferior a 0,50 cm/s. Esta constatação permite inferir que mesmo flocos de baixa densidade puderam ser removidos devido à sedimentação diferencial, neste caso, favorecida pelo tempo de detenção da ordem 1,5 h nas unidades de decantação, minimizando a relevância dos curtos-circuitos e da periodicidade das descargas de fundo. Tal provavelmente não ocorreria em decantadores de alta taxa cujo tempo de detenção é usualmente inferior a 10 min. Novamente, não se detectou qualquer correlação entre estes dois parâmetros hidráulicos e a turbidez da água tratada.

⁹ CAMP T. R. - *Flocculation and Flocculation Basins*, *ASCE Transactions*, vol.120, p.1-16, September 1953.

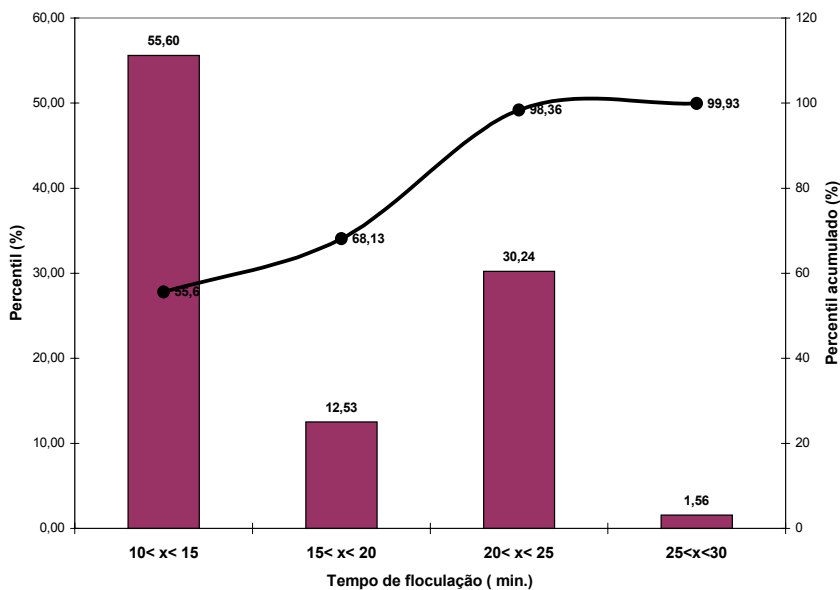


FIGURA 8: Frequências relativas simples e acumulada para o tempo de floculação.

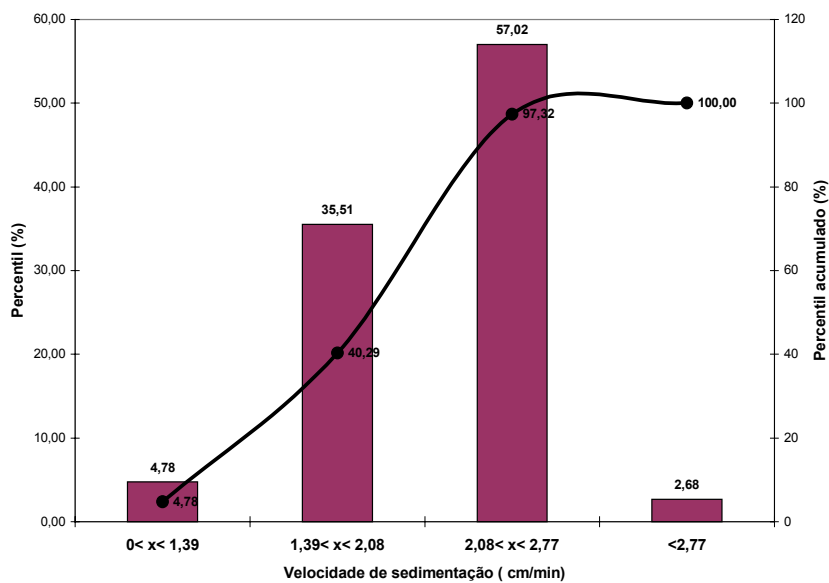


FIGURA 9: Frequências relativas simples e acumulada para a velocidade de sedimentação

Da análise do gráfico da Figura 11 depreende-se que a taxa de filtração parece não interferir, neste caso, na turbidez da água tratada, pois durante 65 % do tempo de operação da unidade este parâmetro superou o preconizado pela ABNT (180 m/dia), atingindo em 23 % do tempo a velocidade de aproximação, 240 m/dia, recomendada somente para filtros de dupla camada.

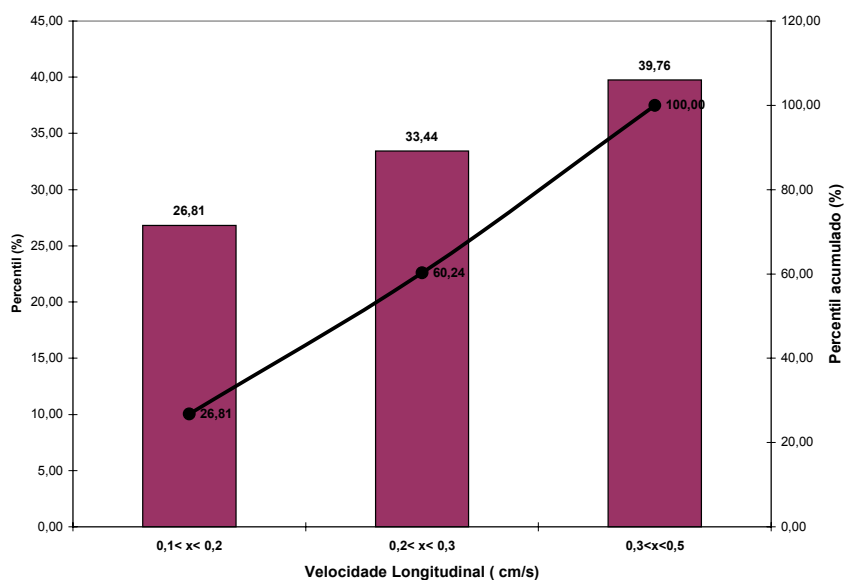


FIGURA 10: Frequências relativas simples e acumulada velocidade longitudinal.

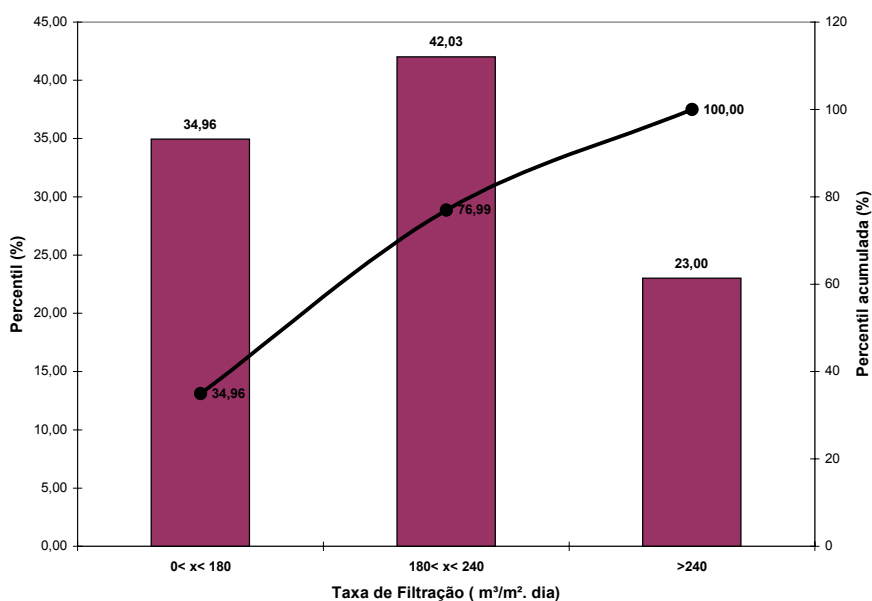


FIGURA 11: Frequências relativas simples e acumulada taxa de filtração.

Como já mencionado, a instalação potabilizadora apresentou tempo teórico de floculação inferior ao preconizado pela ABNT (20 min), ao contrário dos demais parâmetros hidráulicos referentes à decantação - a velocidades de sedimentação e de escoamento longitudinal. Uma vez que a floculação proporciona uma



maior relevância sobre a decantação no contexto de definir a dosagem ótima e, conseqüentemente, a estimativa da duração das carreiras de filtração, conclui-se pela sobrecarga, ainda desuniforme, aplicada à estação.

Finalmente, a ausência de correlação entre as variáveis testadas, particulariza as características desta água bruta em relação à sedimentabilidade das partículas, uma vez que, independentemente da magnitude da turbidez da água bruta, o efluente da estação apresentou valores inferiores a 0,4 uT em 82,83% do tempo de operação, já atendendo às novas recomendações da referida Portaria 1469. Uma água bruta de baixa turbidez e elevada cor verdadeira, provavelmente, apresentaria comportamento distinto.