

Interrelações entre as chuvas, a qualidade da água bruta e o tratamento da água: estudo de caso

Gemmelle Oliveira Santos
gemmelle@ifce.edu.br
Instituto Federal, Ciência
e Tecnologia do Ceará
(IFCE), Campus Fortaleza

**Glória Maria Marinho
Silva Sampaio**
gloriamarinho@ifce.edu.br
Instituto Federal do Ceará
(IFCE)

Resumo

Foram analisadas as interrelações entre as chuvas, a qualidade da água do açude Gavião (município de Pacatuba/CE) e o tratamento da água realizado na estação situada a sua jusante. Acompanharam-se as variáveis cor aparente, turbidez e pH da água bruta e as dosagens dos produtos químicos utilizados na estação. O pH no primeiro semestre (chuvoso) teve média de pH $7,53 \pm 0,3$ e no segundo semestre (estiagem) $7,69 \pm 0,1$. A turbidez no primeiro semestre teve média $8,85 \pm 2,6$ uT e no segundo semestre $9,91 \pm 2,2$ uT. Já a média da variável cor no primeiro semestre foi $40,9 \pm 2,8$ uH e no período de estiagem $38,9 \pm 2,8$ uH. Quanto às dosagens dos produtos químicos observou-se que as do Cloro Gasoso foram maiores no período de chuvas ($10,28 \pm 0,6$ mg/L) do que na estiagem ($9,63 \pm 0,2$ mg/L). Já as dosagens de PAC pouco variaram (período de chuvas: $7,06 \pm 0,5$ mg/L, estiagem: $6,18 \pm 0,6$ mg/L). As dosagens de Polímero Catiônico acompanharam as alterações na qualidade da água (primeiro semestre: $2,21 \pm 0,3$ mg/L, segundo semestre: $1,55 \pm 0,3$ mg/L). Conclui-se que as chuvas influenciaram no comportamento do pH e da turbidez, reduzindo-os. Já a cor aumentou no período de chuvas. Quanto aos produtos químicos, apenas o PAC não sofreu grandes alterações. Todos os outros tiveram suas dosagens aumentadas quando do momento das chuvas.

Palavras-chave: Qualidade de água. Tratamento de água. ETA-Gavião.

Abstract

The interrelationships among the rainfalls, the water quality of the Gavião Reservoir (in the municipality of Pacatuba/CE), and the water treatment carried out in its downstream station have been analyzed. Variables such as apparent color, turbidity, and raw water pH as well as the dosages of chemical products used in the station have been followed. The pH in the first semester (rainy season) had a pH average of 7.53 ± 0.3 and 7.69 ± 0.1 in the second semester (dry season). Turbidity had an average of 8.85 ± 2.6 uT in the first semester, and 9.91 ± 2.2 uT in the second semester. Yet, the color variable average in the first semester was 40.9 ± 2.8 uH, and 38.9 ± 2.8 uH in the dry season. Concerning the dosages of chemical products, it has been found out that Chlorine Gas was higher in the rainy season (10.28 ± 0.6 mg/L) than in the dry season (9.63 ± 0.2 mg/L). Yet, the ACP dosages have varied a little (rainy season: 7.06 ± 0.5 mg / L, dry season: 6.18 ± 0.6 mg / L). The doses of Cationic Polymer have followed the changes in water quality (first semester: 2.21 ± 0.3 mg/L, second semester: 1.55 ± 0.3 mg/L). It is understood that rainfalls have influenced the pH and turbidity behavior by reducing them. Yet, the color has increased during the rainy season. Regarding the chemical products, only the ACP has not changed much. All the others have had their dosages increased in the rainy season.

Keywords: Water quality. Water treatment. Gavião ETA.

1 Introdução

O Estado do Ceará é historicamente conhecido por apresentar um regime pluviométrico anual irregular, onde as precipitações mal distribuídas no tempo e no espaço proporcionam a concentração das chuvas no primeiro semestre do ano e a escassez no segundo semestre. O território cearense, mostrado na Figura 1, ocupa 1,71% da área do Brasil e 9,37% da área que compreende a região Nordeste (SANTOS, 2006). Porém, essa imensa distribuição geográfica possui

apenas 0,8% de sua área ocupada por águas internas, o que figura uma limitação hídrica muito expressiva e de caráter determinante nas relações sociais, políticas e ambientais.

A disponibilidade anual e a vulnerabilidade dos sistemas hídricos do estado, bem como sua relação com o ciclo hidrológico foi evidenciada em Botelho (2000) ao afirmar que a hidrografia do Ceará é constituída de rios intermitentes, com regime torrencial típico de zonas áridas. A esse quadro somam-se outros macrofatores, como a difícil capacidade de armazenamento – pela predominância do solo cristalino –, a alta evaporação, o aumento da demanda de água e o reduzido ciclo contínuo de umidade (SANTOS, 2006).

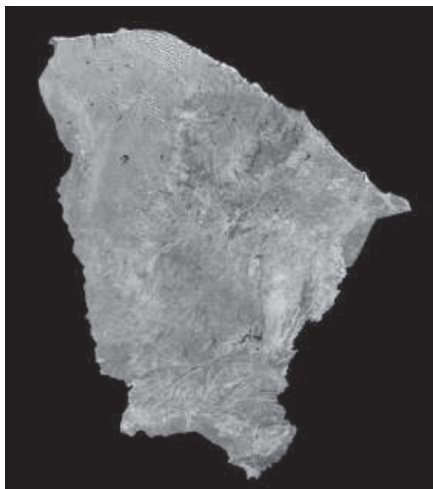


Figura 1: Imagem de satélite do estado do Ceará
Fonte: Miranda e Coutinho (2004)

Segundo Barbosa (2000), o aumento da oferta de recursos hídricos de forma equilibrada em todo o Estado do Ceará é indispensável para que o desenvolvimento ocorra em bases sustentáveis. Felizmente, essa visão tem sido preconizada na atual política estadual de recursos hídricos. O problema é que a irregularidade do clima dominante limita a potencialidade dos recursos hídricos existentes, imprimindo um caráter de vulnerabilidade às atividades produtivas. A par de qualquer contexto assustador, Paiva, Chaudhry e Reis (2004) afirmaram que a construção de reservatórios que visam ao abastecimento humano tem aumentado continuamente no Estado do Ceará.

Inserido nesse contexto, o Município de Pacatuba/CE desfruta de uma importante riqueza hídrica do Estado, por possuir em seus limites as águas do açude Gavião; que faz parte do sistema integrado que abastece a cidade de Fortaleza/CE, bem como outros municípios de sua Região Metropolitana (SANTOS, 2006).

A recarga hídrica do açude Gavião, assim como da maioria dos recursos hídricos do Estado, é dependente dos períodos chuvosos concentrados no início de cada ano. Essa pluviometria incidente encontra o espelho d'água, principalmente, por meio do escoamento superficial da bacia hidrográfica, o que muitas vezes contribui para aumentar o nível do açude, mas não para melhorar a qualidade físico-química e bacteriológica da água bruta (Santos, 2006).

Desta forma, o processo de alteração da qualidade da água do açude Gavião, em termos físico-químicos, é mais intenso de janeiro a junho (período de chuvas), ao passo que as mudanças biológicas são mais expressivas nos meses posteriores (julho a dezembro - período de estiagem). As alterações físicas e químicas citadas são, na realidade, conseqüências do arraste de substâncias químicas e materiais particulados das margens para dentro do corpo hídrico por meio do escoamento superficial provocado pelas chuvas. Já as mudanças biológicas são conseqüência do aumento da incidência de luz, da disponibilidade de nutrientes e do crescimento do fitoplâncton, como já relatado por Freire (2000).

Assim, para avaliar a interrelação das chuvas com a qualidade da água do açude Gavião foram considerados dados de algumas variáveis físico-químicas como cor aparente, turbidez e pH. As duas primeiras variáveis foram escolhidas para representarem algumas das mudanças físicas que geralmente ocorrem nos mananciais superficiais quando do momento das precipitações pluviométricas em suas bacias. Já os dados de pH foram utilizados como indicadores das condições químicas.

No tocante às interrelações das chuvas com o tratamento da água foram acompanhadas, para o período em estudo (Janeiro de 2004 à Janeiro de 2005), as dosagens dos principais produtos químicos utilizados na Estação de Tratamento

de Água do açude Gavião (ETA-Gavião), diante das possíveis mudanças observadas na qualidade da água bruta. Os produtos considerados nesse estudo foram o cloro gasoso, na etapa de desinfecção, o polímero catiônico (auxiliar de coagulação) e o coagulante policloreto de alumínio (PAC).

Por fim, no presente estudo foram considerados vários dados, dentre os quais, os pluviométricos referentes ao Município de Pacatuba/CE, onde se localiza o açude Gavião e a ETA estudada, com o objetivo de analisar as interrelações entre as chuvas ocorridas entre Janeiro de 2004 e Janeiro de 2005, e a qualidade da água bruta e o tratamento da água.

2 Material e métodos

O presente estudo foi desenvolvido em três fases principais. Na primeira foi realizada a revisão bibliográfica e documental, onde se buscou: i) caracterizar a dinâmica das chuvas no Estado do Ceará e no Município de Pacatuba/CE, ii) subsidiar o entendimento da dinâmica que existe entre o período chuvoso e os recursos hídricos estaduais, iii) caracterizar as tecnologias e os processos de tratamento de água para melhor compreender o sistema de filtração direta descendente utilizado, atualmente, na ETA-Gavião.

Na segunda fase do trabalho foi realizado o levantamento de dados junto à Fundação Cearense de Meteorologia - FUNCEME. Como a referida fundação registra as precipitações que ocorrem diariamente em todos os postos pluviométricos instalados do Estado do Ceará e como essa pesquisa foi realizada no âmbito do município de Pacatuba (Região Metropolitana de Fortaleza) foram escolhidas somente as planilhas que contavam com os dados pluviométricos referentes àquele município e à estação mais próxima do açude Gavião e da ETA estudada.

Após a seleção do referido banco de dados – com informações diárias das quantidades de chuvas nos últimos 24 anos (1980-2004) – foram construídas médias mensais de precipitação para manejar de forma mais clara todo o conjunto de dados, por meio de um tratamento simplificado em planilhas eletrônicas.

Apesar dessa pesquisa ter tomado como referencial o período compreendido de Janeiro de 2004 à Janeiro de 2005, o entendimento das condições históricas das chuvas na região onde se situam o açude Gavião e a ETA estudada tornou-se fundamental para classificar o intervalo de tempo estudado como “anômalo” ou “normal” e evitar interpretações isoladas dos dados e sem fundamentação histórica.

Levantados e tratados os dados referentes às chuvas deu-se início à terceira fase do trabalho com a realização dos estudos de campo. Para analisar as interrelações das chuvas com a qualidade da água do açude Gavião foram consideradas as variáveis cor aparente, turbidez e pH. Para analisar as interrelações com o tratamento da água foram consideradas as dosagens dos principais produtos químicos utilizados: cloro gasoso, policloreto de alumínio (PAC) e polímero catiônico.

Com o apoio de técnicos da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) foram coletadas amostras da água bruta do açude Gavião no sistema de tomada d'água que alimenta a ETA estudada (área de captação). Foram utilizados potenciômetros para realizar a análise de pH, turbidímetros para a análise de turbidez e um espectrofotômetro HACH 2000 para realizar a análise de cor aparente. Após análise da qualidade da água bruta, no período de chuvas considerado (janeiro a junho) e de estiagem (julho a dezembro) foram coletadas amostras da água tratada para verificar a existência ou não de aumento ou redução das dosagens dos produtos químicos.

Todas as amostras foram coletadas em frascos apropriados, preservadas em caixas isotérmicas e analisadas no Laboratório de Controle de Qualidade da CAGECE – que é Certificado pelo Sistema ISO 9001:2000 –, e seguiram recomendação de APHA *et al.* 1998.

3 Resultados e discussão

3.1 Pluviometria

Como já mencionado, os dados pluviométricos considerados nesse estudo equivaleram a 24 anos de monitoramento (1980-2004), dentre os quais se mostra, inicialmente, a primeira década ou série de dados na Tabela 1.

Tabela 1: Precipitações do posto Pacatuba (CE) de 1980-1990.

Meses	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	Média de 1980 a 1990
Janeiro	106	61	20	-	38	183	118	-	274	136	54	110
Fevereiro	363	33	89	-	106	534	364	-	230	64	110	210
Março	161	409	276	-	251	315	536	-	444	276	44	301
Abril	45	136	268	-	329	470	364	129	453	415	222	283
Mai	81	26	142	-	380	315	0	0	257	190	151	154
Junho	75	0	21	-	240	33	0	172	89	237	27	89
Julho	0	0	0	-	70	0	0	13	89	109	81	36
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	4	49	6	5
Setembro	19	0	0	-	0	0	0	0	30	19	0	7
Outubro	8	0	0	27	0	0	0	0	9	0	0	4
Novembro	8	0	0	0	0	0	0	0	17	24	39	8
Dezembro	17	80	0	0	0	115	0	0	161	99	17	44
Total	883	744	816	27	1.413	1.965	1.382	314	2.056	1.618	750	1.088

Em análise geral, observou-se que os dados da Tabela 1 representam o perfil climático característico da região nordestina e cearense, onde os meses de janeiro à junho concentram a maioria das chuvas, contrariamente aos meses de julho a dezembro, onde se instala o período conhecido como de estiagem.

A soma dos valores médios mensais referentes aos primeiros seis meses do período compreendido entre 1980-1990 totaliza 1.148mm. Para o segundo semestre, essa soma representa apenas 105mm, ou seja, a pluviometria do primeiro semestre foi quase 11 vezes maior do que aquela ocorrida para os últimos seis meses. Essa distinta sazonalidade descrita acima, provavelmente, contribuiu à época para as alterações físico-químicas e biológicas dos recursos hídricos do município de Pacatuba/CE, entre eles o açude Gavião. Essa afirmação fundamenta-se no fato de que as precipitações pluviométricas, ao escoarem superficialmente por toda a bacia hidrográfica, acabam, na maioria dos casos, encontrando as coleções hídricas e arrastando substâncias e materiais das margens (SILVA, SCHULZ e CAMARGO, 2003), principalmente se o nível de degradação dessas margens for elevado.

Ainda de acordo com os dados da Tabela 1 percebeu-se, a partir dos valores totais, que o ano de 1988 apresentou o maior índice pluviométrico, com 2.056mm, ao passo que o ano de 1987 se comportou como de extrema seca, com apenas 314mm. É importante esclarecer que o ano de 1983 não foi considerado como o de pluviometria mais escassa por apresentar apenas um dado (Outubro/83) e oito meses sem registro conforme observado na Tabela 1. Cabe aqui realizar uma outra consideração sobre as duas datas acima: 1988 e 1987. Observou-se que o ano de maior escassez, 1987, foi sucedido pelo ano de maior precipitação, 1988, confirmando a sazonalidade e imprevisibilidade das chuvas locais.

O período estudado, janeiro de 2004 a janeiro de 2005, teve seus dados pluviométricos mensais plotados comparativamente na Figura 2 com as médias históricas apresentadas na Tabela 1.

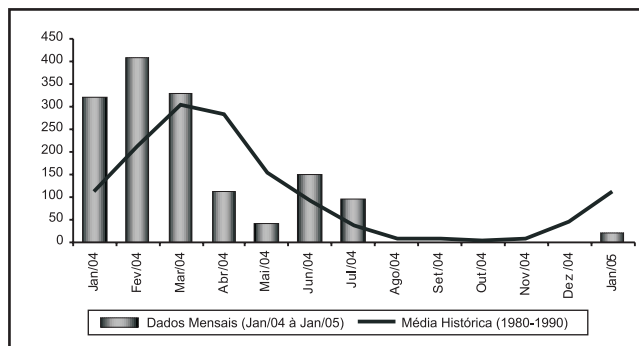


Figura 2: Precipitações de janeiro de 2004 a janeiro de 2005 e média histórica (1980-1990).

A partir da Figura 2 foi possível perceber que o período de janeiro de 2004 a janeiro de 2005 foi marcado por relativas irregularidades, onde as chuvas ocorridas em janeiro, fevereiro, março, junho e julho de 2004 ultrapassaram qualquer expectativa histórica, ao passo que os meses de abril e maio de 2004 e janeiro de 2005 apresentaram perfis muito abaixo do esperado.

No caso específico do mês de janeiro, Alves *et al.* (2004) mostraram que as fortes chuvas ocorridas naquele mês decorreram da superior influência dos ventos alísios do Nordeste em relação aos alísios do Sudeste, o que impulsionou a Zona de Convergência Intertropical a atingir o setor norte do nordeste brasileiro, onde se encontra o estado do Ceará, com o município de Pacatuba, dentre outros.

Ainda com relação às chuvas de janeiro de 2004, os autores supracitados relataram que aquele mês foi o mais chuvoso de todas as séries de observações do nordeste brasileiro, considerando um período de seis anos, inclusive tendo um total médio de chuva na região superior aos meses de abril e março de alguns anos com observações no passado. Quanto aos outros meses, não foram encontradas na literatura justificativas para seus comportamentos, o que aparenta que eles foram anômalos.

Ainda na avaliação da Figura 2, o período compreendido entre agosto e dezembro de 2004 apresentou ausência de regime pluviométrico, confirmando, para o segundo semestre, o característico período de estiagem existente historicamente no Nordeste, no Ceará e em Pacatuba.

A segunda série de dados pluviométricos da estação de Pacatuba/CE, considerada nesse trabalho, foi mostrada na Tabela 2.

Tabela 2: Precipitações do posto Pacatuba (CE) de 1990-2003.

Meses	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Média de 1990 a 2003
Janeiro	54	63	41	33	109	93	194	46	275	60	224	156	391	164	136
Fevereiro	110	192	278	90	183	191	290	44	88	136	194	177	79	283	167
Março	44	454	274	247	327	225	440	159	231	207	217	162	386	339	265
Abril	222	225	137	109	460	567	373	225	123	228	409	521	328	411	310
Maio	151	196	75	43	313	393	213	204	53	224	142	94	271	148	180
Junho	27	30	99	31	363	111	29	3	41	38	110	50	116	120	84
Julho	81	0	0	79	39	56	16	35	0	0	128	0	62	0	35
Agosto	6	0	0	0	0	0	16	0	0	0	131	0	0	0	11
Setembro	0	0	34	0	4	0	0	0	0	11	124	0	0	0	12
Outubro	0	22	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Novembro	39	0	18	14	0	0	15	47	0	0	3	0	0	0	10
Dezembro	17	0	0	14	156	0	19	41	0	38	7	0	0	0	21
Total	750	1.182	955	660	1.960	1.637	1.605	804	810	942	1.689	1.160	1.633	1.467	1232

Os dados da Tabela 2 são muito semelhantes àqueles da Tabela 1 e mostraram, historicamente, dois períodos sazonais bem distintos: chuvoso (janeiro a junho) e estiagem (julho a dezembro) existentes para o município de Pacatuba/CE. Percebeu-se, a partir dos valores totais, que o ano de 1993 apresentou o menor índice chuvoso com 660mm, contrariamente ao ano de 1994, que se comportou como o de maior pluviometria, com 1.960mm.

É importante notar que nas duas séries históricas discutidas neste trabalho (1980-1990) e (1990 a 2003) o ano de maior escassez de chuva antecedeu o ano mais chuvoso. Aparentemente, toda vez que um ano é marcado pela escassez de chuvas o próximo é “compensado” por uma rica estação chuvosa.

Retornando à Tabela 2 observou-se que a soma dos valores médios mensais referentes aos primeiros seis meses do período totaliza 1.142mm. Para o segundo semestre, essa soma representou apenas 91mm, ou seja, a pluviometria do primeiro semestre foi 12 vezes maior do que aquela ocorrida para os últimos seis meses.

Novamente, compararam-se os dados pluviométricos do período estudado com os dados históricos da Tabela 2, conforme a Figura 3.

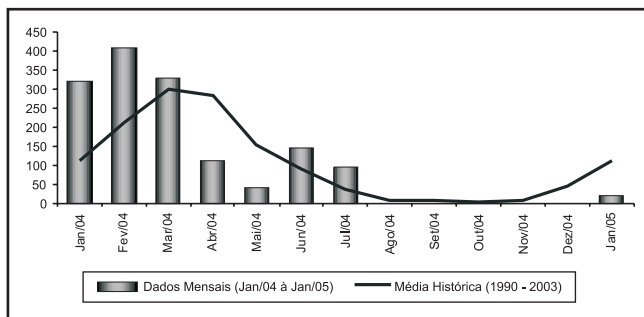


Figura 3: Precipitações de janeiro de 2004 a janeiro de 2005 e média histórica (1990-2003)

Observou-se que os meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Junho e Julho de 2004 registraram precipitações pluviométricas superiores aos dados históricos obtidos de 1990 a 2003. Tal comportamento foi semelhante ao observado com o intervalo 1980-1990, mostrando que o período estudado foi marcado por uma acentuada irregularidade pluviométrica. Esses fatos confirmaram que o período foi anômalo ao historicamente conhecido.

3.2 Variáveis físico-químicas

3.2.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Os valores médios mensais de pH referentes à água bruta do açude Gavião caracterizaram a água daquele reservatório como levemente alcalina, como mostrado na Figura 4 para o período estudado (janeiro de 2004 a janeiro de 2005).

De início, cabe destacar que o primeiro semestre de 2004 foi marcado por relativa variabilidade entre os valores de pH, e o segundo semestre se comportou mais estável.

A variabilidade de pH apresentada no primeiro semestre foi, na realidade, uma das consequências do concentrado regime de chuvas historicamente conhecido para a região. Em outras palavras, os valores do pH sofreram relativas reduções à medida que as chuvas se intensificaram. Tais reduções, provavelmente, foram consequência do arraste de substâncias ácidas (como ácidos húmicos e fúvicos) das margens do açude Gavião para o espelho d'água, quando do momento do escoamento superficial das chuvas.

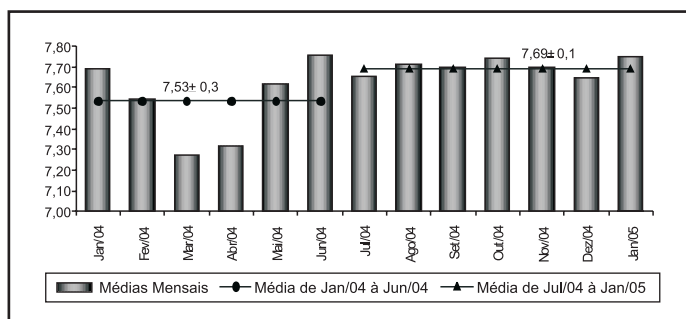


Figura 4: Valores do potencial hidrogeniônico (pH) da água bruta do açude Gavião e médias semestrais.

Uma análise detalhada entre o regime de chuvas e a redução dos valores de pH da água do açude Gavião pode ser feita no mês de março/04 e em junho/04. Naquele mês (março/04) registrou-se a menor média de pH (7,27) do período estudado e um dos maiores índices de chuva. Já em junho/04 houve a maior média de pH (7,76) e o fim do período de chuvas, ou seja, as chuvas do município de Pacatuba/CE, aumentaram levemente a acidez da água do açude estudado.

Ainda com relação à Figura 4, percebeu-se que as médias de pH obtidas para os meses de janeiro, fevereiro, maio e junho/04 superaram a média do primeiro semestre do ano ($7,53 \pm 0,3$), e que os meses de agosto, outubro e novembro/04 superaram a média do segundo semestre ($7,69 \pm 0,1$).

Os dados de pH obtidos nesse estudo foram semelhantes aos encontrados por Freire (2000) e Mota Filho (2005). O primeiro autor estudou os aspectos limnológicos de três reservatórios que abastecem a Região Metropolitana de

Fortaleza - açudes Pacajus, Pacoti e Gavião. O segundo autor estudou o efeito das características do meio filtrante e das condições de coagulação e pré-cloração no desempenho da filtração direta descendente em linha de água eutrofizada com predominância de cianobactérias.

Constatou-se também, que os valores de pH que mais se repetiram (moda) no primeiro e no segundo semestre de 2004, foram, respectivamente, 7,26 e 7,71, o que comprovou o leve caráter alcalino das águas do açude Gavião.

O regime de chuvas registrado no período estudado (janeiro de 2004 a janeiro de 2005), por sua vez, teve influência no comportamento dessa variável, haja vista que nos meses de maior precipitação pluviométrica registraram-se menores relativos valores de pH.

3.2.2 Turbidez

No período de chuvas, os valores médios mensais de turbidez sofreram redução, desmistificando, para as condições deste trabalho, o consenso teórico de que as chuvas sempre aumentam a turbidez da água do açude Gavião.

Provavelmente, os valores de turbidez reduziram (na estação chuvosa) porque naquele período houve a redução dos valores de pH, levando à dissolução das partículas suspensas que conferem a turbidez. Na Figura 5 foi mostrado o comportamento dessa variável no período estudado e observou-se que, no período de chuvas, a média de turbidez foi $8,85 \pm 2,6$ uT e que no período de estiagem essa média subiu para $9,91 \pm 2,2$ uT. Portanto, as chuvas ocorridas de janeiro a junho de 2004 não contribuíram para o aumento da turbidez da água do açude Gavião.

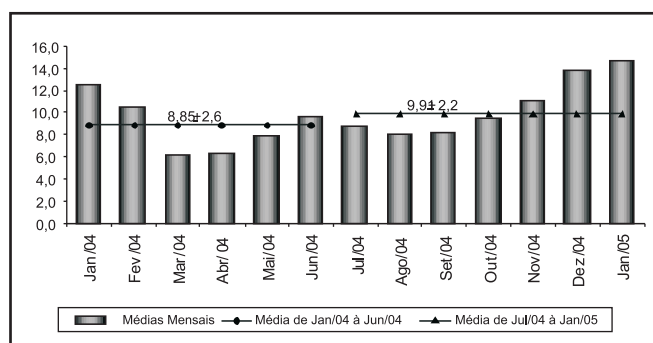


Figura 5: Valores da turbidez (uT) da água bruta do açude Gavião e médias semestrais.

Ainda com relação à Figura 5, acredita-se que o aumento da turbidez no segundo semestre estudado decorreu do crescimento da concentração de fitoplâncton na água do açude Gavião, que segundo Ferreira *et al.* (2003) *apud* Mota Filho (2005) está compreendido entre $2,4 \times 10^5$ e $3,7 \times 10^5$ células/mL. Percebeu-se esta relação, principalmente, no período compreendido entre agosto/04 e janeiro/05, onde a turbidez aumentou, atingindo valores acima da média do semestre.

O aumento da concentração de fitoplâncton na água do açude Gavião pode ser denominado de floração e este processo, segundo Di Bernardo (1995), pode provocar o aumento no custo do tratamento da água de abastecimento e trazer consequências relacionadas à saúde pública.

O maior índice de turbidez, nesse trabalho foi registrado em janeiro de 2005 ($14,8 \pm 0,9$ uT), ao passo que em março de 2004 registrou-se o menor valor ($6,16 \pm 1,3$ uT). Apostou-se no fato de que a baixa turbidez registrada em março de 2004 tenha correlação com a dissolução das partículas provocadas pela tendência à acidificação da água percebida naquele período.

O regime de chuvas, por sua vez, teve influência no comportamento dessa variável, haja vista que nos meses de maior precipitação registraram-se menores valores de turbidez.

3.2.3 Cor

Entre as variáveis estudadas, a cor foi a única a apresentar-se crescente quando do momento das chuvas. Para Batalha e Parlatter (1998) a cor em águas superficiais resulta do contato destas com diversos materiais, que podem ser de origem mineral ou vegetal, podendo também ser causada por substâncias húmicas, algas, plantas aquáticas e protozoários.

No período compreendido de janeiro a junho de 2004, as médias mensais dessa variável flutuaram entre $39,1 \pm 0,7$ e $44,6 \pm 0,2$ uH, ao passo que entre julho de 2004 e janeiro de 2005, os valores ficaram entre $36,7 \pm 0,3$ e $42,6 \pm 0,8$ uH, mostrando que a presença das chuvas conferiu aumento das médias mensais da variável cor. Na Figura 6 foi mostrado o comportamento da cor no período estudado.

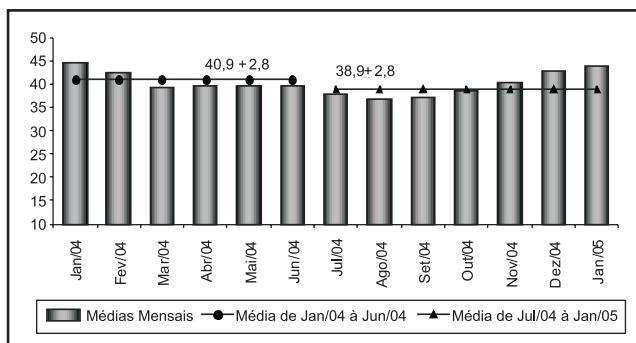


Figura 6: Valores da cor (uH) da água bruta do açude Gavião e médias semestrais.

Observou-se que, no período de chuvas, a média do semestre foi $40,9 \pm 2,8$ uH ao passo que no período de estiagem foi $38,9 \pm 2,8$ uH, mostrando que as chuvas influenciaram tal variável, apesar de uma aparente estabilidade gráfica.

Fazendo uma interpretação das três variáveis estudadas apostou-se no fato de que a redução do pH da água do açude Gavião, registrada no período de chuvas, contribuiu para a solubilização das partículas que conferem a turbidez, levando ao aumento da cor da água bruta do açude estudado.

3.3 Dosagens dos Produtos Químicos

3.3.1 Cloro Gasoso

As dosagens de cloro gasoso aplicadas na ETA-Gavião foram maiores no período de chuvas em relação às aplicadas no período em estiagem, mostrando que o regime de chuvas teve influência sobre o processo de desinfecção da água. Na Figura 7 foi mostrado o comportamento das dosagens do cloro gasoso utilizado na ETA.

Observou-se que as médias mensais das dosagens de cloro gasoso na ETA-Gavião acompanharam o comportamento das precipitações pluviométricas, pois nos meses de maior estação chuvosa houve maior aplicação daquele produto para desinfetar a água e atender aos requisitos estabelecidos pela Portaria 518 do Ministério da Saúde. Por outro lado, quando as precipitações acabaram (segundo semestre) as dosagens de cloro gasoso reduziram, mantendo-se com certa estabilidade semestral.

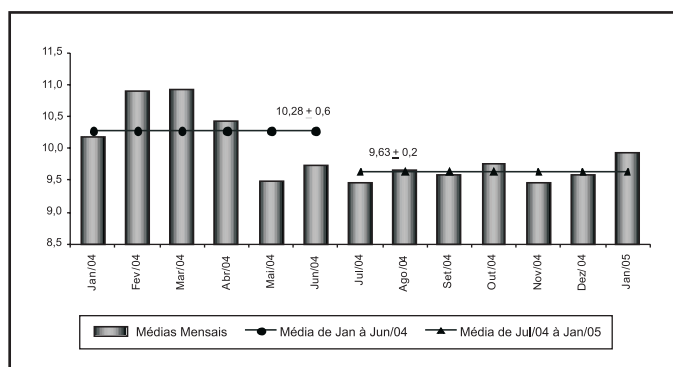


Figura 7: Dosagens de cloro gasoso (em mg/L) na ETA-Gavião.

O mês que apresentou o maior índice de chuvas no período estudado foi fevereiro de 2004, com 409,3mm e, nesse mês, foi registrada a maior dosagem mensal de cloro gasoso: 10,90 mg/L, evidenciando uma forte relação entre o regime de chuvas do município de Pacatuba/CE, a qualidade da água bruta do açude Gavião e as dosagens de cloro gasoso aplicadas.

Conforme se observou na Figura 7, a dosagem média do cloro gasoso no primeiro semestre de 2004 foi $10,28 \pm 0,6$ mg/L, ao passo que no segundo semestre foi $9,63 \pm 0,2$ mg/L, demonstrando que o período sem chuvas contribuiu para uma melhor qualidade de água bruta do açude Gavião, haja vista que se aplicou uma menor dosagem de cloro gasoso.

3.3.2 Policloreto de Alumínio (PAC)

De início é importante considerar que as dosagens de PAC aplicadas na ETA-Gavião, no período estudado, variaram pouco quando se compararam as médias mensais do período de chuvas com as do período de estiagem.

No período de chuvas (janeiro a junho de 2004) as dosagens de PAC variaram entre 6,37 e 7,83 mg/L, sendo esta última registrada no mês de fevereiro de 2004. Cumpre-se esclarecer que esse mês registrou também o maior índice pluviométrico do período estudado, contudo, uma análise mais criteriosa – que comparou os índices pluviométricos com o consumo de PAC – mostrou que as dosagens daquele produto químico não foram influenciadas pelas alterações na qualidade da água provocadas pelas chuvas.

Já no período de estiagem (julho de 2004 a dezembro de 2005), as dosagens variaram entre 5,61 mg/L (menor dosagem registrada) e 7,10 mg/L, evidenciando que a ausência da estação chuvosa não provoca alterações na qualidade da água capazes de descontrolar os processos de coagulação realizados por meio da adição do PAC. Na Figura 8 é mostrado o comportamento das dosagens em mg/L do Policloreto de Alumínio (PAC) utilizado na ETA-Gavião.

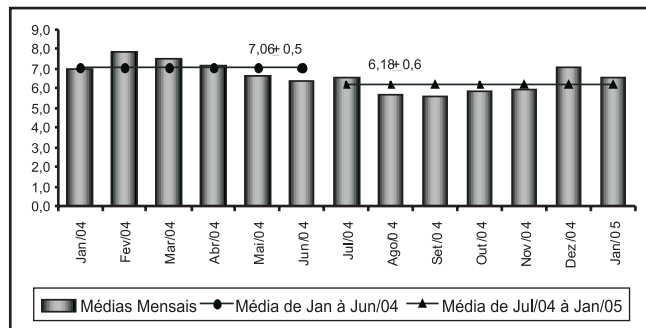


Figura 8: Dosagens de PAC (em mg/L) na ETA-Gavião.

Observou-se, a partir da Figura 8, que as médias mensais das dosagens de PAC na ETA-Gavião mantiveram-se relativamente estáveis nas diferentes condições sazonais estudadas. Ao contrário dos outros produtos químicos, o consumo de PAC não acompanhou o comportamento das precipitações pluviométricas, mostrando sua forte capacidade de coagular água bruta, tanto no período de chuvas quanto no de estiagem e a segurança que esse produto traz.

3.3.3 Polímero Catiônico

O Polímero Catiônico é um auxiliar de coagulação utilizado na ETA-Gavião com o objetivo de, junto ao PAC, reunir partículas dispersas em aglomerados mais volumosos (micro-flocos) que serão retidos nos filtros descendentes da ETA estudada.

O uso do Polímero Catiônico com a finalidade acima descrita proporciona não somente uma redução dos custos, devido à diminuição no consumo dos produtos químicos, mas também resulta em um aumento na qualidade da água tratada, pois há uma redução nos teores de alumínio residual e de turbidez.

Na Figura 9 foi mostrado o comportamento das dosagens do Polímero Catiônico utilizado na ETA-Gavião. Conforme se observou a dosagem desse produto no primeiro semestre de 2004 foi $2,21 \pm 0,3$ mg/L, ao passo que no segundo semestre foi $1,55 \pm 0,3$ mg/L, demonstrando que o período de chuvas contribuiu para o aumento da dosagem desse produto químico.

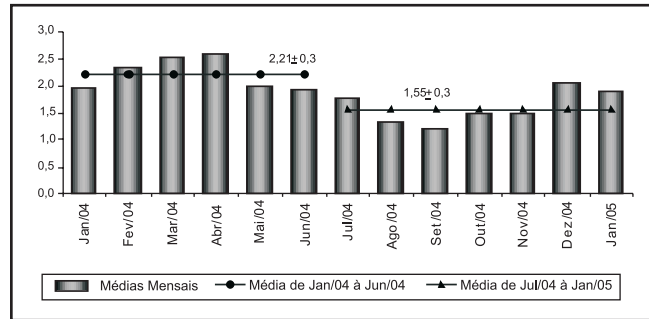


Figura 9: Dosagens de polímero catiônico (em mg/L) na ETA-Gavião

As maiores e as menores dosagens de Polímero Catiônico foram aplicadas em abril e setembro de 2004, respectivamente. Para esses dois meses observou-se uma forte relação entre o regime de chuvas e o aumento das dosagens. Em abril, as chuvas atingiram índices pluviométricos superiores a 300 mm, ao passo que em setembro elas não ultrapassaram os 12 mm.

Fazendo uma interpretação das dosagens dos três produtos químicos estudados apostou-se no fato de que o cloro e o polímero catiônico foram mais sensíveis a alterações observadas na qualidade da água, ao contrário do PAC, que não sofreu influência destas alterações. É importante não esquecer que a ausência da realização de outras análises – em decorrência de limites exclusivamente financeiros – reduziu o leque de considerações acerca desses resultados e também dessa pesquisa, o que não impediu o atendimento de seus objetivos e a realização dessa importante sistematização que, inclusive, preenche parte da lacuna existente na literatura local.

4 Considerações finais

A qualidade da água bruta de um manancial dependerá invariavelmente dos fatores que exercem influência sobre a bacia hidrográfica (ANDREOLI e CARNEIRO, 2005). Por isso, tem sido muito constante a adoção dessa unidade para planejar e gerir os recursos hídricos, principalmente, aqueles destinados ao tratamento e consequente abastecimento humano.

Assim, a proteção dos mananciais superficiais deve ser vista sob os aspectos de controle da quantidade e da qualidade das águas. Nessa perspectiva, as medidas a serem adotadas devem considerar a bacia hidrográfica como um todo, já que o volume e a qualidade da água de um recurso hídrico dependerão dos seus tributários e, consequentemente, das ações desenvolvidas em toda a bacia (MOTA, 2003).

Do ponto de vista analítico, a qualidade das águas pode ser determinada por suas características físicas, químicas e biológicas que, por sua vez, são representadas por diversas variáveis aceitas mundialmente. Nesse contexto, Di Bernardo *et al.* (2002) alertam que os responsáveis pelo controle da qualidade da água de sistemas e de soluções alternativas de abastecimento, supridos por manancial superficial, devem coletar amostras semestrais da água bruta, junto ao ponto de captação, para análise de acordo com os parâmetros exigidos na legislação vigente de classificação e enquadramento das águas superficiais, avaliando a compatibilidade entre as características da água bruta e o tipo de tratamento existente.

Considerando a abrangência desse tema – sem perder de vista os resultados obtidos nesse estudo – concluiu-se que o regime de chuvas do município de Pacatuba/CE acompanhou a sazonalidade climática do Estado do Ceará, bem como do nordeste brasileiro, concentrando suas precipitações no primeiro semestre do ano.

O período estudado (janeiro de 2004 a janeiro de 2005) foi marcado por precipitações pluviométricas anômalas, considerando o historicamente registrado nos últimos 24 anos. Além disso, o açude Gavião funcionou como um grande sedimentador natural por possuir, entre os açudes da Bacia Metropolitana, um bom nível de proteção ambiental.

Do ponto de vista das análises realizadas, o regime de chuvas influenciou o comportamento do pH reduzindo-o. O pH de um corpo d'água pode variar por decorrência da influência das águas da chuva, do lançamento indiscriminado de águas residuárias e até mesmo por influência das águas do lençol freático. Esteves (1998) afirmou que os ecossistemas aquáticos com elevados valores de pH são encontrados, geralmente, em regiões com balanço hídrico negativo (onde a precipitação é menor que a evaporação). Esse quadro é característico dos recursos hídricos da região nordestina e cearense, onde a instabilidade climática associada às condições ambientais locais representa marca histórica na qualidade hídrica da região.

Outro aspecto a ser considerado, quanto à variável em questão, diz respeito a sua susceptibilidade a variações por interferência do espaço e do tempo. Conhecendo tal característica, o monitoramento analítico do pH torna-se imprescindível, principalmente para as estações de tratamento de água, pois essa variável interfere em processos operacionais como coagulação química, abrandamento e desinfecção, devendo ser adequada ao desenvolvimento das reações químicas, como alertado por Di Bernardo *et al.* (2003).

Batalha e Parlatorre (1998) acrescentaram ainda que o pH pode contribuir para a corrosão das estruturas das instalações hidráulicas e do sistema de distribuição. Por isso, as determinações do pH precisam ser realizadas com grande frequência (CETESB, 1973), visando seu controle.

A turbidez foi influenciada pelo regime de chuvas, sofrendo redução, ao contrário do que se encontra na maioria dos trabalhos. De forma bem abrangente, a turbidez representa uma variável física que mede a resistência da água à passagem de luz, sendo decorrente da presença de materiais em suspensão como, por exemplo, plâncton, substâncias orgânicas, argilas, micro-organismos etc. Batalha e Parlatorre (1998) acrescentaram que a turbidez pode ser provocada também por outras substâncias como: zinco, ferro, composto de manganês e areia, resultantes do processo natural de erosão ou adição de despejos domésticos e industriais.

A presença de turbidez nos recursos hídricos destinados ao abastecimento humano, além de afetar esteticamente os corpos d'água, pode causar distúrbios a esses ecossistemas devido à redução da penetração da luz. Esse processo ocorre mais intensamente nos ambientes submetidos à eutrofização, entendida como o resultado do enriquecimento com nutrientes de plantas, principalmente fósforo e nitrogênio, que são despejados de forma dissolvida ou particulada (TUNDISI, 2005).

Segundo Di Bernardo (1995), a alteração na qualidade da água decorrente da eutrofização pode apresentar efeitos diretos e indiretos na operação de estações de tratamento, dos sistemas de reservação e distribuição, e nos custos com produtos químicos. Esses custos, por sua vez, tem repercussão principal sobre os consumidores, o que, de acordo com HIDROCONSULT/IEE (2003) *apud* Tundisi (2005), duplicam com o tempo de duplicação da eutrofização.

Desta forma, em termos de tratamento e abastecimento de água, a turbidez torna-se uma variável de grande significado, pois influencia nos processos de desinfecção e de filtrabilidade. Essa influência se dá pelo fato das partículas que conferem essa característica física protegerem os micro-organismos da ação dos desinfetantes e colmatarem os filtros. Destaca-se ainda que as influências da turbidez sobre os processos de desinfecção, por serem negativas, a elegem, segundo BRASIL (2004), como um indicador sanitário. Por isso, quanto menor a turbidez da água produzida na ETA, mais eficiente será sua desinfecção, como salientado por Di Bernardo *et al.* (2002).

Do ponto de vista da variável cor, o regime de chuvas a influenciou, aumentando-a. A cor é uma medida que indica a presença, na água, de substâncias dissolvidas, ou finamente divididas (material em estado coloidal). Ela é proveniente da matéria orgânica como, por exemplo, substâncias húmicas, taninos e também por metais como o ferro e o manganês, e resíduos industriais fortemente coloridos (BRASIL, 2004).

Acrescenta-se o fato de que a cor de uma amostra de água está associada também ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la, e esta redução dá-se por absorção de parte da radiação eletromagnética, devido à presença de sólidos dissolvidos, tanto orgânicos quanto inorgânicos.

Por fim, foi observado que as alterações na qualidade da água do açude Gavião levaram a um aumento de dosagens de Cloro Gasoso e Polímero Catiônico, entretanto, não influenciaram as dosagens de Policloreto de Alumínio (PAC), por ser este um produto que atua em larga escala de qualidade de água (um dos motivos que o leva a substituir o sulfato de alumínio no processo de coagulação).

Referências

ALVES, J. M. B. et al. As chuvas de janeiro/2004 no Nordeste do Brasil: suas características atmosféricas e seus impactos nos recursos hídricos da região. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS, 7., São Luiz. *Anais...* Maranhão: ABRH, 2004. 1 CD ROM.

ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. (Ed.). *Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados*. Curitiba: SANEPAR/ FINEP, 2005.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20th ed. Washington, DC, 1998.

- BARBOSA, C. P. *Avaliação dos custos de água subterrânea e de reuso de efluentes no estado do Ceará*. 2000. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.
- BATALHA, B. H. L.; PARLATORRE, A. C. *Controle da qualidade da água para consumo humano: bases conceituais e operacionais*. São Paulo: CETESB, 1998.
- BOTELHO, C. L. *Seca: visão dinâmica, integrada e correlações*. Fortaleza, ABC Fortaleza, 2000.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Operação e manutenção de E.T.A.* Secretaria dos Serviços e Obras Públicas. São Paulo, 1973. v. 2.
- DI BERNARDO, L. *Algas e suas influências a qualidade das águas e nas tecnologias de tratamento*. Rio de Janeiro: ABES, 1995.
- DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. *Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água*. São Carlos: RiMa, 2002.
- DI BERNARDO, L. *Tratamento de água para abastecimento por filtração direta*. Rio de Janeiro: ABES/RiMa/Projeto PROSAB, 2003. 498 p.
- ESTEVES, F. A. *Fundamentos de limnologia*. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.
- FREIRE, R. H. F. *Aspectos limnológicos de três reservatórios que abastecem a região metropolitana de Fortaleza - Açudes Pacajus, Pacoti e Gavião*. 2000. 308 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.
- FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. *Manual prático de análise de água*. Brasília, DF, 2004.
- MIRANDA, E. E.; COUTINHO, A. C. *Brasil visto do espaço: monitoramento por satélite*. Campinas, SP: Embrapa, 2004. Disponível em: <<http://www.cdbrasil.cnpem.br>>. Acesso em: 9 dez. 2005.
- MOTA, S. *Urbanização e meio ambiente*. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2003.
- MOTA FILHO, C. R. *Efeito das características do meio filtrante e das condições de coagulação e pré-cloração no desempenho da filtração direta descendente em linha de água eutrofizada com predominância de cianobactérias*. 2005. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.
- PAIVA, J. B. D.; CHAUDHRY, F. H.; REIS, L. F. R. *Monitoramento de bacias hidrográficas e processamento de dados*. São Carlos: RiMa, 2004. 326 p.
- SANTOS, G. O. *Análise da influência das chuvas na qualidade da água bruta e no tratamento da água distribuída em Fortaleza/CE: um estudo sobre a ETA-Gavião*. Trabalho de conclusão de curso (Graduação)-Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, Fortaleza, 2006.
- SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. *Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas*. São Carlos: RiMa, 2003.
- TUNDISI, J. G. *Água no século XXI: enfrentando a escassez*. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2005.

SOBRE OS AUTORES

Gemmelle Oliveira Santos

Doutorando em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor Efetivo do Departamento de Química e Meio Ambiente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFCE), Campus Fortaleza.

Glória Maria Marinho Silva Sampaio

Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos. Professora Efetiva do Departamento de Química e Meio Ambiente do IFCE, Campus Fortaleza.

Recebido em: 19.06.2009

Aceito em: 25.08.2009

Revisado em: 02.09.2009