

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
CENTRO DE TECNOLOGIA - CTEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS
HÍDRICOS E
SANEAMENTO – PPGRHS (MESTRADO)



VICTOR CANTALICE DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA EM MACEIÓ/AL
COLETADA EM TELHADOS: TRATAMENTO ATRAVÉS DE FILTRAÇÃO LENTA
E POSSÍVEIS UTILIZAÇÕES**

Maceió
2011

VICTOR CANTALICE DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA EM MACEIÓ/AL
COLETADA EM TELHADOS: TRATAMENTO ATRAVÉS DE FILTRAÇÃO LENTA
E POSSÍVEIS UTILIZAÇÕES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para obtenção do título Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientação: Prof. Dr. Marcio Gomes Barboza

Maceió
2011

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Maria Auxiliadora G. da Cunha

- S729a Souza, Victor Cantalice de.
Avaliação da qualidade da água de chuva em Maceió/AL coletada em telhados : tratamento através de filtração lenta e possíveis utilizações / Victor Cantalice de Souza. – 2011.
102 f. : il. tabs., gráfs.
- Orientador: Márcio Gomes Barbosa.
Dissertação (mestrado em Engenharia : Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2011.
- Bibliografia: f. 98-102.
1. Água de chuva – Maceió (AL). 2. Qualidade de água – Maceió (AL).
3. Filtração lenta – Maceió (AL). I. Título.

CDU: 628.11(813.5)



Universidade Federal de Alagoas - UFAL
Centro de Tecnologia - CTEC
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e
Saneamento – PPGRHS

Campus A. C. Simões, AV. Lourial de Melo Mota, S/N
Tabuleiro do Martins – CEP: 57072-970 – Maceió – Alagoas
Tel/Fax: (82) 3214-1279
E-mail: ppgrhs@yahoo.com
Homepege://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgrhs



AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA EM MACEIÓ/AL
COLETADA EM TELHADOS: TRATAMENTO ATRAVÉS DE FILTRAÇÃO LENTA
E POSSÍVEIS UTILIZAÇÕES

VICTOR CANTALICE DE SOUZA

Dissertação submetida à banca examinadora do Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e saneamento da Universidade Federal de Alagoas e aprovada no dia 08 de abril do ano de 2011.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marcio Gomes Barboza
(Orientador CTEC/UFAL)

Profª Drª Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira
(PPGRHS/UFAL)

Profª Drª Luciana Coêlho Mendonça
(UFS).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, saúde, disposição, pelas oportunidades e tudo que tem me agraciado, mesmo sem eu saber, tudo que tem contribuído para a conclusão deste degrau que estou alcançando em minha vida.

Agradeço à minha esposa Wilma, pelo seu amor, compreensão, apoio, palavras, idéias, orações e incentivos que têm contribuído de forma ímpar em minha vida e nessa tarefa.

Agradeço a meus pais e irmãos, pelo amor, apoio, conselhos, palavras, idéias e tudo que me ajudou e me fortaleceu em todos os momentos.

Agradeço ao meu orientador Prof. Márcio, pelos conhecimentos compartilhados, pela paciência e contribuições de diversas formas, fundamentais na construção total deste trabalho.

Agradeço a todos os professores do Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas – PPGHRS, que contribuíram com palavras, idéias e incentivos, especialmente, Profas. Ivete Ferreira, Rosângela Reis, Clêuda Freire e Profs. Roberaldo Souza, Valmir Pedrosa e Vladimir Caramori.

Agradeço a todos os colegas do PPGRHS, principalmente os da minha turma, Ana Maria, Antônio Nazaré, Francisco Marques, Keila Guimarães, Marcial Sobrinho, Ricardo Ítalo, Vera Núbia, Patrick e João Paulo.

Agradeço a todos os integrantes do Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA), particularmente Thomas, Samuel, Victor, Igor, Alson e Florilda. Além dos integrantes e funcionários em geral do Núcleo de Pesquisas Tecnológicas (NPT) que contribuíram de alguma forma na construção desta pesquisa.

RESUMO

A água de chuva tem sido utilizada em diversas localidades pelo mundo, como uma fonte alternativa para suprimento das demandas de água, assim, a caracterização dos parâmetros referentes à sua qualidade é de suma importância para o balizamento dessa atividade. O presente trabalho busca avaliar a qualidade da água de chuva captada em telhado com telhas cerâmicas, armazenada em reservatório de fibra de vidro, na cidade de Maceió/AL em dois períodos diferentes, através do monitoramento de parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Além disso, avaliar o desempenho da filtração lenta no tratamento da água de chuva, com ênfase nos parâmetros que não atendam à norma de potabilidade vigente no Brasil, Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. A pesquisa foi desenvolvida num sistema de captação e reservação da água de chuva, a qual passou por um sistema piloto de filtração lenta em areia com fluxo descendente. Na caracterização da água de chuva, as amostras foram obtidas do reservatório de armazenamento, em duas etapas distintas, antes da filtração lenta e durante a operação do filtro lento. As amostras para avaliação da eficiência do filtro lento em areia foram coletadas, no reservatório (entrada), em dois pontos intermediários situados ao longo do leito filtrante e na saída do filtro. O filtro lento foi construído num barril cilíndrico de polipropileno com 90cm de altura e 56cm de diâmetro, com espessuras do leito filtrante de 45cm e 15cm para a camada suporte. Efetuou-se a análise estatística comparando-se os dados entre as duas etapas diferentes de avaliação da água de chuva. Os resultados mostram que alguns parâmetros apresentaram diferença significativa entre si. Os resultados das análises da qualidade da água de chuva mostraram que alguns parâmetros físico-químicos e todos os parâmetros microbiológicos não se enquadraram nos limites estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde 518/2004, sendo assim, imprópria para consumo humano direto, contudo, podendo ser aproveitada para fins industriais em caldeiras e como água de resfriamento. Os resultados da operação do filtro lento mostraram que o meio filtrante apresentou partículas finas que interferiram nos resultados de cor e turbidez, além disso, a água de chuva na saída do filtro apresentou uma melhora em sua qualidade nos parâmetros microbiológicos, contudo, sem atingir os níveis, relativos a esses indicadores, estabelecidos pela legislação brasileira para potabilidade de água.

Palavras-chave: Água de chuva. Qualidade de água. Filtração lenta.

ABSTRACT

The rainwater has been used in various locations around the world, as an alternative source to supply the water demand, thus the characterization of parameters for its quality is of paramount importance for delineating this activity. This study sought to determine the quality of rainwater collected in roof with 45cm and 15cm for the support layer. We conducted a statistical analysis comparing data between two different stages of evaluation of rainwater. The results show that some parameters showed a significant difference between them. The analysis results of water quality of rain showed that some physical-chemical and microbiological parameters not all fit within the limits established by Ordinance of the Ministry of Health 518/2004 and is therefore not suitable for direct human consumption, however, may be harnessed for industrial boilers and as cooling water. The results of the operation of the slow filter showed that the filter media showed fine particles that interfere with the results of turbidity and color, in addition, rain water in the filter output showed an improvement in their quality of microbiological parameters, however, without reaching the levels for those indicators, established by Brazilian legislation for drinking water. ceramic tiles, stored in a fiberglass tank in the city of Maceió / AL in two different periods, by monitoring the physical, chemical and microbiological. Moreover, to evaluate the performance of slow sand filtration to treat stormwater, with emphasis on parameters that do not meet the standard for drinking water law in Brazil, Decree 518/2004 of the Ministry of Health Research has developed a system of catchment and reservoir of rainwater, which went through a pilot system of slow sand filtration with downward flow. In the characterization of rainwater samples were obtained from the storage reservoir, in two stages, before the slow sand filtration and during operation of the slow filter. The samples to assess the efficiency of slow sand filters were collected in the reservoir (input), two intermediate points along the filter bed and the filter output. The slow filter is built in a cylindrical barrel of polypropylene with 90cm height and 56cm in diameter and thickness of the filter bed of

Key-words: Stormwater. Water quality. Slow filtration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cisterna implantada no semi-árido brasileiro. FONTE: CIRILO (2008).....	16
Figura 2. Sistema automático de descarte das primeiras águas. Em (a) ilustra-se o funcionamento do sistema; (b) apresenta-se o sistema montado e em (c) desmontado.....	21
Figura 3. Estrutura de captação, transporte e armazenamento da água de chuva. ...	37
Figura 4. (a) Parte do jogo de peneiras; (b) Peneirador com as peneiras.....	38
Figura 5. (a) Pedregulhos utilizados na camada suporte; (b) Tubos perfurados.....	39
Figura 6. Desenho esquemático e fotografia do filtro lento em areia confeccionado.	40
Figura 7. Gráficos a, b ,c ,d ,e ,f ,g ,h ,i , j, e k dos dados de água de chuva da primeira etapa.....	52
Figura 8. Gráficos a, b ,c ,d ,e ,f ,g ,h ,i , j, e k dos dados de água de chuva da segunda etapa.....	56
Figura 9. Gráficos a, b ,c ,d ,e ,f ,g ,h ,i , j, e k com os valores médios das duas etapas e média geral.	60
Figura 10. Primeiro enchimento do filtro lento.	66
Figura 11. Efluentes da lavagem seqüencial da areia com á água destilada. (a) e (b) efluentes com turbidez elevada, maior que 1000uT; (c) turbidez de 542uT; (d) turbidez de 247uT	67
Figura 12. Resultados da lavagem seqüencial da areia com NaOH. Da esquerda para a direita: primeira, segunda e terceira lavagem.....	68
Figura 13. (a) Remoção da água após lavagem na betoneira; (b) água retirada após a quinta betonada; (c) água retirada na última betonada.	69
Figura 14. Curva granulométrica média do meio filtrante.....	70
Figura 15. (a) Peneirador elétrico utilizado no peneiramento de toda a areia; (b) areia peneirada.	70
Figura 16. Curva granulométrica média da camada suporte.....	71
Figura 17. Turbidez no primeiro dia de operação: (a) Efluente do filtro; (b) afluente.	72
Figura 18. Variação temporal do pH no filtro lento.	74
Figura 19. Médias do pH da água de entrada e saída no filtro lento	75
Figura 20. Variação temporal da temperatura na filtração lenta.....	76
Figura 21. Médias da temperatura da água de entrada e saída no filtro lento	76

Figura 22. Variação temporal do oxigênio dissolvido na filtração lenta.	77
Figura 23. Médias do oxigênio dissolvido da água de entrada e saída do filtro lento.....	78
Figura 24. Monitoramento temporal da dureza total na filtração lenta.....	79
Figura 25. Médias da dureza total.	80
Figura 26. Monitoramento da concentração de cloretos na filtração lenta.	81
Figura 27. Médias dos cloretos.	81
Figura 28. Variação temporal dos sólidos dissolvidos totais na filtração lenta.	82
Figura 29. Médias dos sólidos dissolvidos totais.....	82
Figura 30. Gráfico conjunto dos sólidos dissolvidos totais e da dureza total do efluente do filtro lento.	83
Figura 31. Variação temporal da cor no filtro lento.....	84
Figura 32. Médias da cor ao longo do filtro.	85
Figura 33. Gráficos da variação temporal da turbidez no filtro lento.	86
Figura 34. Médias da turbidez ao longo do filtro.....	87
Figura 35. Variação temporal do <i>E.coli</i> na filtração lenta.	88
Figura 36. Médias do <i>E.coli</i>	89
Figura 37. Curva de decaimento médio de <i>E.coli</i> ao longo do filtro.	90
Figura 38. Variação temporal da cor na filtração lenta.	91
Figura 39. Médias dos coliformes totais.	92
Figura 40. Decaimento médio dos Coliformes totais ao longo do filtro.....	93
Figura 41. Variação temporal das bactérias heterotróficas na filtração lenta.	94
Figura 42. Médias das bactérias heterotróficas.....	94
Figura 43. Decaimento médio das bactérias heterotróficas ao longo do filtro.	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Alguns parâmetros analisados por Sazakli et. al (2007) na ilha de Kefalonia/Grécia.....	25
Tabela 2. Resultados de alguns parâmetros analisados por Zhu et al. (2004), no sistema telhas cerâmicas+áreas pavimentadas com argamassa.....	26
Tabela 3. Resultados de alguns parâmetros analisados por Vaccari et al. (2005)....	27
Tabela 4. Resultados de alguns parâmetros analisados por Jaques (2005).....	28
Tabela 5. Requisitos da água bruta para a filtração lenta.	35
Tabela 6. Resumo dos parâmetros analisados.	43
Tabela 7. Estatística descritiva dos dados da primeira etapa de análise de água de chuva.....	48
Tabela 8. Estatística descritiva dos dados da segunda etapa de análise de água de chuva.....	53
Tabela 9. Quadro resumo do teste de t para cada variável, com $\alpha = 5 \%$	57
Tabela 10. Estatística descritiva dos dados da primeira e segunda etapa da análise da água de chuva.....	61
Tabela 11. Comparação de parâmetros médios de análises de água de chuva em várias pesquisas.....	63
Tabela 12. Limites máximos ou faixa de variação de alguns parâmetros para água de resfriamento e caldeiras. (Adaptada de Eckenfelder, Jr.; Ford; Englande, Jr. (2008)).....	64
Tabela 13. Estatística descritiva dos dados do efluente na saída do filtro lento.....	73

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo Geral	13
2.2	Objetivos Específicos	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	Captação e aproveitamento de água de chuva	15
3.2	Sistemas domésticos de captação e armazenamento de água de chuva	17
3.2.1	Superfície de Captação	17
3.2.2	Calhas e Conduitos Verticais	18
3.2.3	Sistema de descarte das primeiras águas	20
3.2.4	Reservatório de Armazenamento	22
3.3	Qualidade de água de chuva	23
3.4	Filtração lenta	28
3.4.1	Histórico da Filtração Lenta em Areia	29
3.4.2	Teoria dos mecanismos físico-químicos e biológicos na filtração lenta	30
3.4.2.1	Mecanismos de transporte	31
3.4.2.2	Mecanismos de aderência	32
3.4.2.3	Mecanismos de purificação e remoção dos patógenos intestinais	32
3.4.3	Requisitos da água bruta	34
4	METODOLOGIA	36
4.1	Descrição do sistema do sistema de coleta da água de chuva	36
4.2	Características do sistema piloto de filtração lenta	37
4.2.1	Características do leito filtrante	38
4.2.2	Características da camada suporte e da manta geotêxtil	39
4.3	Metodologias para análise e exame dos parâmetros	40
4.3.1	pH	41
4.3.2	Temperatura (T)	41
4.3.3	Cor Aparente (C)	41
4.3.4	Turbidez (Tb)	41
4.3.5	Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	41
4.3.6	Oxigênio Dissolvido (OD)	42
4.3.7	Cloretos (Cl ⁻)	42
4.3.8	Dureza Total (D)	42
4.3.9	Coliformes totais (CT), E.coli e Bactérias heterotróficas (BH)	42

4.4	Metodologias aplicadas para lavagem do meio filtrante e montagem do filtro.....	44
4.4.1	1ª e 2ª Lavagens. Revolvimento manual da areia.....	44
4.4.2	Ensaio para lavagem seqüencial com agitação da mistura de areia com água destilada e com dispersantes químicos.....	45
4.4.3	Ensaio para lavagem seqüencial com agitação da mistura de areia e água em betoneira.....	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
5.1	Caracterização da água de chuva e considerações sobre suas possíveis utilizações	47
5.1.1	Primeira etapa de análises da água de chuva.....	47
5.1.1.1	Considerações sobre a utilização para fins potáveis.....	48
5.1.2	Segunda etapa de análises da água de chuva.....	52
5.1.2.1	Considerações sobre a utilização para fins potáveis.....	53
5.1.3	Comparação estatística entre os dados da primeira e segunda etapa de análises.	57
5.1.4	Comparativo dos dados desta pesquisa com outros da literatura	60
5.1.5	Considerações sobre utilização da água de chuva para fins não potáveis .	63
5.1.5.1	Utilização da água de chuva em caldeiras e águas de resfriamento.....	64
5.2	Resultados da operação do filtro lento.	65
5.2.1	Aspectos construtivos do filtro lento em areia.	65
5.2.2	Características do leito filtrante e camada suporte.....	69
5.2.3	Operação do filtro lento	71
5.2.3.1	pH.....	74
5.2.3.2	Temperatura	75
5.2.3.3	Oxigênio dissolvido.....	76
5.2.3.4	Dureza total	78
5.2.3.5	Cloretos	80
5.2.3.6	Sólidos dissolvidos totais.....	81
5.2.3.7	Cor.....	83
5.2.3.8	Turbidez	85
5.2.3.9	E.coli.....	88
5.2.3.10	Coliformes totais.....	90
5.2.3.11	Bactérias Heterotróficas	93
6	CONCLUSÕES.....	96
7	RECOMENDAÇÕES.....	97
	REFERÊNCIAS.....	98

1 INTRODUÇÃO

A problemática da escassez de água vem se tornando uma forte questão a ser solucionada no mundo. O enfrentamento dessa crise deve-se principalmente ao super-crescimento populacional acompanhado do desenvolvimento econômico e urbano sem as devidas preocupações com o meio ambiente, resultando, além do aumento da demanda por água, na poluição dos recursos hídricos.

Essa questão torna-se mais marcante nas localidades afastadas dos grandes centros, onde, principalmente nos países em desenvolvimento, a água potável fornecida pelo governo não chega. Outro cenário onde a falta de água é expressiva é nas regiões de climas áridos ou semi-áridos.

A água de chuva é uma fonte de água disponível gratuitamente a toda humanidade, portanto, deve ser bem aproveitada da melhor maneira possível, seja para fins potáveis ou não. Desta forma, a utilização da água de chuva se apresenta como solução para boa parte dos problemas de escassez hídrica, nos locais anteriormente citados.

Apesar de ser uma solução muito interessante para os problemas de falta de água, o aproveitamento da água de chuva também tem alguns pontos negativos que devem ser considerados e solucionados. A qualidade da água de chuva é sem dúvida a mais importante ressalva que deve ser feita na adoção dessa prática. A água da chuva pode variar principalmente com a qualidade do ar, mas é na superfície da captação onde se encontram as maiores fontes de poluição, principalmente de organismos patógenos depositados nessas áreas, sobretudo através de fezes de animais.

A filtração lenta em areia (FLA) por ser uma técnica de baixo custo e de simplicidade na manutenção e operação é uma solução que pode ser muito bem aplicada para tratamento da água de chuva, principalmente para pequenas demandas. Em condições adequadas a filtração lenta não só é o mais barato ou simples método de tratamento, mas também o mais eficiente (WHO, 2008). Assim, o tratamento da água de chuva com filtros lentos para fornecimento de água potável apresenta-se com uma solução importante a ser estudada, na tentativa de minimização da falta de água em comunidades pequenas ou rurais.

O presente trabalho busca avaliar a qualidade da água de chuva captada em telhado com telhas cerâmicas, armazenada em reservatório de fibra de vidro, na cidade de Maceió/AL, pelo monitoramento de parâmetros físico-químicos e microbiológicos e verificar os possíveis usos conforme com a qualidade obtida. Além disso, avaliar o desempenho da filtração lenta no tratamento da água de chuva, com ênfase nos parâmetros que não atendam à norma de potabilidade vigente no Brasil, Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Objetiva-se com esta pesquisa avaliar a qualidade da água de chuva coletada em telhado com telhas cerâmicas, armazenada em reservatório de fibra de vidro em Maceió/AL e submetida a um sistema de filtração lenta para uso doméstico, de baixo custo de construção e fácil operação, para tratamento, visando a adequação da água aos parâmetros de potabilidade da Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

2.2 Objetivos Específicos

Para se alcançar o objetivo geral do trabalho, algumas metas específicas foram executadas, são elas:

- Caracterizar a água de chuva captada de telhados (água bruta) que entrará no sistema de filtração, através dos seguintes parâmetros: pH, temperatura, cor, turbidez, sólidos dissolvidos totais, oxigênio dissolvido, cloretos, dureza total, coliformes totais, *Escherichia coli* e bactérias heterotróficas
- Avaliar a eficiência da filtração lenta no tratamento da de chuva, através dos seguintes parâmetros: pH, temperatura, cor, turbidez, sólidos dissolvidos totais, oxigênio dissolvido, cloretos, dureza total, coliformes totais, *Escherichia coli* e bactérias heterotróficas.
- Verificar os possíveis usos da água de chuva conforme sua qualidade inclusive observando as prescrições da Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A água tem um papel ímpar no desenvolvimento sócio-econômico e na manutenção de ecossistemas saudáveis. O crescimento da população mundial acarreta um aumento na demanda por água superficial e subterrânea, para o consumo dos setores doméstico, industrial e irrigação. Adicionalmente a essa questão quantitativa da água, o aumento da poluição nos mananciais tem acirrado os conflitos por esse insumo indispensável.

A utilização da água cresceu mais que o dobro da taxa de crescimento populacional no último século, e um número cada vez maior de regiões são cronicamente afetadas pela falta de água. Em 2025, 1,8 bilhões de pessoas viverão em países ou regiões com escassez absoluta da água, e dois terços da população do mundo poderão estar em situação de estresse por água (ONU, 2008).

Nos países desenvolvidos mais de um bilhão de pessoas vivem com carência de água potável e mais de dois bilhões com ausência de saneamento básico adequado. Nos anos futuros a escassez de água tende a ser espalhar para outros setores, especialmente agricultura e energia (NATURE, 2008).

O Brasil apesar de globalmente ser um país com recursos hídricos em boa quantidade, cerca de 18% das reservas de água doce do mundo (considerando a contribuição dos Andes na Bacia Amazônica), por ser um país de dimensões continentais, apresenta grandes disparidades quanto à distribuição destes recursos em termos de população e superfície. Por exemplo, a região Norte do Brasil detém 68,5% dos recursos hídricos do país e possui uma área correspondente 45,3% do território nacional, onde estão alocados 6,98% da população, enquanto que a região Sudeste, detendo 6% dos recursos hídricos do país, ocupa 10,8% de área territorial e possui 42,65% da população nacional (GARCIA JUNIOR, 2007).

No Semi-Árido brasileiro, a escassez de água para o consumo humano agrava-se principalmente nos períodos de estiagem, nos quais, a necessidade diária de buscar água para o consumo doméstico obriga boa parte dos moradores a longas caminhadas em busca de água. Dos 3,3 milhões de domicílios rurais do Nordeste, é provável que mais de dois terços estejam nesta situação (GARCIA JUNIOR, 2007).

A utilização racional da água, o uso de fontes alternativas de fornecimento onde a escassez é um fenômeno forte e o reuso de águas servidas são medidas eficazes na conservação da água, contribuindo para a redução da demanda por água potável, deixando para esta os usos mais nobres.

Dentro desse contexto a captação e o aproveitamento da água de chuva, apresentam-se como uma alternativa largamente utilizada em todo o mundo, há muito tempo, possibilitando o aumento da oferta de água, tanto para usos potáveis ou não e se reveste de especial importância nas áreas onde a disponibilidade de água é baixa.

3.1 Captação e aproveitamento de água de chuva.

A captação e o aproveitamento da água de chuva é uma prática que remonta às civilizações antigas que há milhares de anos antes de Cristo, já utilizavam técnicas para utilização dessa importante fonte de água.

Evidências arqueológicas atestam a captação da água de chuva há 4000 anos e o conceito de coleta da água de chuva na China data de 6000 anos atrás. Em Israel existem ruínas de cisternas construídas aproximadamente em 2000 A.C, para armazenamento do escoamento superficial de colinas, a água era utilizada para fins agrícolas e domésticos (GOULD, NISSEN-PETERSEN, 1999 apud TWDB 2005).

Centenas de anos antes do nascimento de Jesus Cristo a utilização da água de chuva era uma técnica corriqueira no Mediterrâneo e Oriente Médio. A água coletada dos telhados e de outras superfícies era armazenada em tanques subterrâneos ou em cisternas (MOVAHED DANESH, 1997 apud SMET; MORIARTY 2001).

No Brasil devido à sua boa oferta de água potável principalmente nos grandes centros populacionais, o aproveitamento de água de chuva foi esquecido durante muito tempo. Atualmente nessas áreas, devido à grande demanda por água, programas de aproveitamento de água de chuva em edificações em geral têm sido incentivados pelo governo e pela iniciativa privada. Um exemplo disso é o manual de

conservação e reuso de água nas edificações elaborado pela ANA (Agência Nacional de Águas) em conjunto com a FIESP (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo) e SindusCon-SP (Sindicato da Indústria da Construção do Estado de São Paulo).

No Nordeste brasileiro, particularmente na região semi-árida, atenção especial tem sido dada à captação e utilização da água de chuva para o abastecimento humano. Um projeto muito difundido na região é o “Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semi-Árido: Um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC)” criado por uma ONG (Organização não governamental) chamada ASA (Articulação para o Semi-Árido).

O programa um milhão de cisternas (P1MC) tem como objetivo erradicar a pobreza e a fome na região, baseado em projetos já existentes em outros países e contempla, além da solução da falta de água, a educação sanitária e a educação sobre o bom uso dos recursos hídricos para as comunidades alvo. O projeto conta com o apoio do Ministério do Meio Ambiente e do Ministério do Desenvolvimento Social, e atualmente é apoiado também pelo Programa Fome Zero (MELO, 2007).

A implementação do projeto iniciou-se em julho de 2003 e até 21/11/2008 estão construídas 235860 cisternas (ASA, 2008). Assim, apenas 23% das cisternas previstas foram construídas (em mais de cinco anos de projeto), verifica-se, infelizmente que o programa apesar de muito criativo, desenvolve-se a passos lentos. Segue a seguir uma ilustração (Figura 1) das cisternas instaladas no semi-árido brasileiro.



Figura 1. Cisterna implantada no semi-árido brasileiro. FONTE: CIRILO (2008).

Os sistemas de aproveitamento de água de chuva podem ser desde os mais simples, onde a água é captada do telhado e distribuída num jardim para regar as plantas ou ainda pode ser armazenada para usos posteriores (lavar carros ou quintais). Pode ainda ser um sistema mais complexo com reservação e bombeamento de grandes quantidades de água para usos domésticos ou industriais, com a presença de outros sistemas que visem o tratamento e desinfecção, caso seja para fins potáveis ou uma remoção de elementos ou substâncias que poderão comprometer os equipamentos industriais.

Os sistemas para aproveitamento e usos industriais não serão tratados neste trabalho. Todos os sistemas para usos domésticos possuem partes ou componentes em comum que são necessários para que essa atividade se desenvolva. Segue a seguir uma descrição desses sistemas e seus componentes.

3.2 Sistemas domésticos de captação e armazenamento de água de chuva

Na implantação de sistemas de captação para uso doméstico, devem ser considerados alguns componentes básicos para construção do sistema, que são os seguintes: a superfície de captação (telhados e áreas pavimentadas), o sistema de condução e transporte da água (calhas e condutos verticais e horizontais), o sistema de descarte das primeiras águas e o reservatório de armazenamento. Adicionalmente à esses componentes, dependendo da qualidade da água de chuva, deve-se prever um sistema de tratamento da água para remoção de compostos nocivos e possíveis patógenos.

3.2.1 Superfície de Captação

A superfície de captação pode ser qualquer uma incluindo telhados ou áreas pavimentadas, sendo as melhores as mais lisas. O material que compõe da superfície além de influenciar na textura e rugosidade desta, interfere na qualidade da água de chuva, que após escoar sobre essa área recebe além dos detritos, certos componentes inerentes à composição do material. No caso de telhados que

possuem coberturas com telhas metálicas, caso essa telha possua em sua composição chumbo, cobre ou cádmio, pequenas quantidades desses constituintes poderão ser detectadas na água de chuva que escoou pelo telhado, tornando-a imprópria para consumo humano (TWDB, 2005). As telhas cerâmicas por serem feitas de argila, tendem a aumentar os valores de turbidez na água de chuva captada nos telhados. Uma atenção especial com relação à qualidade das águas de chuva será dada em uma seção posterior.

A quantidade de água coletada depende do tamanho, rugosidade, inclinação da superfície, intensidade, duração e frequência da precipitação. Para os telhados a norma brasileira de esgoto pluvial (NBR 10844 de 1989 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT) estabelece uma inclinação mínima de 0,5% em direção aos pontos de drenagem previstos.

3.2.2 Calhas e Conduitos Verticais

Neste item serão apresentados alguns aspectos considerados mais importantes no dimensionamento destes elementos, seguindo a norma brasileira de água de chuva NBR 15527:2007 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, que trata sobre o aproveitamento da água de chuva em coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Para maiores detalhes e esclarecimentos consultar a referida norma.

A NBR 15527:2007 recomenda que o dimensionamento hidráulico das calhas e condutores verticais deve estar em concordância com as recomendações da norma brasileira de esgotos pluviais NBR 10844:1989 de instalações prediais de águas pluviais.

O cálculo da vazão de projeto deve ser efetuado através do método racional, de acordo com o item 5.3.1 da NBR 10844:1989, com a seguinte fórmula:

$$Q = \frac{I \cdot A}{60}$$

Equação 1

onde:

Q = Vazão de projeto, em L/min;

I = intensidade pluviométrica, em mm/h;

A = área de contribuição, em m².

No item 5.2.1 a NBR 10844:1989 estabelece que a área de contribuição deve ser calculada considerando-se os acréscimos devidos à inclinação da cobertura e às paredes que interceptem água de chuva que também deva ser drenada pela cobertura, ver Figura 2 da referida norma.

A intensidade da precipitação “I” pode ser obtida na Tabela 5 do anexo da NBR 10844:1989, caso não haja para a localidade uma curva de relação intensidade, duração e frequência (curvas IDF). O período de retorno “T” que deve ser fixado segundo as características da área a ser drenada, obedecendo ao estabelecido a seguir (item 5.1.2 da NBR 10844:1989): T = 1 ano, para áreas pavimentadas, onde empoçamentos possam ser tolerados; T = 5 anos, para coberturas e/ou terraços; T = 25 anos, para coberturas e áreas onde empoçamento ou extravasamento não possa ser tolerado. A duração de precipitação deve ser de cinco minutos (t=5min), na ausência de informação sobre o tempo de concentração da chuva. Para uma área de projeção horizontal de até 100m², a norma preconiza (item 5.1.4) que se pode adotar uma chuva de intensidade de 150mm/h.

A declividade das calhas deve ser uniforme com um valor mínimo de 0,5% segundo o item 5.5.2 da NBR 10844:1989.

O dimensionamento das calhas deve ser feito através da fórmula de Manning-Strickler, ou de qualquer outra fórmula equivalente (item 5.5.7 da NBR 10844:1989). No dimensionamento das calhas, recomenda-se adotar uma altura de lâmina líquida de 50% do diâmetro interno do tubo. A seguir apresenta-se a equação 2, fórmula de Manning:

$$Q = K \cdot n^{-1} \cdot S \cdot R_h^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

Q =Vazão de projeto, em L/min;

S =área da seção molhada, em m²;

n = coeficiente de rugosidade (ver Tabela 2 da NBR 10844:1989);

R_h = raio hidráulico, em m;

i = declividade da calha, em m/m;

$K = 60.000$.

Os condutos verticais devem ser projetados, sempre que possível, em uma só prumada, porém, quando houver necessidade de mudanças de direção, estas devem ser executadas com curvas de 90° de raio longo ou curvas de 45°, com a existência de inspeções. O diâmetro mínimo dos condutos verticais é de 70mm, e seu dimensionamento deve ser feito a partir dos ábacos presentes na Figura 3 da NBR 10844:1989.

Nos condutores horizontais deve ser mantida a mesma declividade mínima que nas calhas (0,5%), seu dimensionamento também segue a equação 2, utilizando-se uma lâmina líquida de altura igual 2/3 do diâmetro interno do tubo.

3.2.3 Sistema de descarte das primeiras águas

Nos períodos entre uma chuva e outra, fezes de pássaros e outros animais, folhas, poeiras e outras sujeiras em geral, se acumulam nos telhados, fazendo com que a água após escoar sobre este se torne contaminada, impossibilitando seu uso direto para o consumo humano. Assim, faz-se necessário o armazenamento e descarte das primeiras águas coletadas, antes do encaminhamento desta para o reservatório de acumulação.

A forma mais simples de descarte das primeiras é a existência de um tubo passivo conectado à calha, de maneira que a água entre no sistema de limpeza antes chegar ao reservatório de armazenagem. No final deste tubo deve haver um pequeno orifício tampado por um bujão (plug) ou cap roscável que deve ser aberto após o evento de chuva, ou mesmo uma torneira, que possibilite o esvaziamento do tubo, para que no próximo evento o sistema de armazenagem e descarte das primeiras águas esteja pronto para efetuar outra limpeza.

Existe no mercado um sistema automático de limpeza e descarte das primeiras águas provenientes do telhado. O fabricante é a *Rain Harvesting Pty Ltd*, uma empresa australiana que trabalha com sistemas completos de coleta e

armazenamento de água de chuva. O sistema consiste numa câmara vertical, para reservar as primeiras águas, que é conectada à última parte condutor das águas de chuva, logo antes do reservatório. Neste compartimento existe uma esfera de borracha flutuável, a qual à medida que a câmara se enche de água, flutua até topo e sela a entrada de água, assim, a água de chuva continua o fluxo até o reservatório. A água armazenada na câmara vertical é a resultante do primeiro escoamento na superfície da captação. O compartimento vertical é esvaziado automaticamente através de uma válvula, situada na parte inferior, que lentamente libera a água suja que foi reservada. As dimensões da câmara vertical (diâmetro e altura) variam de acordo com o volume de armazenamento das primeiras águas. Para melhor entendimento segue a Figura 2 a seguir.

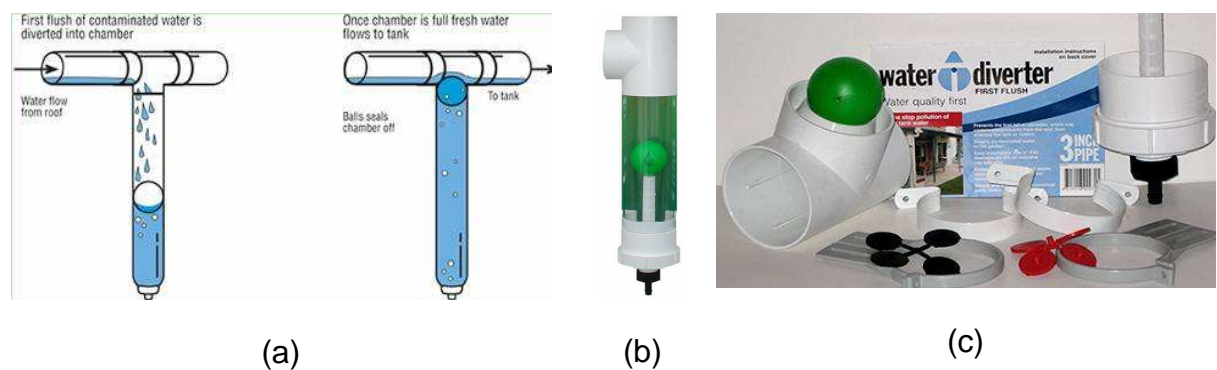


Figura 2. Sistema automático de descarte das primeiras águas. Em (a) ilustra-se o funcionamento do sistema; (b) apresenta-se o sistema montado e em (c) desmontado.

Fonte: <<http://rainharvesting.com.au/>>.

Na literatura existem diversas sugestões quanto ao volume a ser descartado das primeiras águas de chuva. O manual de coleta de água de chuva do Texas (*The Texas Manual on Rainwater Harvesting* - 2005) recomenda que sejam desviados no mínimo 100 galões ($\approx 380\text{L}$) para cada 1000 pés quadrados ($\approx 93\text{m}^2$), ou ainda, $4,1\text{L/m}^2$.

A *Rain Harvesting Pty Ltd*, recomenda que no mínimo sejam descartados $0,2\text{L/m}^2$ nas primeiras águas, sugere ainda que sejam utilizados fatores de acordo com o nível de sujeira do telhado. Para lugares onde o nível de sujeira seja mínimo (lugares abertos, sem árvores, sem excrementos de pássaros) sugere-se um fator

0,5L/m². Nos telhados mais sujos (com folhas de árvores, excrementos de pássaros ou outros animais, insetos mortos) recomenda-se desviar 2L/m².

A norma brasileira de aproveitamento de água de chuva (NBR 15527:2007) sugere que, na falta de dados sobre a quantidade a ser descartada do escoamento inicial, devem ser descartados os primeiros 2mm de chuva.

3.2.4 Reservatório de Armazenamento

O tanque de armazenamento ou cisterna é a parte mais cara de todo o sistema de coleta de água de chuva. O tamanho do reservatório depende de vários fatores, segundo TWDB (2005), são:

- precipitação local (suprimento de água);
- demanda;
- número de dias sem chuva;
- superfície de captação;
- orçamento.

Os custos de implantação estão diretamente relacionados com o tamanho do reservatório e conseqüentemente aos fatores apresentados anteriormente. Além desses fatores, o material de fabricação do reservatório, também influencia muito nos custos de implantação/construção do sistema. Os materiais mais utilizados nos reservatórios são: fibra de vidro, polietileno, polipropileno, metal (aço inoxidável ou galvanizado), concreto armado, argamassa armada ou ainda os reservatórios de anéis cilíndricos de concreto armado (pré-moldado). O custo de cada um desses materiais está associado a aspectos locais, época do ano além do acabamento/refinamento desejado.

No posicionamento do reservatório devem-se evitar locais com insolação direta. Os reservatórios devem ficar o mais próximo possível dos pontos de fornecimento e demanda de água, evitando que a água seja conduzida por grandes distâncias. Devem-se manter distâncias de possíveis fontes exteriores de

contaminação como estábulos de animais e tubulações (inclusive as subterrâneas) de esgoto sanitário (TWDB, 2005).

O lastro de apoio do reservatório deve ser plano e firme, impermeável se possível. Dependendo do tipo de solo e do volume do reservatório será necessário alguma estrutura para sua fundação para que se mantenham as condições de estabilidade do solo. As águas provenientes de drenagens ou transbordamentos devem ser desviadas para que a fundação de apoio do reservatório não seja afetada. Seu lastro e fundação devem ser checados após eventos extremos (TWDB, 2005).

O dimensionamento do reservatório pode ser feito pelo método de Rippl que é o mais rápido de ser utilizado e que apresenta resultados satisfatórios para reservatórios domésticos. Esse método relaciona as entradas acumuladas com o tempo.

A norma brasileira NBR15527:2007, em seu anexo A, apresenta diversos métodos de cálculos para dimensionamento de reservatórios são: o método de Rippl, método da simulação, método Azevedo Neto, método prático alemão, método prático inglês e o método prático australiano. Destes, o método do Rippl é o mais difundido no Brasil.

3.3 Qualidade de água de chuva

O tema qualidade da água de chuva pode ser analisado sob três principais esferas:

- qualidade direta da água de chuva, ou seja, sem interferências de superfícies coletoras ou outras estruturas;
- qualidade da água de chuva após o escoamento em determinada superfície;
- qualidade da água de chuva no reservatório de armazenagem.

Sob a primeira ótica busca-se analisar somente as características físico-químicas da água da chuva antes que esta escoe em alguma superfície, resultando

em dados que ajudarão sobremaneira na análise também da qualidade do ar, pois neste caso, estes dois temas estão intimamente ligados.

Uma segunda forma de se analisar a água da chuva é determinar seus parâmetros físico-químicos e microbiológicos, após seu escoamento em determinada superfície. Essa água apresentará características que dizem respeito à qualidade do ar daquela localidade e também, de uma forma muito marcante, características adquiridas durante sua passagem pela superfície de coleta.

Na terceira forma de análise, procura-se avaliar as características físico-químicas e microbiológicas das águas armazenadas em reservatórios. Essa água apresentará, além dos parâmetros relacionados com o ar e a superfície de captação, aspectos que têm relação direta com o tipo de material de construção empregado no reservatório. O reservatório pode ainda funcionar, dependendo do tempo de detenção, como um “pré-tratamento” de certos parâmetros, os sólido em suspensão, por exemplo, tendem a se sedimentar no fundo.

A qualidade da água de chuva, após devidamente avaliada, pode ser comparada com requisitos qualitativos de água dos usos para os quais se pretendem utilizá-la. Assim, a utilização da água de chuva para determinado fim, dependerá das condições de qualidade da água necessárias para o uso específico.

Sazakli et. al (2007) estudaram durante três anos na ilha de Kefalonia na Grécia, a qualidade da água de chuva coletadas das encostas (protegidas por grades e muros e revestidas de concreto) e transportada até um conjunto de vinte e três tanques de argamassa armada com capacidades variando de 300 até 1000m³. Essa água serve para o abastecimento da ilha que durante o verão tem sua população triplicada devido ao turismo. Segue a seguir na Tabela 1 os resultados de alguns dos parâmetros estudados. Os parâmetros microbiológicos apresentados, na maioria das amostras, evidenciam que a água necessita de algum tratamento para que se torne potável.

Tabela 1. Alguns parâmetros analisados por Sazakli et. al (2007) na ilha de Kefalonia/Grécia.

Parâmetros	Intervalo de variação
pH	7,63 - 8,80
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	6 - 48
Dureza (mgCaCO ₃ /L)	24 - 74
Cloreto (mg/L)	3 - 16
Coliformes Totais (UFC/100ml)	0 - 570
<i>E.coli</i> (UFC/100ml)	0 - 250

Na província de Gansu, no planalto de Loess, ao norte na China, incentivos do governo através de um programa chamado “121 Project”, fez com que fossem construídas, entre 1990 e 2002, aproximadamente 2,4 milhões de cisternas com um volume médio de 30m³ cada uma, solucionando assim, os problemas de oferta de água para consumo humano e agricultura naquela região (Zhu et al, 2004). Preocupados com a qualidade dessa água, durante três anos de estudos Zhu et al. (2004) analisaram os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água de chuva captada de três sistemas de captação, na província de Gansu. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos nas análises da água captada num sistema com uma composição de áreas de captação, formado por telhados com telhas cerâmicas e áreas de pátio revestido de argamassa. As concentrações encontradas mostram que a maioria dos parâmetros estão de acordo com os padrões de qualidade para água potável estabelecidos pela OMS (Organização Mundial de Saúde).

Tabela 2. Resultados de alguns parâmetros analisados por Zhu et al. (2004), no sistema telhas cerâmicas+áreas pavimentadas com argamassa.

Parâmetros	Intervalo de variação
pH	7,39 (média)
Turbidez (uT)	2 - 3,5
Dureza (mgCaCO ₃ /L)	60,96 - 140,02
Cloreto (mg/L)	6,13 - 79,20
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	185,0 - 750,0
Coliformes Totais (UFC/100ml)	3000 - 12600

No Brasil, Vaccari et al. (2005) estudaram a qualidade da água de chuva em Vitória/ES de diversas formas, entre elas, a água captada em telhados com telhas metálicas e a armazenada em cisternas. Dentre os resultados encontrados apresenta-se na Tabela 3 a média dos valores de uma parte dos parâmetros estudados, referente às análises da água coletada no telhado e da armazenada nas cisternas. Dos parâmetros apresentados na Tabela 3 observa-se que excetuando-se os microbiológicos, os outros parâmetros, estão de acordo os padrões de potabilidade de água estabelecidos pela Portaria número 518 do Ministério de Saúde (MS).

Num estudo realizado por Jaques (2005) em Florinópolis/SC, objetivou-se estudar, entres outros aspectos, a qualidade da água de chuva proveniente de dois tipos de telhados, um coberto com telhas de amianto e outro com telhas cerâmicas, além da qualidade da água armazenada em reservatórios após seu escoamento num telhado com telhas de zinco.

Tabela 3. Resultados de alguns parâmetros analisados por Vaccari et al. (2005).

Parâmetros	Média	
	Telhado	Cisterna
pH	6,87	6,25
OD (mg/L)	7,50	7,60
Turbidez (uT)	12,3	0,46
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	18,5	2,68
Dureza (mgCaCO ₃ /L)	25,1	4,77
Cloreto (mg/L)	14,5	1,40
<i>E.coli</i> (UFC/100ml)	0,33	N.E*
Coliformes Totais (UFC/100ml)	3,8	N.E*

*N.E – Não estudado.

Na Tabela 4 são apresentados alguns dos parâmetros estudados por Jaques (2005). Nessa Tabela observa-se a variação entre os parâmetros de acordo com o tipo de telhado. No telhado com telhas de amianto os parâmetros físico-químicos apresentam maior concentração que no telhado com telhas cerâmicas. Os patógenos por sua vez, estão em concentrações de mesma ordem de grandeza nos três pontos de análise.

Tabela 4. Resultados de alguns parâmetros analisados por Jaques (2005).

Parâmetros	Média dos valores		
	Telhado Amianto	Telhado Cerâmico	Cisterna
pH	7,35	6,49	5,13
Turbidez (uT)	8,68	8,24	4,70
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	18,91	3,89	3,62
Dureza (mgCaCO ₃ /L)	38,43	16,37	11,98
Cloreto (mg/L)	11,92	10,91	13,95
Coliformes Fecais (UFC/100ml)	6,14x10 ²	2,96x10 ²	1,31x10 ²
Coliformes Totais (UFC/100ml)	1,40x10 ³	1,79x10 ³	2,49x10 ³

3.4 Filtração lenta

Conforme exposto nos itens anteriores, observa-se que o aproveitamento da água de chuva é uma prática extremamente interessante sob vários aspectos, como ambiental e social etc. Porém, a difusão das técnicas pode levar também com seus benefícios, alguns fatores preocupantes. Certas comunidades podem passar a utilizar a água de chuva indiscriminadamente, sem qualquer preocupação com sua qualidade.

No item onde se tratou da qualidade da água de chuva, verificou-se que todas elas que são captadas por superfícies (telhados ou áreas pavimentadas) apresentam concentrações de organismos patógenos que podem provocar doenças ao ser humano. Assim, atenção especial deve ser dada à qualidade microbiológica das águas de chuva.

Nesse contexto apresenta-se a técnica de filtração lenta em areia (FLA), como uma alternativa para o tratamento da água de chuva, uma técnica secular e mundialmente difundida, em termos de aplicações práticas. Sua construção é de baixo custo não requer grandes quantias, já que os materiais empregados são encontrados em muitas localidades e a operação de um sistema de FLA não exige um grau de instrução/conhecimento elevado do operador. Por isso, ela é muito interessante para pequenas comunidades onde há escassez de água.

Outro grande diferencial da filtração lenta em relação a outras técnicas de filtração é sua boa eficiência na remoção de patógenos, atribuída à formação de uma fina camada de microrganismos no topo da camada de areia que se alimentam dos patógenos e matéria orgânica. Assim, em muitos casos, dependendo do desempenho do sistema de FLA, a desinfecção é dispensável no final do tratamento.

A filtração lenta em areia é a passagem da água pelo leito de areia, por gravidade, a uma baixa taxa de filtração, sem o uso de coagulação no pré-tratamento. O filtro geralmente consiste numa camada de areia por cima de uma camada suporte de pedregulho (WHO, 2004). O tamanho de grão de areia é um pouco menor do que o utilizado em um filtro rápido, esse fator associado com a taxa de filtração resulta numa quase total remoção dos sólidos, removidos em uma fina camada sobre o topo do leito de areia. Essa fina camada, composta de micro e macro organismos vivos e mortos da água (geralmente chamada de *schmutzdecke*, termo em alemão que significa película suja), passa a ser o meio filtrante dominante com o amadurecimento do filtro (CLEASBY & LONGSDON, 1999).

A seguir apresenta-se um breve histórico da filtração lenta, e a descrição detalhada dos mecanismos físico-químicos e biológicos atuantes durante a passagem da água pelo filtro lento em areia.

3.4.1 Histórico da Filtração Lenta em Areia.

O filtro lento de areia é uma das mais antigas técnicas empregada no tratamento de água. Desenvolvida inicialmente por John Gibb em Paisley na Escócia em 1804, a tecnologia foi sendo melhorada por ele e outros, até que em 1829, ela foi

primeiramente empregada por uma companhia pública de abastecimento de água a Companhia de Água de Chelsea em Londres. (HUISMAN & WOOD, 1974)

A eficiência do tratamento da água com a filtração lenta ficou demonstrada em um fato ocorrido em 1892. Um surto de cólera em duas cidades alemãs, Altona e Hamburgo, que usavam o rio Elba como fonte de abastecimento. A captação de Altona localizava-se a jusante de um ponto de lançamento de esgotos de Hamburgo, esperava-se então que a primeira sofreria maiores conseqüências que a segunda. Porém, Altona utilizava a filtração lenta para o tratamento da água e obteve uma taxa de mortalidade 230 por 100000 habitantes, enquanto Hamburgo que não empregava a mesma tecnologia suportou uma taxa de 1344 por 100000 habitantes. A maior parte das mortes ocorridas em Altona foi atribuída às contaminações ocorridas em Hamburgo (GAINEY AND LORD 1952, apud, LONGSDON et al., 2002).

Em 1872 foi instalada a primeira estação de filtração lenta nos Estados Unidos in Poughkeepsie, Nova Iorque. Com o posterior desenvolvimento da filtração rápida, a construção de filtros lentos de areia entrou em declínio nos Estados Unidos (BRODER&BYRON, 2004). A partir da última parte do século vinte, a situação começou a se modificar, quando se verificou que o filtro lento era capaz de remover vírus, cistos de *Giardia*, e oocistos de *Cryptosporidium*, microrganismos que eram desconhecidos ou não considerados como patogênicos em 1800 até o início dos anos 1900 (LONGSDON et al., 2002).

Utilizou-se essa tecnologia no Brasil até meados do século XX, porém com a degradação da qualidade da água nos mananciais, a maior parte das estações de filtração lenta foi transformada em estações com o chamado ciclo completo, abrangendo a coagulação química e a filtração rápida (DI BERNARDO, 2005).

3.4.2 Teoria dos mecanismos físico-químicos e biológicos na filtração lenta.

O processo de filtração lenta é regido por um conjunto de mecanismos físico-químicos e biológicos de atração, adesão das partículas e purificação da água através da oxidação da matéria orgânica e eliminação dos patógenos pela atuação de microrganismos predadores.

A seguir são expostos os principais mecanismos e pontos relevantes para a compreensão de como todo o processo acontece.

3.4.2.1 Mecanismos de transporte

Os principais processos pelos quais as partículas entram em contato com o grão de areia são a filtração ou coagem, a sedimentação, a interceptação a difusão e a atração entre massas.

A ação de coar ou peneirar é o processo mais óbvio de interceptação e retenção das partículas maiores que os interstícios entre os grãos de areia. Ocorre em quase toda a superfície do filtro e é independente da taxa de filtração. O movimento aleatório das partículas no fluxo através do leito de areia produz um contato mútuo, assim, alguma coagulação é gerada, e quando o aglomerado de partículas fica grande o suficiente para ser retido pelo mecanismo de filtração, elas se depositam. (HUISMAN & WOOD, 1974).

A interceptação ocorre quando uma partícula se desloca de uma linha de corrente tangencial ao grão e se choca com este. O outro mecanismo de transporte é a difusão, que decorre do movimento aleatório das partículas com dimensões inferiores a $1\mu\text{m}$, que adquirem um movimento difusivo e tendem a se aproximar dos grãos. O impacto inercial atua nas partículas de maiores dimensões que podem adquirir quantidade de movimento suficiente para manter sua trajetória original, ou seja, não acompanham as linhas de fluxo que tendem a tangenciar os grãos, e se chocam com estes (LIBÂNIO, 2005).

A ação de sedimentar dentro dos poros, nos quais as partículas em suspensão se precipitam, é comparável àquela ocorrida nos tanques de sedimentação convencional, porém nestes os depósitos ficam apenas nos fundos, enquanto nos grãos, a área superficial total de todos eles está teoricamente disponível para esse mecanismo. Em 1m^3 de areia com uma porosidade de 38% e um diâmetro médio de $0,25\text{mm}$, a área superficial bruta de todos os grãos será em torno de 15000m^2 . A remoção de partículas orgânicas acontece quando seus diâmetros são superiores a $4\mu\text{m}$. Substâncias coloidais, com diâmetros de $1\mu\text{m}$ ou menores, não serão removidas pela sedimentação (HUISMAN & WOOD, 1974).

A atração entre massas (forças de Van der Waals) opera universalmente e contribui para ambos os mecanismos de transporte e aderência. Essa força atua na atração de partículas que estão no entorno dos grãos de areia, e aumenta com a diminuição da distância entre o grão e a partícula.

3.4.2.2 Mecanismos de aderência

Uma vez feito o contato entre a superfície do grão de areia e as partículas, as principais forças que as retêm nesse lugar são a atração eletrostática e a adesão.

Devido à natureza de sua estrutura cristalina, o quartzo (maior constituinte na areia) possui carga negativa e, por conseguinte, é capaz de atrair cargas positivamente carregadas como cátions de ferro, magnésio, alumínio e outros metais. Partículas coloidais de origem orgânica, incluindo bactérias, geralmente têm cargas negativas e são conseqüentemente repelidas; essa é uma das razões pela qual as impurezas não são removidas quando o filtro ainda possui areia limpa em seu leito. Contudo, durante o processo de maturação do filtro, partículas carregadas positivamente podem se acumular em alguns grãos de areia, sobre os quais uma saturação de cargas acarretará uma troca de carga, conferindo ao grão e às partículas aderidas cargas positivas. Estes grãos estão agora, aptos para remover impurezas carregadas negativamente, incluindo matérias coloidais de origem animal e vegetal e ânions como os radicais de nitratos e fosfatos, até que outra saturação de cargas ocorra, ocasionando outra troca de cargas (HUISMAN & WOOD, 1974).

3.4.2.3 Mecanismos de purificação e remoção dos patógenos intestinais.

As bactérias, provenientes da água bruta, que inicialmente ficam aderidas no interior da *schmutzdecke*, se reproduzem seletivamente utilizando a matéria orgânica como alimento. Assim, a matéria orgânica degradável presente na água bruta é gradualmente quebrada. A atividade bacteriana é mais evidente na parte superior do leito de areia e gradualmente decresce com a profundidade acompanhando a escassez de alimento, numa profundidade, em torno de 30-40 cm,

(dependendo da taxa de filtração) a atividade bacteriana já é bem menor (HUISMAN & WOOD, 1974).

Mudanças bruscas na taxa de filtração podem causar um distúrbio no equilíbrio bacteriano, resultando numa deterioração da qualidade do efluente. Por tal razão, é melhor que o filtro seja planejado para operar continuamente e com uma taxa de filtração mais constante possível. Da mesma forma, as populações de bactérias estão adaptadas à quantidade e ao tipo de alimento fornecido pela água, assim, oscilações bruscas da qualidade água bruta devem ser evitadas. Uma das formas de se amenizar essas flutuações é providenciando um reservatório de água bruta com capacidade suficiente para tal (HUISMAN & WOOD, 1974).

Para uma satisfatória oxidação bioquímica da matéria orgânica, deve-se deixar um tempo adequado de contato disponibilizar oxigênio suficiente e manter a água numa temperatura adequada às reações que ocorreram no filtro. O tempo adequado é assegurado, através de taxas de filtração baixas, mantendo um tempo de contato suficiente no interior do leito. A quantidade de oxigênio é importante, pois se ela cair até zero durante a filtração, ocorrerá decomposição anaeróbia, com conseqüente produção de gás sulfídrico que confere odor indesejável. Assim, na água filtrada deve ser mantida uma concentração de oxigênio dissolvido de no mínimo 3mg/L para que as condições anaeróbias sejam evitadas em todas as áreas do leito de areia. Para que esse requisito seja atendido a água bruta deve receber uma aeração para aumentar a concentração de oxigênio ou receber um pré-tratamento visando à diminuição da demanda biológica de oxigênio (HUISMAN & WOOD, 1974).

As condições no interior do filtro não são apropriadas para a multiplicação de bactérias intestinais. Elas não resistem a temperaturas inferiores a 30°C e o leito de areia geralmente não contém matéria orgânica que atendam suas demandas nutricionais. Adicionalmente a isto, existem muitos tipos de organismos predatórios (como os protozoários e metazoários) na parte superior do leito, enquanto que nas profundidades inferiores a disponibilidade de comida é cada vez menor, então os patógenos morrem por falta de nutrientes, particularmente em altas temperaturas quando a taxa de suas atividades metabólicas aumenta. O resultado geral é uma substancial redução no número de *E.coli* e um decréscimo proporcional maior ainda nos patógenos. Esse efeito torna-se maior com o desenvolvimento da flora e da

fauna do filtro na presença adequada de nutrientes, oxigênio e temperaturas ideais (HUISMAN & WOOD, 1974).

3.4.3 Requisitos da água bruta.

Para que o filtro lento em areia tenha um funcionamento adequado certos parâmetros precisam estar dentro de faixas aceitáveis de valores. Vários autores têm se dedicado ao estudo e obtenção dessas faixas usuais. Na Tabela 5 estão elencados alguns dos parâmetros e suas faixas ideais de acordo com cada autor.

O estabelecimento dessas faixas aceitáveis é importante, pois a partir da análise da água bruta, pode-se determinar se esta precisa passar por um tratamento inicial para que os parâmetros permaneçam de acordo com as faixas encontradas na literatura.

Essa questão da qualidade da água bruta também foi estudada por Weber-Shirk & Dick (1997), em um experimento piloto investigando a remoção de partículas e de *Escherichia coli*. Nesse estudo eles constataram que os filtros lentos podem não atingir uma remoção eficiente de partículas por causa da falta de amadurecimento físico-químico e biológico do filtro. O amadurecimento biológico causado pelos bacteriófagos é dependente das bactérias presentes na água bruta.

Diversos exemplos podem ser encontrados na literatura sobre a eficiência da filtração lenta na remoção de patógenos, e a ação da camada biológica (schmutzdecke) nesse processo. Pode-se citar como exemplo Weber-Shirk & Dick (1997), Cleasby & Longsdon (1999), Campos (2002), Longsdon et al. (2002) e LeChevallier & Kwok-Keung (2004). Alguns dados de remoção encontrados por esses autores, são apresentados juntamente com os resultados da presente pesquisa.

Tabela 5. Requisitos da água bruta para a filtração lenta.

Parâmetros	Autores		
	Cleasby (1991)	Broder & Byron (2004)	Di Bernardo (2005)
Turbidez (uT)	≤ 5	5 - 10	< 15
Cor verdadeira (uC)	-	15 - 25	< 10
Sólidos suspensos totais (mg/L)	-	-	< 25
Ferro total (mg/L)	≤ 0,3	≤ 1,0	< 1,5
Manganês total (mg/L)	≤ 0,05	≤ 1,0	< 0,7
<i>Eschericia coli</i> (UFC/100ml)	-	-	< 500
Coliformes Totais (UFC/100ml)	-	-	< 1000

4 METODOLOGIA

Por se tratar de um trabalho experimental é necessário que se conheçam as especificações utilizadas do experimento para coleta de amostras, assim como, os parâmetros analisados e os métodos de análise destes.

A pesquisa foi desenvolvida num sistema da captação e reservação da água de chuva, a qual passou por um sistema piloto de filtração lenta em areia. Na caracterização da água de chuva, as amostras foram obtidas do reservatório de armazenamento, em duas etapas distintas, antes da filtração lenta e durante a operação do filtro lento. As amostras para avaliação do filtro lento em areia, foram coletadas, no reservatório, em dois pontos intermediários situados ao longos do leito filtrante e na saída do filtro.

4.1 Descrição do sistema do sistema de coleta da água de chuva

A captação da água de chuva foi feita no Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), num protótipo de uma habitação de interesse social apresentada na Figura 3. Nesta edificação está implantado um sistema de captação de água de chuva, com calhas coletoras, condutores verticais, um reservatório de autolimpeza com volume de aproximadamente 60L e um reservatório de armazenamento com volume de 10000L. O sistema recebe a água de uma cobertura cerâmica com área de coberta de 65 m².

A média da precipitação pluvial na região do Tabuleiro Costeiro de Maceió-AL é de 1805mm para o período de 1972-2001. Os totais anuais no período superam 1300mm na maioria dos anos estudados e o período chuvoso da região compreende os meses entre abril e agosto (SOUZA et al., 2003).

A coleta de amostras do interior do reservatório de armazenamento foi feita a partir de uma torneira localizada na parte inferior do mesmo. Essa torneira era deixada aberta, para que o volume de água descartado pudesse eliminar possíveis interferências exteriores, além disso, os recipientes de coleta da água foram devidamente ambientados, enchendo-os com aproximadamente um terço de seu

volume, realizando uma agitação deste volume no recipiente, que em seguida era esvaziado para que pudesse ser realizada a coleta.



Figura 3. Estrutura de captação, transporte e armazenamento da água de chuva.

4.2 Características do sistema piloto de filtração lenta

O sistema piloto de filtração lenta é composto de um filtro lento em areia confeccionado num barril cilíndrico de polipropileno com 90cm de altura e 56cm de diâmetro.

O fluxo de água é descendente e seu fornecimento ao filtro é feito através de um reservatório intermediário (entre o reservatório de armazenamento e o filtro) situado de maneira a fornecer água por gravidade. A água bruta entra e passa por um dissipador, cujo objetivo é reduzir a perturbação ocasionada pelo vertimento da água na lâmina de água sobre a camada biológica (*schmutzdecke*), evitando assim, uma possível desagregação desse biofilme. A água bruta passa por três meios: o meio filtrante composto de areia fina com quarenta e cinco centímetros (45cm) de espessura; a manta geotêxtil não-tecida, necessária para evitar ao máximo a passagem de partículas do meio filtrante para a camada suporte; o terceiro meio é a

camada suporte, com quinze centímetros (15cm) de espessura, composta de pedriscos. As características de cada um dos três meios são expostas a seguir.

4.2.1 Características do leito filtrante.

A areia utilizada como meio filtrante é proveniente de um rio e foi caracterizada seguindo as recomendações da norma brasileira (NBR 11799:1990 Material filtrante – areia, antracito e pedregulho.) com substituições e acréscimos de algumas peneiras. Devido à ausência da peneira de 1,00mm, houve uma substituição desta pela de 1,19mm. O acréscimo de peneiras deve-se ao fato de que na referida norma não há recomendação de utilização de peneiras com abertura menor que 0,425mm, assim, decidiu-se utilizar peneiras adicionais, com aberturas menores, consoantes a série completa de peneiras existentes no peneiramento fino, recomendado pela norma brasileira NBR7181:1984 (Solo- Análise granulométrica). Foram utilizadas um total de nove peneiras com as seguintes aberturas em mm (1,19; 0,84; 0,71; 0,6; 0,5; 0,42; 0,25; 0,149; 0,075).

Cada amostra de 500g foi peneirada por quinze minutos no peneirador elétrico, Figura 4 (b), em seguida, determinou-se, numa balança eletrônica com precisão de 0,01g, a massa de cada parcela retida nas peneiras, após isso, calculou-se a parcela passante em cada peneira.



(a)



(b)

Figura 4. (a) Parte do jogo de peneiras; (b) Peneirador com as peneiras.

Como a areia utilizada é resultante da retirada em leito de rio, deve ser investigada a presença de matéria orgânica. Assim, executou-se o ensaio para determinação da matéria orgânica presente na areia utilizada como meio filtrante. A execução do ensaio foi conforme a prescrições da NBR 13600/1996 Solo - Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440°C com utilização de 50g de amostra.

4.2.2 Características da camada suporte e da manta geotêxtil

A manta geotêxtil não tecida que separa a areia da camada suporte possui abertura máxima de 0,23mm e mínima de 0,13mm e permite a passagem do fluxo de água a uma taxa de 88L/s.m².

A camada suporte possui 15cm de espessura e sua curva granulométrica foi determinada segundo a NBR7181:1984 (Solo-Análise granulométrica) adicionando-se a peneira de 6,3mm à série de peneiramento grosso.

No fundo da camada suporte há um conjunto de tubos perfurados de PVC com um diâmetro interno de 25mm para coletar o efluente, que seguem uma única tubulação de mesmo diâmetro até a saída, conforme Figura 5.

A metodologia adotada na construção do filtro lento é similar à apresentada por Manz (2004) e por Tarsi (2008). A taxa de filtração inicial adotada é de 312 L/dia ou 1,27m³/(m²·dia). Um esquema da instalação do filtro é apresentado na Figura 6.



(a)



(b)

Figura 5. (a) Pedregulhos utilizados na camada suporte; (b) Tubos perfurados.

Para uma análise mais detalhada dos parâmetros microbiológicos, da cor e da turbidez, a amostragem ocorreu em três pontos situados ao longo do barril, entre a entrada e saída do filtro. O primeiro ponto serve para coletar a água sobrenadante, quando esta atingir tal nível. O segundo (2aT) situado a 16cm do topo do leito filtrante e a terceiro ponto intermediário (3aT) posicionada a 45cm do topo da camada filtrante de areia, na interface, entre esta e a camada suporte. Detalhes na Figura 6.

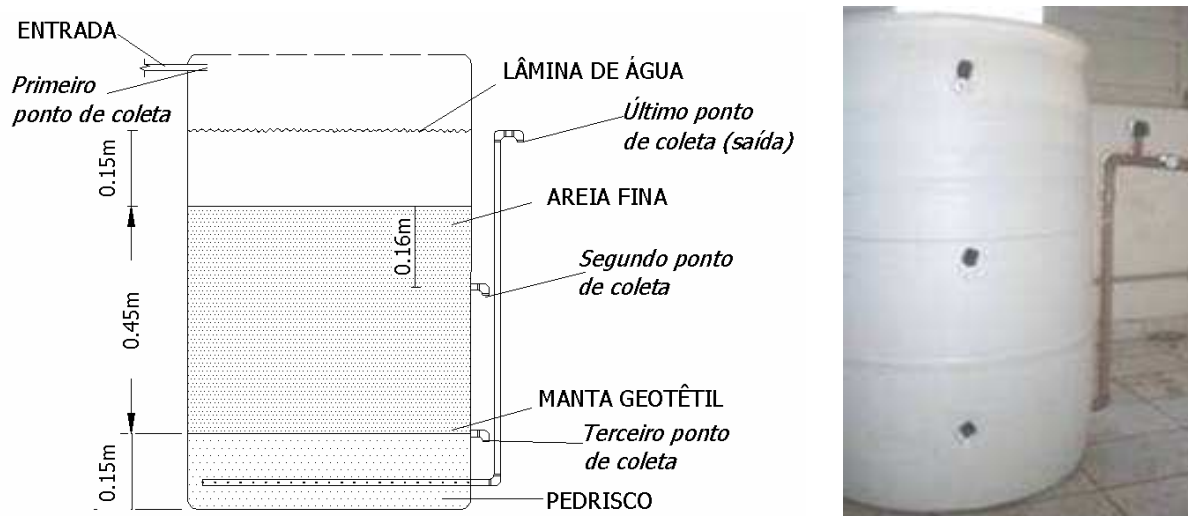


Figura 6. Desenho esquemático e fotografia do filtro lento em areia confeccionado.

4.3 Metodologias para análise e exame dos parâmetros

As análises e exames foram executados no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) da UFAL. A metodologia de execução das análises físico-químicas e dos exames microbiológicos está estabelecida em *Standard methods for the examination of water and wastewater* (APHA, 1999). Algumas metodologias desta referência sofreram variações em virtude dos recursos disponíveis no laboratório.

4.3.1 pH

Foi utilizado o método potenciométrico em alíquotas de 50mL de cada amostras, segundo o método 4500HB de APHA (1999), utilizando aparelho Analion PM 608.

4.3.2 Temperatura (T)

A temperatura foi medida num termômetro com bulbo de mercúrio, em 50mL de cada amostra. O resultado é expresso em (°C).

4.3.3 Cor Aparente (C)

A cor foi determinada pelo método espectrofotométrico, que se baseia na absorção ou não de alguns comprimentos de ondas, de certo feixe de luz emitido pelo espectrofotômetro sobre as amostras. Foi utilizado o espectrofotômetro (Hach DR/2500) configurado com um comprimento de onda de 455nm. O resultado é expresso por (uC), unidades de cor.

4.3.4 Turbidez (Tb)

Foi determinada pelo método da Nefelometria, método 2130B de APHA (1999), em 50mL de cada amostra, utilizando-se o turbidímetro Policontrol AP 2000. O resultado é expresso por (uT), unidades de turbidez.

4.3.5 Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)

Na determinação dos SDT, efetuou-se uma filtração com uma membrana de fibra de vidro ($\Phi=1.2\mu\text{m}$) em uma amostra de água bem homogeneizada.

Determinou-se o peso da cápsula com a água filtrada após a secagem em estufa, com temperatura entre 103 – 105 °C durante 24h. A diferença entre esse valor e o peso da cápsula vazia são os sólidos dissolvidos contidos na amostra. O resultado é expresso em (mg/L).

4.3.6 Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido foi avaliado utilizando-se um medidor portátil de oxigênio dissolvido (oxímetro), em 50mL de cada amostra de água. O resultado é expresso por (mg/L).

4.3.7 Cloretos (Cl⁻)

Na determinação dos cloretos, o pH das amostras deve estar entre 7 e 10, caso não esteja nesta faixa, deve-se corrigir o pH com o adequado reagente. O método utilizado na avaliação dos cloretos foi a titulação com nitrato de prata em alíquotas de 50mL de cada amostra. O resultado é expresso por (mgCl⁻/L).

4.3.8 Dureza Total (D)

A determinação em conjunto de Ca⁺⁺ e Mg⁺⁺, conhecida como dureza total, foi determinada segundo o método titulométrico do EDTA, método 2340C de APHA (1999). O resultado é expresso por (mgCaCO₃/L).

4.3.9 Coliformes totais (CT), E.coli e Bactérias heterotróficas (BH)

Os exames de coliformes fecais e totais foram executados utilizando-se a técnica de filtração em membrana usando como meio de cultura Chromocult® Coliform Agar (Merck - Cat. 1.10426), metodologia análoga à empregada por

Ferreira (2005). O resultado é expresso em unidades formadoras de colônias por cem mililitros (UFC/100mL). Com esse meio de cultura é possível a contagem dos três indicadores de contaminação (CT, *E.coli* e BH).

A seguir apresenta-se a Tabela 6 com a lista de todos os parâmetros que serão analisados e metodologias de execução.

Tabela 6. Resumo dos parâmetros analisados.

Parâmetro	Unidade	Método
pH	-	Potenciométrico
Temperatura (T)	°C	Medição direta
Cor aparente (C)	uC	Medição direta
Turbidez (Tb)	uT	Nefelométrico
Sólidos dissolvidos totais (SDT)	mg/L	Gravimétrico
Oxigênio dissolvido (OD)	mg/L	Medição direta: sonda com membrana seletiva de oxigênio
Cloreto (CL ⁻)	mgCl ⁻ /L	Titulométrico (Método de Mohr)
Dureza (D)	mgCaCO ₃ /L	Titulométrico
<i>Escherichia coli</i> (<i>E.coli</i>)	UFC/100ml	Filtração em membrana
Coliformes totais (CT)	UFC/100ml	Filtração em membrana
Bactérias heterotróficas	UFC/100ml	Filtração em membrana

Na análise dos parâmetros na filtração lenta, além do monitoramento dos dados na entrada e na saída do filtro, foram utilizados pontos de coletas intermediários ao longo do leito filtrante para verificar a variação, em relação à profundidade de areia, dos parâmetros microbiológicos (CF, CT e BH) da cor e da turbidez.

4.4 Metodologias aplicadas para lavagem do meio filtrante e montagem do filtro.

A presença de materiais finos aderidos ao grão de areia é indesejável, pois eles podem conferir à água filtrada, características não esperadas ou pouco desejáveis. Assim, como preparação da areia para sua utilização como meio filtrante, foram aplicadas algumas técnicas para lavagem com o objetivo de retirar impurezas que pudessem interferir nas análises da água. O termo “lavagem da areia” aqui mencionado, significa a tentativa de retirar impurezas que elevam a turbidez da água.

4.4.1 1ª e 2ª Lavagens. Revolvimento manual da areia.

A areia utilizada neste experimento proveniente do leito de rio foi armazenada local exclusivo e antes de sua utilização como meio filtrante realizou-se o peneiramento como indicado no item 4.2.

Antes do posicionamento da areia no barril, para composição do filtro, efetuou-se uma lavagem manual da areia, com água potável, para remoção das impurezas presentes. Nesta primeira lavagem separou-se a areia em partes menores, em masseiras plásticas de aproximadamente 22L, às quais era adicionada água e realizado um revolvimento manual da areia.

O enchimento do barril cilíndrico, com a camada suporte e o leito filtrante, foi realizado adicionando-se primeiramente água potável e depois as camadas do filtro, lentamente posicionadas, de maneira que sempre ficassem submersas em água, minimizando assim, a incorporação de bolhas de ar no filtro. A incorporação de bolhas de ar deve ser evitada, pois prejudicam o desempenho do filtro ao propiciar caminhos preferenciais.

Durante a colocação das camadas do filtro, efetuou-se também uma lavagem com revolvimento manual, tanto no leito filtrante, quanto da camada suporte, ambos submersos em água potável, com retirada do sobrenadante, resultante da lavagem, e renovação da água.

4.4.2 Ensaio para lavagem seqüencial com agitação da mistura de areia com água destilada e com dispersantes químicos.

Devida à ausência de metodologias particulares para lavagem de areias utilizadas em sistemas de filtração, os ensaios realizados não seguiram nenhuma metodologia específica.

O ensaio para lavagem com água destilada consistiu em colocar 100g da areia, previamente seca por 24h em estufa a 100°C, com 200mL de água destilada em um erlenmeyer, agitar a mistura por 10min na mesa agitadora com 200rpm de velocidade de agitação. Após isso, retirou-se uma amostra do efluente resultante da mistura, para avaliar sua turbidez.

O procedimento acima foi repetido com mesma amostra de areia, retirando-se o sobrenadante (efluente) resultante da agitação, e adicionando-se o mesmo volume de água destilada, para posteriormente à agitação, com o mesmo tempo e velocidade, medir a turbidez. Desta forma obteve-se uma lavagem seqüencial da areia, com a qual se pode avaliar a evolução de retirada de partículas finas aderidas ao grão de areia.

Realizou-se outro ensaio para separação de partículas finas aderidas ao grão de areia, utilizando dispersantes químicos, ao invés de água destilada. A utilização de dispersantes químicos em solos serve para separação das partículas finas aderidas ao grão de areia. Os dispersantes utilizados para segregação das partículas do solo, geralmente possuem características alcalinas (Kuhlman & Greenfield, 1999). O ensaio realizado foi semelhante ao descrito anteriormente, lavagem seqüencial com água destilada. Utilizou-se 50g da areia, 100mL de NaOH com uma concentração de 0,4N. A escolha do NaOH deve-se ao fato de ser um reagente alcalino facilmente encontrado nos laboratórios. A areia foi deixada em repouso por 12h na solução de NaOH, em seguida, agitou-se a mistura com o agitador magnético por 15min, após isso, foi deixada de repouso por 2h. Efetuou-se uma lavagem na amostra de areia na peneira Nº 200 (#0,075mm) com água destilada para remoção dos finos. Posteriormente foi realizada uma nova agitação da mesma areia imersa em 100mL na solução de NaOH a 0,4N, desta vez por cinco

minutos. A retirada do sobrenadante para avaliação da turbidez foi realizada após a agitação da areia em 100mL água destilada por cinco minutos.

4.4.3 Ensaio para lavagem seqüencial com agitação da mistura de areia e água em betoneira

Visando uma melhor eficiência na remoção de partículas aderidas ao grão de areia, efetuou-se uma lavagem que produzisse uma maior energia na agitação da massa água e areia. Optou-se utilizar um equipamento de grande porte e fácil manuseio, neste caso selecionou-se uma betoneira elétrica com tambor de duas pás, com volume de 320L e rotação de 26rpm.

No tambor da betoneira foram colocados aproximadamente 50L de areia com umidade natural, juntamente com 25L de água potável (proveniente da rede pública de abastecimento). O tempo de mistura da massa areia e água foram de aproximadamente um minuto. Cada ciclo de mistura (betonada) foi feito com a mesma amostra de areia, e mesmo volume de água, para que se observasse a evolução na retirada de impurezas da areias. No total foram efetuadas trinta (30) etapas na mistura areia água.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item são apresentados os resultados e suas discussões. Primeiramente serão mostrados os resultados e as discussões obtidos das análises da água de chuva, com os quais se podem caracterizar físico-químico e biologicamente a água de chuva. Posteriormente, são apresentados os resultados da etapa de filtração lenta, onde é possível avaliar a eficiência do tratamento da água por essa modalidade de filtração.

5.1 Caracterização da água de chuva e considerações sobre suas possíveis utilizações

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados das duas etapas de análise da qualidade da água de chuva, bem como os aspectos relativos à suas utilizações para fins potáveis e não-potáveis. A primeira avaliação da água de chuva foi realizada antes da etapa de filtração lenta. A segunda etapa foi efetuada em conjunto com a avaliação da filtração lenta.

5.1.1 Primeira etapa de análises da água de chuva

A primeira etapa de caracterização da água de chuva ocorreu, durante treze dias, não consecutivos, nos meses de 03/2009 a 05/2009, onde foram coletadas amostras do reservatório, apresentado na Figura 3, através de uma torneira localizada na parte inferior do mesmo.

Com os valores da Tabela 7, dentre os parâmetros físico-químicos, pode-se estabelecer uma ordem de acordo com o coeficiente de variabilidade, assim, em ordem decrescente temos: os sólidos dissolvidos totais; os cloretos; a turbidez; a cor aparente. A temperatura apresentou menor variabilidade, seguida pelo pH, pelo oxigênio dissolvido e pela dureza.

Tabela 7. Estatística descritiva dos dados da primeira etapa de análise de água de chuva.

Parâmetro	Unidade	Média*	Min	Max	Desvio Padrão	C.V	n
pH	-	7,70	6,32	9,53	1,01	0,131	13
(T)	°C	27,59	22,70	30,80	2,60	0,094	13
(C)	uC	10,30	0,30	17,40	3,96	0,385	13
(Tb)	uT	3,57	1,95	7,79	1,71	0,479	13
(SDT)	mg/L	68,92	10,00	198,00	58,89	0,855	13
(OD)	mg/L	4,04	3,10	5,30	0,74	0,183	13
(Cl)	mgCl ⁻ /L	2,02	0,48	3,35	0,96	0,473	13
(D)	mgCaCO ₃ /L	4,50	3,00	7,00	1,10	0,243	13
E.coli	UFC/100mL	1,55 X10 ²	2,00	1,00X10 ³	3,92 X10 ²	2,531	9
(CT)	UFC/100mL	2,71 X10 ³	1,50X10 ³	6,00X10 ³	1,43 X10 ³	0,525	9
(BH)	UFC/100mL	1,23 X10 ⁴	4,00X10 ³	4,69X10 ⁴	1,60 X10 ⁴	1,299	9

*Média aritmética calculada para os parâmetros físico-químicos e geométrica para os microbiológicos.

5.1.1.1 Considerações sobre a utilização para fins potáveis

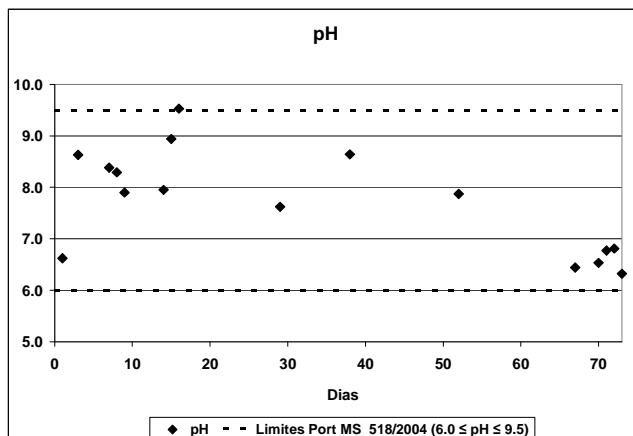
Na Figura 7 estão os gráficos que apresentam a distribuição dos valores nos dias de análise, da primeira etapa. Para que o possível aproveitamento potável da água de chuva seja verificado é necessária uma comparação dos resultados expostos na Figura 7 com a norma vigente de potabilidade no Brasil. Confrontando os valores obtidos com as recomendações da Portaria do Ministério da Saúde (MS) nº 518/2004, que estabelece entre outros aspectos o padrão de potabilidade de água no Brasil, pode-se verificar que:

- No caso do pH somente um valor esteve ligeiramente acima do limite máximo estabelecido pela Portaria ($6,0 \leq \text{pH} \leq 9,5$), representando 7,69% dos valores, ver Figura 7 (a). O pH representa a concentração de íons hidrogênio H⁺, definindo o caráter ácido, básico ou neutro da água. Os valores fora das faixas recomendadas podem alterar o sabor da água, propiciar a corrosão de equipamentos e/ou tubulações, caso de pH a seguir do mínimo, e a incrustação, no caso de pH acima do máximo.

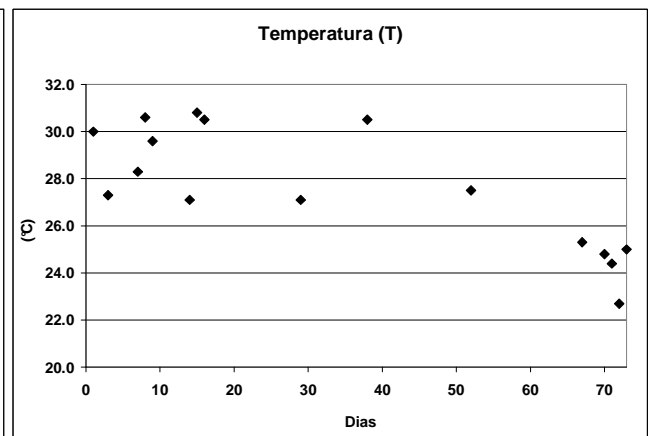
- Os valores de sólidos dissolvidos totais estão todos a seguir do especificado pela Portaria ($S_{DT} \leq 1000\text{mg/L}$), Figura 7 (c). Excetuando-se os gases dissolvidos, todos os contaminantes da água contribuem para a carga de sólidos (VON SPERLING, 2005).
- Dos valores obtidos de cor aparente apenas um valor apresentou-se acima do máximo permitido, que é de 15uC, correspondendo a 7,69% do total de pontos obtidos, conforme Figura 7 (e).
- Para o parâmetro turbidez quatro valores estiveram acima do máximo estabelecido pela norma ($T_b \leq 5\text{uT}$), significa que 30,77% das amostras coletadas não atenderam à norma, Figura 7 (f). Assim como a cor, a turbidez é parâmetro estético de importância nas águas de abastecimento.
- Todos os valores obtidos de cloreto estiveram a seguir do máximo permitido pela Portaria ($\text{Cloreto} \leq 250\text{mg/L}$), Figura 7 (g). Os cloretos (principalmente de sódio) estão associados ao sabor desagradável na água e efeito laxativo (PIVELI & KATO, 2005).
- Para o parâmetro dureza todos os valores obtidos também se situaram a seguir do máximo permitido pela Portaria ($\text{Dureza} \leq 500\text{mg/L}$), Figura 7 (h). Este parâmetro tem um aspecto econômico relevante, pois em excesso - presença de cálcio e magnésio - provoca incrustações em instalações e tubulações.
- No parâmetro microbiológico que indica contaminação - *Escherichia coli* (*E.coli*), todos os valores observados ficaram acima do permitido, que é a ausência em 100 mL deste indicador de contaminação exclusivamente fecal. A *Escherichia coli*, bactéria do grupo coliforme é considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005).
- Para o indicador de contaminação, coliformes totais, a Portaria do MS 518/04 admite um valor positivo para sistemas que analisem menos de 40 amostras mensais, logo, como na água de chuva analisada todas as amostras apresentaram contaminação por coliformes totais, há uma desconformidade neste parâmetro. Os coliformes totais (bactérias do grupo coliforme), em sua maioria, pertencem aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e

Enterobacter, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo. Agregam espécies de origem não exclusivamente fecal, podendo ocorrer naturalmente em outras matrizes ambientais como solo, água e plantas. Por isso não são indicadores específicos de contaminação fecal, e sua aplicação restringe-se, principalmente, à avaliação da qualidade da água tratada e distribuída (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005).

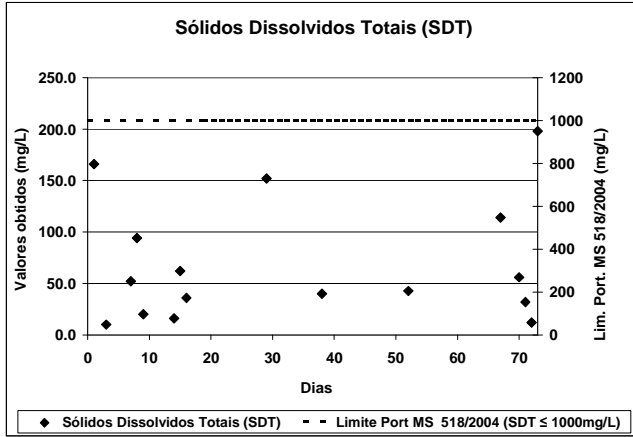
- A contagem de bactérias heterotróficas fornece informações sobre a qualidade bacteriológica da água de uma forma ampla, pois o exame bacteriológico inclui a detecção inespecífica de bactérias ou esporos de bactérias, de origem fecal, da flora natural da água ou resultante da formação de biofilmes. Algumas podem ser patogênicas oportunistas. São utilizadas como indicador auxiliar de contaminação, e estão relacionadas a eventuais alterações na qualidade da água na reservação (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005). Os valores obtidos em todas as amostras coletadas estão em conformidade com o padrão de potabilidade que é de, no máximo, 500 UFC/mL, ou, 5×10^4 UFC/100mL conforme indicado na Figura 7 (k).



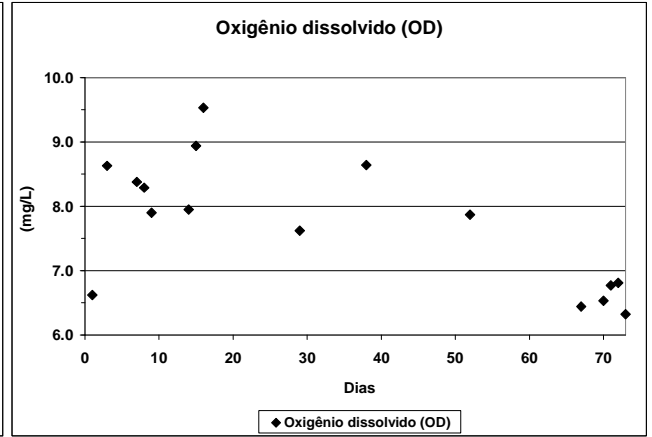
(a)



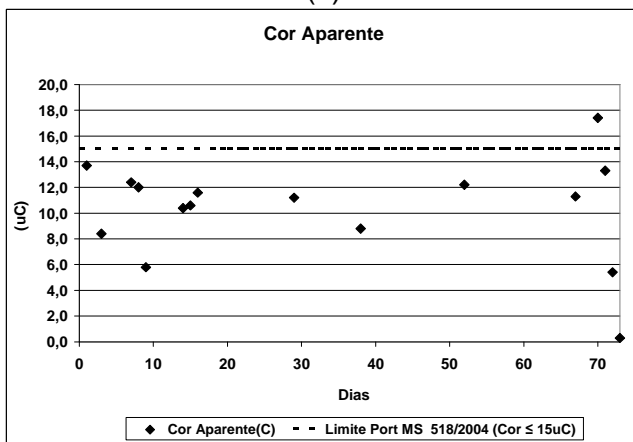
(b)



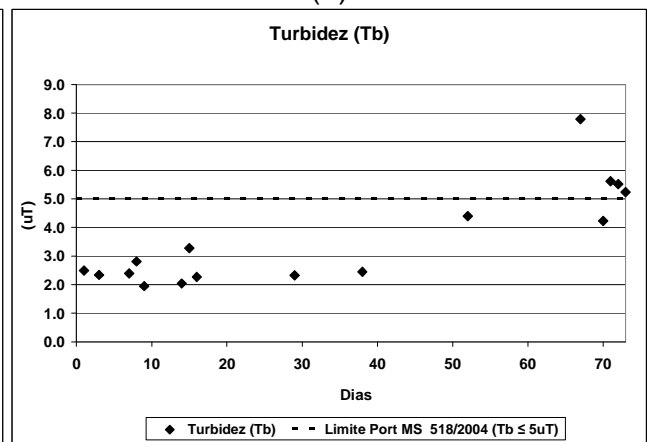
(c)



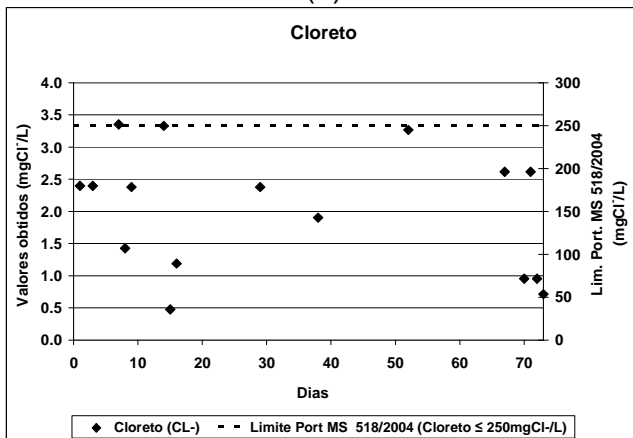
(d)



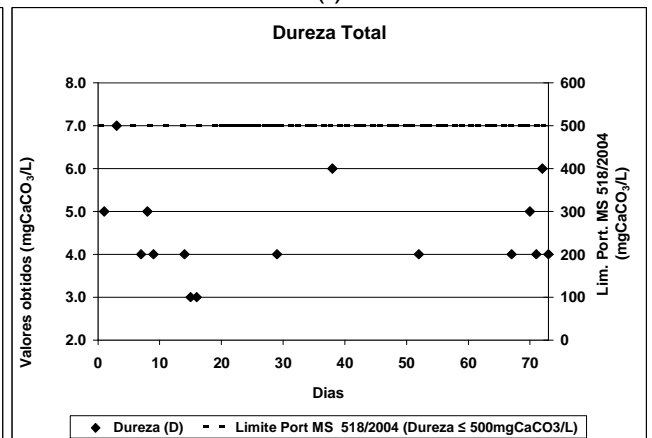
(e)



(f)



(g)



(h)

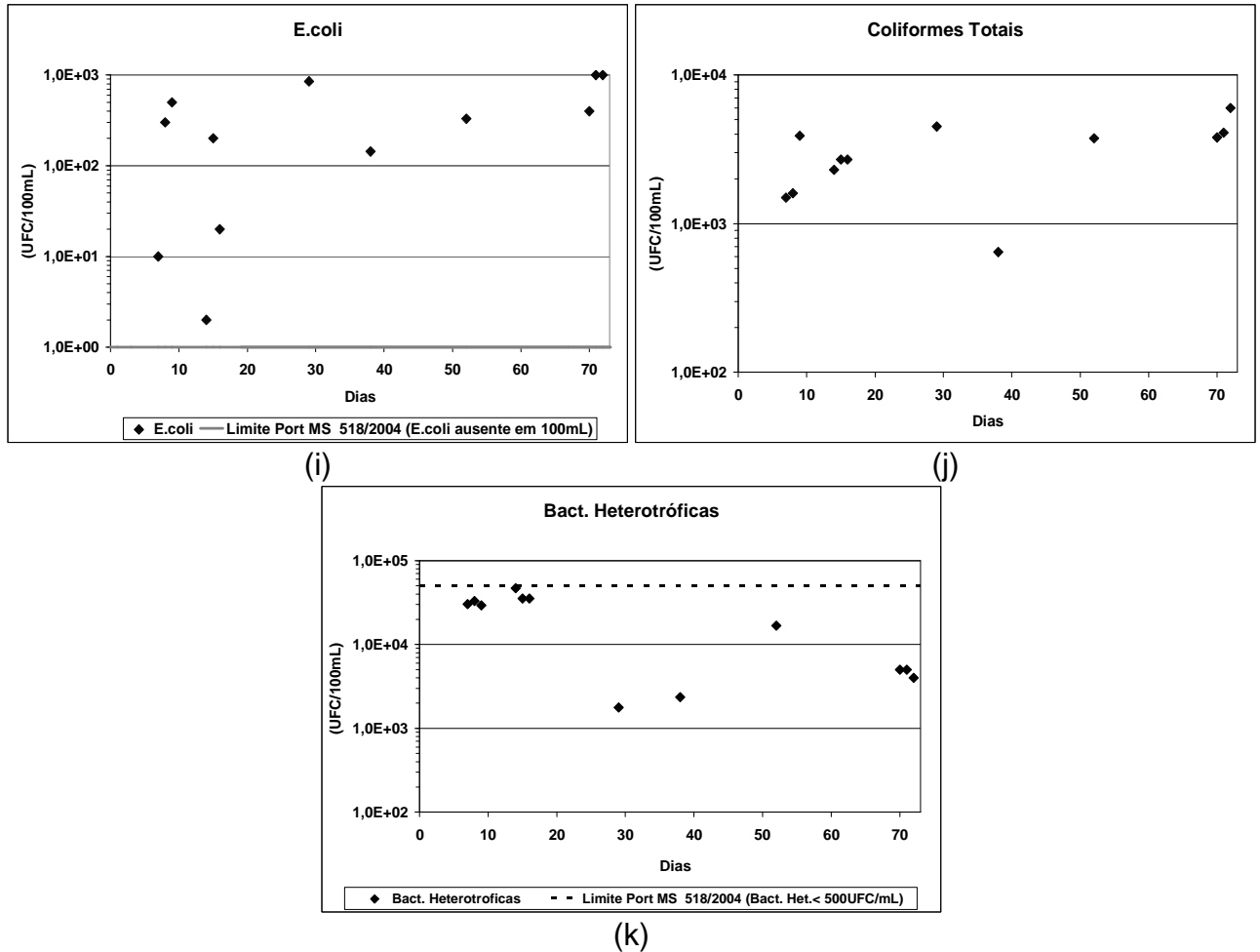


Figura 7. Gráficos a, b ,c ,d ,e ,f ,g ,h ,i , j, e k dos dados de água de chuva da primeira etapa.

Ressalta-se que dentre os parâmetros analisados, a Portaria do Ministério da Saúde (MS) nº 518/2004 não estabelece padrões para a temperatura e oxigênio dissolvido.

5.1.2 Segunda etapa de análises da água de chuva

A segunda etapa de caracterização da água de chuva ocorreu durante o período de funcionamento do filtro lento, entre os meses de agosto e outubro. Neste caso, a água de chuva foi o afluente do sistema de filtração. Antes da coleta, a torneira era deixada aberta, para que o volume de água descartado pudesse eliminar possíveis interferências exteriores, além disso, os recipientes de coleta da

água foram devidamente ambientados, enchendo-os com aproximadamente um terço de seu volume, realizando uma agitação deste volume no recipiente, que em seguida era esvaziado para que pudesse ser realizada a coleta.

Os valores da estatística descritiva dos dados encontram-se na Tabela 8, nesta, pode-se perceber que, dentre os parâmetros físico-químicos os que apresentaram as maiores variabilidades em ordem decrescente foram: a cor aparente; os sólidos dissolvidos; a turbidez; os cloretos; a dureza; o pH; o oxigênio dissolvido e a temperatura.

Tabela 8. Estatística descritiva dos dados da segunda etapa de análise de água de chuva.

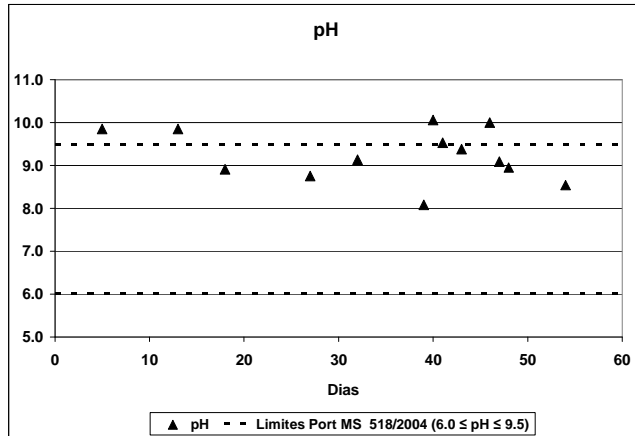
Parâmetro	Unidade	Média*	Min	Max	Desvio Padrão	C.V	n
Ph	-	9,24	8,08	10,06	0,606	0,066	13
(T)	°C	24,66	23,60	25,80	0,784	0,032	13
(C)	uC	3,09	0,70	5,10	1,455	0,471	19
(Tb)	uT	4,13	2,14	8,16	1,650	0,399	19
(SDT)	mg/L	45,60	20,00	80,00	18,590	0,408	10
(OD)	mg/L	4,75	4,40	5,40	0,290	0,061	13
(Cl⁻)	mgCl ⁻ /L	3,21	2,52	4,32	0,647	0,202	14
(D)	mgCaCO ₃ /L	4,36	3,00	6,00	0,745	0,171	14
E.coli	UFC/100mL	7,22X10 ²	1,00X10 ²	4,00X10 ³	1,08X10 ³	1,49	18
(CT)	UFC/100mL	9,60X10 ³	6,00X10 ²	3,10X10 ⁴	8,09X10 ³	0,84	18
(BH)	UFC/100mL	2,11X10 ⁴	4,00X10 ²	5,80X10 ⁴	1,80X10 ⁴	0,85	18

*Média aritmética calculada para os parâmetros físico-químicos e geométrica para os microbiológicos.

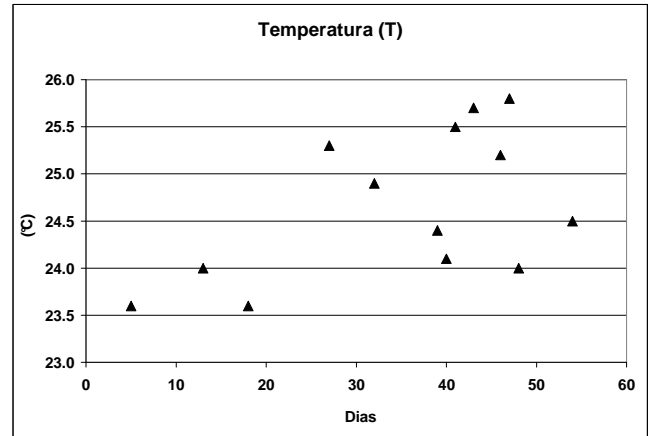
5.1.2.1 Considerações sobre a utilização para fins potáveis

Os dados que apresentam a distribuição dos valores obtidos nas análises da segunda, estão localizados na Figura 8. Utilizando-se como base para comparação a Portaria do Ministério da Saúde (MS) nº 518/2004, que estabelece entre outros aspectos o padrão de potabilidade de água no Brasil, verifica-se que:

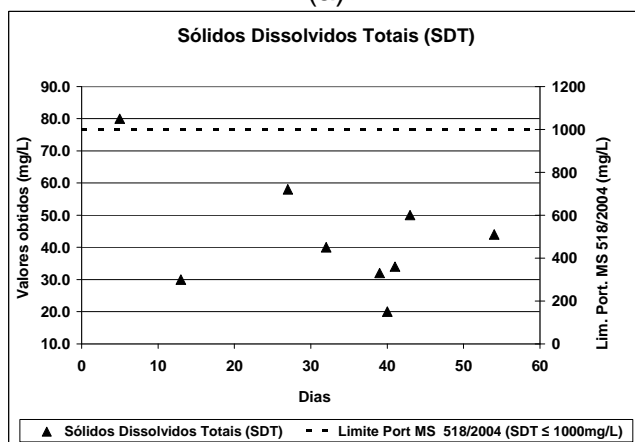
- Dos valores de pH encontrados, cinco deles, estiveram fora dos limites estabelecidos pela Portaria ($6,0 \leq \text{pH} \leq 9,5$), representando 35,71% dos valores, ver Figura 8 (a).
- Os valores de sólidos dissolvidos totais estão todos a seguir do especificado pela Portaria ($\text{SDT} \leq 1000\text{mg/L}$), Figura 8 (c).
- Todos os valores de cor aparente mantiveram-se a seguir do máximo permitido, que é de 15uC, conforme Figura 8 (e).
- Para o parâmetro turbidez cinco valores estiveram acima do máximo estabelecido pela norma ($\text{Tb} \leq 5\text{uT}$), significa que 25,00% das amostras coletadas não atenderam à norma, Figura 8 (f).
- Todos os valores obtidos de cloreto estiveram a seguir do máximo permitido pela Portaria ($\text{Cloreto} \leq 250\text{mg/L}$), Figura 8 (g).
- Para o parâmetro dureza todos os valores obtidos também situaram-se a seguir do máximo permitido pela Portaria ($\text{Dureza} \leq 500\text{mg/L}$), Figura 8 (h).
- No parâmetro microbiológico que indica contaminação - *Escherichia coli* (E.coli), todos os valores observados ficaram acima do permitido, que é a ausência em 100mL deste indicador de contaminação exclusivamente fecal.
- Para o indicador de contaminação coliformes totais, a Portaria do MS 518/04 admite um valor positivo para sistemas que analisem menos de 40 amostras mensais, logo, como na água de chuva analisada todas as amostras apresentaram contaminação por coliformes totais, há uma desconformidade neste parâmetro.
- Vinte por cento (20%) dos valores obtidos para determinação da concentração de bactérias heterotróficas estão acima dos padrões de potabilidade que é de, no máximo, 500 UFC/mL, conforme indicado na Figura 8 (k).



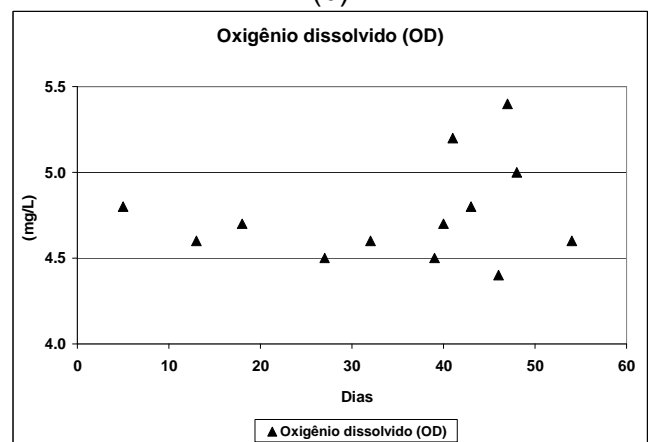
(a)



(b)

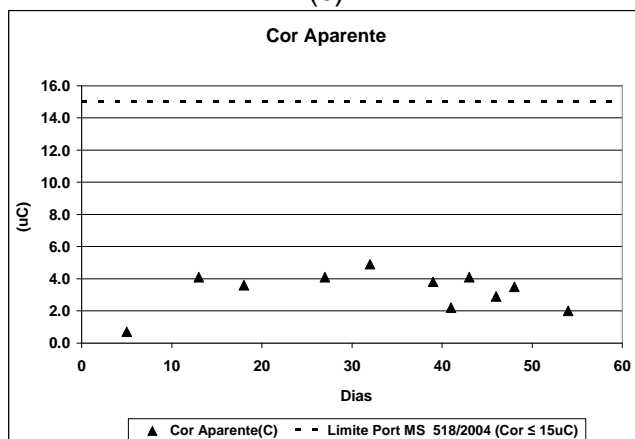


(c)

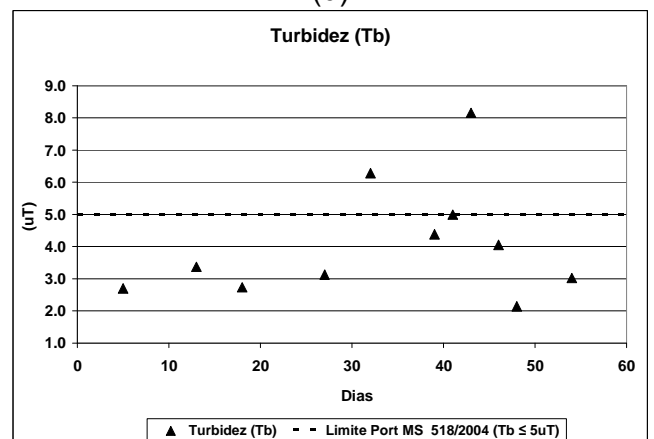


▲ Oxigênio dissolvido (OD)

(d)



(e)



(f)

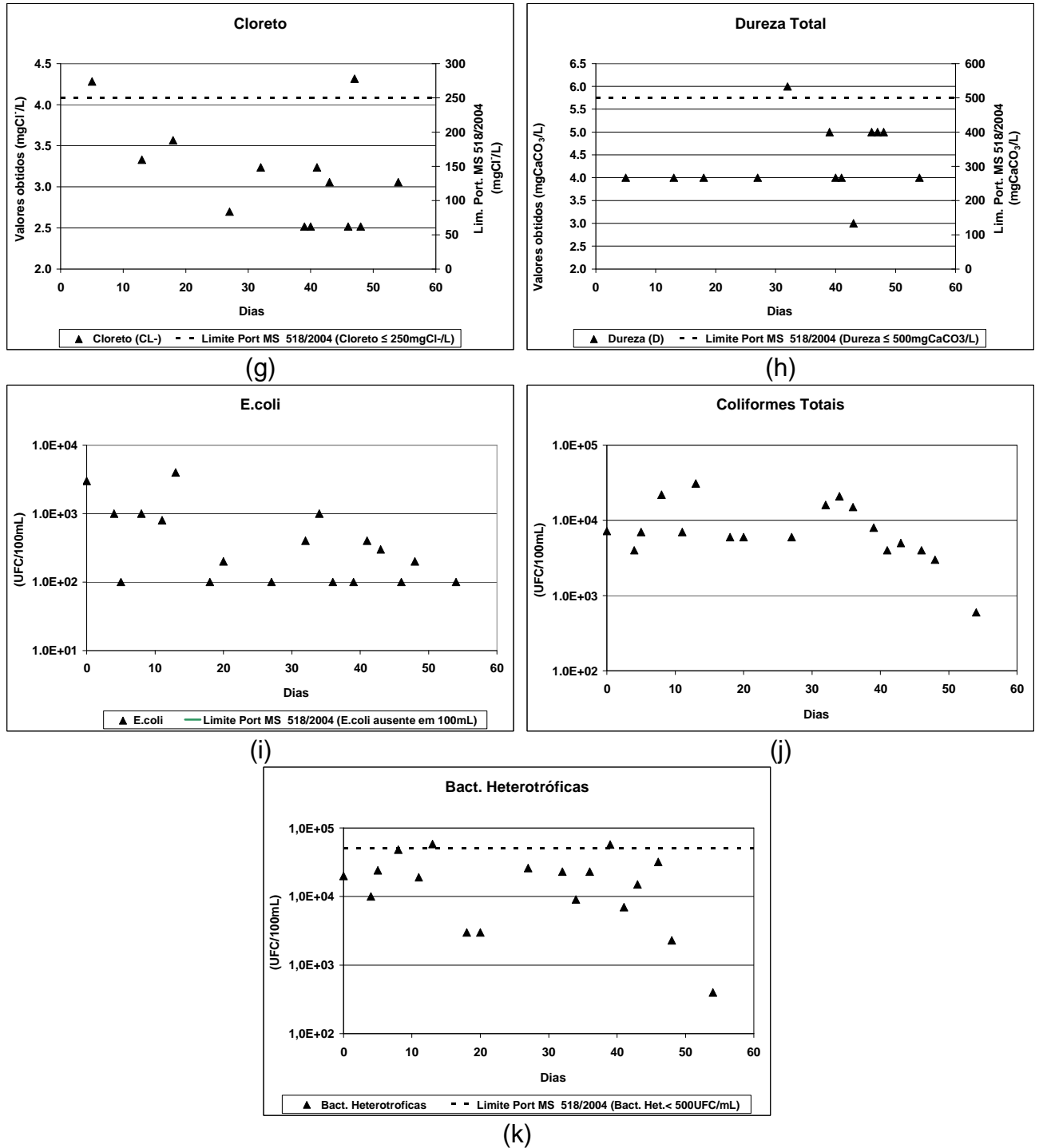


Figura 8. Gráficos a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, e k dos dados de água de chuva da segunda etapa.

Novamente, ressalta-se que dentre os parâmetros analisados, a Portaria do Ministério da Saúde (MS) nº 518/2004 não estabelece padrões para a temperatura e oxigênio dissolvido.

5.1.3 Comparação estatística entre os dados da primeira e segunda etapa de análises.

Para que se verifique a diferença entre os dados obtidos nas duas etapas distintas de análises, é necessária a utilização de testes estatísticos.

O teste utilizado foi o “testes de t” para duas amostras independentes, pois, como já exposto, as duas fases de avaliação de cada parâmetro, aconteceram em intervalos de tempo diferentes.

Considerando o período do ano de maior de ocorrência de precipitações pluviais, na cidade de Maceió, compreendido entre os meses de Abril a Agosto, pode-se considerar que a primeira etapa de análise da água de chuva ocorreu dentro do período chuvoso. Já a segunda etapa de análises ocorreu no final do período chuvoso e início da época com pouca incidência de chuvas.

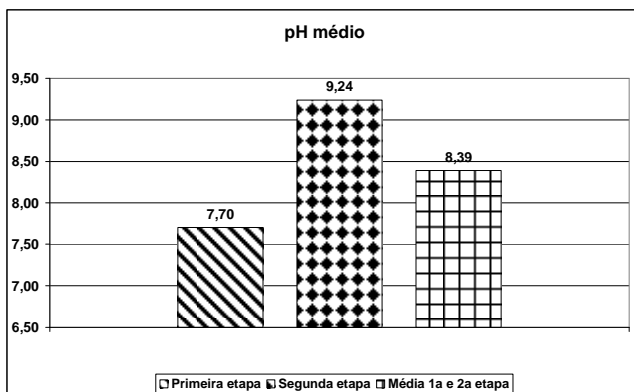
Tabela 9. Quadro resumo do teste de t para cada variável, com $\alpha = 5\%$.

Variáveis Comparadas	Rejeita H_0	Conseqüência
Temp 1 vs Temp 2	Não	Não difere
pH 1 vs pH 2	Não	Não difere
Cor 1 vs Cor 2	Não	Não difere
Turb 1 vs Turb 2	Sim	Difere
SDT 1 vs SDT 2	Sim	Difere
OD 1 vs OD 2	Não	Não difere
CL ⁻ 1 vs CL ⁻ 2	Não	Não difere
Dureza 1 vs Dureza 2	Sim	Difere
E.coli 1 vs E.coli 2	Sim	Difere
CT 1 vs CT 2	Não	Não difere
BH 1 vs BH 2	Não	Não difere

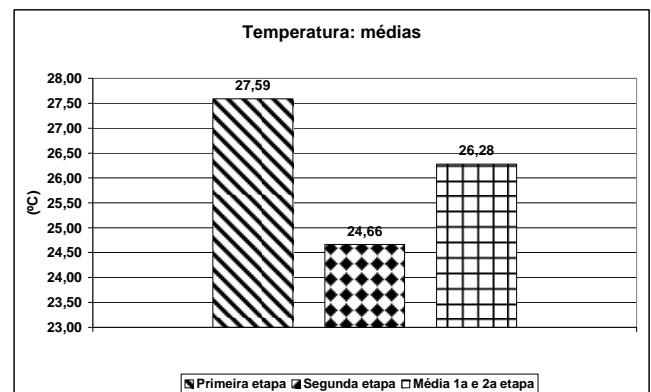
Na Tabela 9 os resultados quanto à aceitação ou não da hipótese nula que é a igualdade das médias, em cada etapa de análise, para cada parâmetro. Adotou-se um nível de significância de 5%.

Dentro do nível de significância adotado, os dados dos parâmetros analisados que apresentaram diferenças significativas considerando as duas épocas distintas de coleta das amostras, foram os seguintes: turbidez, sólidos dissolvidos totais, dureza e *E.coli*.

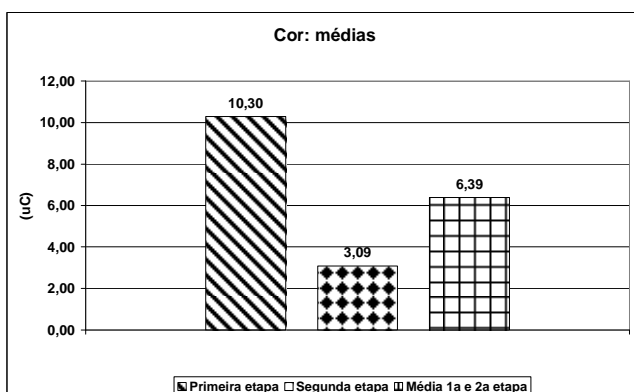
Com os dados da primeira e segunda etapa de análise de água de chuva, podem-se estabelecer valores médios para cada parâmetro analisado da água de chuva na cidade de Maceió. Na Figura 9, a seguir, estão os gráficos com as médias dos valores da primeira e segunda etapa e média entre esses dois valores.



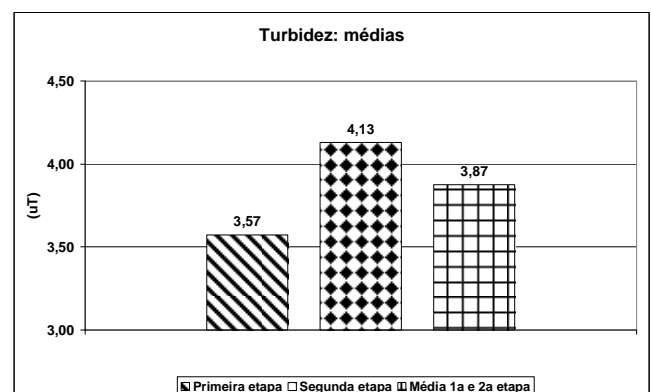
(a)



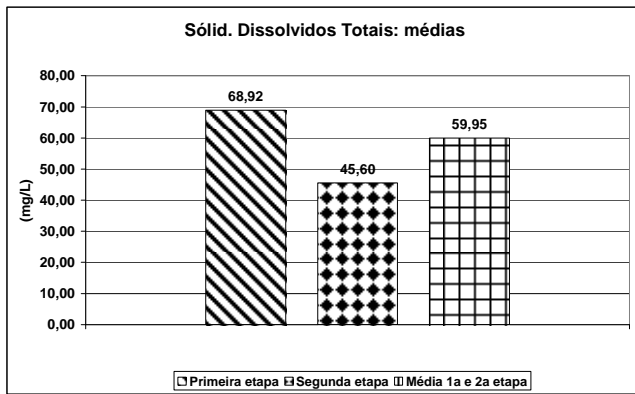
(b)



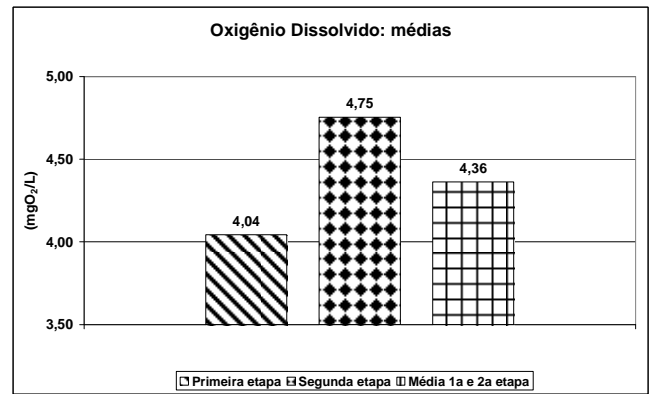
(c)



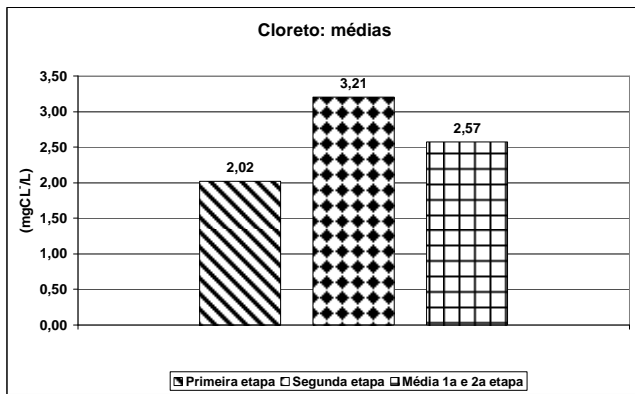
(d)



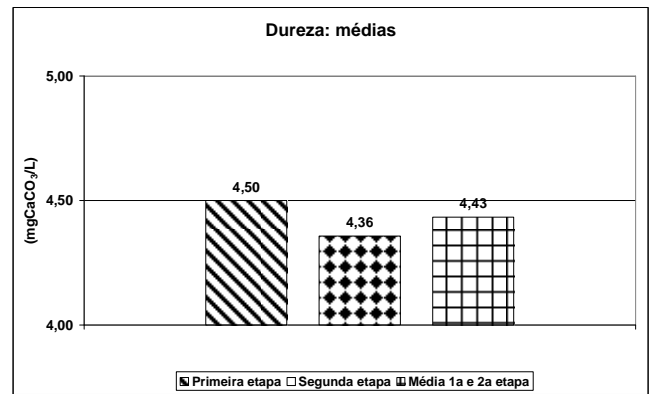
(e)



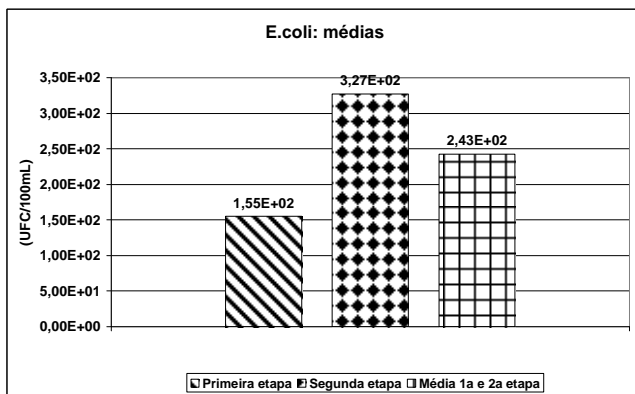
(f)



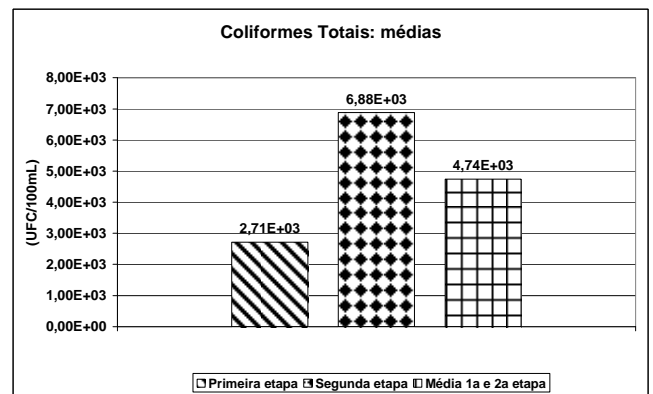
(g)



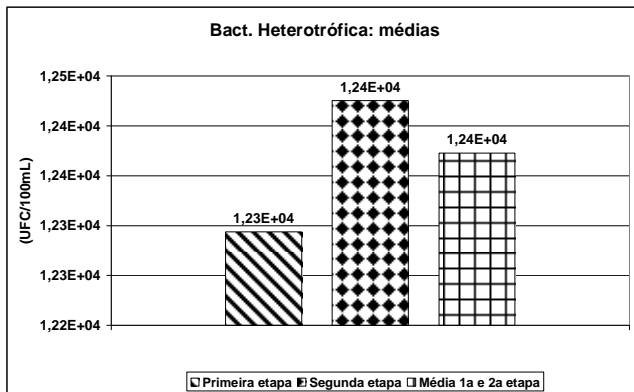
(h)



(i)



(j)



(k)

Figura 9. Gráficos a, b ,c ,d ,e ,f ,g ,h ,i , j, e k com os valores médios das duas etapas e média geral.

5.1.4 Comparativo dos dados desta pesquisa com outros da literatura

Sob uma óptica muito restritiva e considerando que os fatores ambientais, presença marcante ou não de fauna e flora no entorno, condições climáticas, estrutura de captação e armazenamento, têm influência decisiva nas características físico-químicas da água de chuva, os dados das análises até aqui apresentados só poderiam ser confrontados, com outros obtidos sob as mesmas e exatas condições. Todavia, durante o desenvolvimento deste estudo, o autor, não teve conhecimento de outro estudo similar nas mesmas condições aqui mostradas, nem sequer outro estudo em condições distintas e desenvolvido na cidade de Maceió.

Considerando o exposto acima, pode-se estabelecer um comparativo dos dados obtidos nesta pesquisa, com dados apresentados em outras pesquisas similares de análise da qualidade da água de chuva. Para tal comparação, serão apresentados valores médios dos parâmetros em comum, entre esta pesquisa e outras da literatura. A seguir, na Tabela 10, apresenta-se a estatística descritiva de todos os dados da primeira e segunda etapa da análise da água de chuva.

Tabela 10. Estatística descritiva dos dados da primeira e segunda etapa da análise da água de chuva.

Parâmetro	Unidade	Média*	Min	Max	Desvio Padrão	C.V	n
pH	-	8,39	6,32	10,06	1,14	0,14	29
(T)	°C	26,28	22,70	30,80	2,46	0,09	29
(C)	uC	6,39	0,30	17,40	4,62	0,72	35
(Tb)	uT	3,87	1,95	8,16	1,68	0,43	35
(SDT)	mg/L	59,95	10,00	198,00	48,37	0,81	26
(OD)	mg/L	4,36	3,10	5,40	0,68	0,16	29
(Cl)	mgCl/L	2,57	0,48	4,32	1,01	0,39	30
(D)	mgCaCO ₃ /L	4,43	3,00	7,00	0,94	0,21	30
E.coli	UFC/100mL	2,43X10 ²	2,00	4,00X10 ³	8,73X10 ²	3,60	30
(CT)	UFC/100mL	4,74 X10 ³	6,00X10 ²	3,10X10 ⁴	7,04X10 ³	1,48	30
(BH)	UFC/100mL	1,24 X10 ⁴	4,00X10 ²	5,80X10 ⁴	1,70X10 ⁴	1,37	30

*Média aritmética calculada para os parâmetros físico-químicos e geométrica para os microbiológicos

Na seleção dos trabalhos sobre análise de qualidade de água de chuva, foram escolhidos os que apresentavam análises da água de chuva armazenada em algum tipo de reservatório, após a captação em determinada superfície, ou seja, trabalhos que possuíssem a máxima similaridade de condições de captação e armazenamento com o presente estudo.

Foram escolhidos três trabalhos internacionais: Abdulla & Al-Shareef (2009) na Jordânia, Sazakli et al. (2007) na Grécia e Coombes (2002) et al. apud Spinks et al. (2003) na Austrália. Dentre os trabalhos nacionais selecionou-se: Bastos (2007) em Vitória/ES e Jaques (2005) em Florianópolis/SC.

Abdulla & Al-Shareef (2009) estudaram aspectos qualitativos e quantitativos da utilização da água de chuva em doze cidades na Jordânia. As amostras para as análises qualitativas da água foram coletadas de sessenta cisternas em duas localidades diferentes. Comparando-se os resultados desses autores, destacam-se, na Tabela 11, os altos valores de dureza e sólidos dissolvidos totais, além da baixa concentração de coliformes totais encontrados nas cisternas.

Bastos (2007) caracterizou a água de chuva, captada em Vitória/ES, e realizou um tratamento com um sistema de filtração lenta e desinfecção UV. Comparando os resultados dessa autora, percebe-se, na Tabela 11, uma semelhança nos valores médios de pH e cor aparente, em outros parâmetros, como sólidos dissolvidos totais e nos microbiológicos nota-se uma diferença mais pronunciada, em relação aos dados deste trabalho.

Em um estudo realizado por Sazakli; Alexopoulos e Leotsinidis (2007) durante três anos na ilha de Kefalonia na Grécia estudou-se a qualidade da água de chuva coletadas das encostas revestidas de concreto e transportada até um conjunto de vinte e três tanques de argamassa armada. Como se pode perceber pela Tabela 11, essa água possui a menor concentração de coliformes fecais, dentre os dados apresentados.

Jaques (2005) estudou em Florinópolis/SC, entres outros aspectos, a qualidade da água de chuva proveniente de dois tipos de telhados, um coberto com telhas de amianto e outro com telhas cerâmicas, além da qualidade da água armazenada em reservatórios após seu escoamento num telhado com telhas de zinco. Na Tabela 11, estão apresentados a média dos parâmetros estudados na água armazenada na cisterna, comparando-se com a presente pesquisa, vê-se que os coliformes totais estão na mesma ordem de grandeza, apesar da superfície de captação ser diferente.

Coombes et al. apud Spinks et al. (2003) estudaram na Austrália a qualidade da água de chuva, traços de elementos e microbiologia, em diferentes pontos de amostra (telhado, parte superior do tanque de armazenamento e parte inferior do tanque de armazenamento). Na Tabela 11 é apresentada a média dos parâmetros, amostrados na parte inferior do tanque de armazenamento. Percebe-se uma baixa concentração de indicadores de contaminação fecal, comparando-se com os valores encontrados no presente trabalho.

Tabela 11. Comparação de parâmetros médios de análises de água de chuva em várias pesquisas.

Parâmetro	Unid.	Este trabalho	Abdulla & Al-Shareef (2009)	Bastos (2007)	Sazakli et al. (2007)	Jaques (2005).	Coombes et al. apud Spinks et al. (2003)
pH	-	8,39	7,4	6,8	8,31	5,13	-
(T)	°C	26,28	18,6	26,9	-	-	-
(C)	uC	6,39	-	7,9	-	-	-
(Tb)	uT	3,87	-	0,83	-	4,70	-
(SDT)	mg/L	59,95	270,2	0,18	-	-	-
(OD)	mg/L	4,36	-	-	-	-	-
(CL⁻)	mgCl ⁻ /L	2,57	0,055	9,1	7,0	13,95	-
(D)	mgCaCO ₃ /L	4,43	140,3	5,9	40,0	11,98	-
E.coli	UFC/100mL	2,43X10 ²	-	135,3	0,0	1,31x10 ¹	20
(CT)	UFC/100mL	4,74X10 ³	33,0	551,4	11,0	2,49x10 ³	166
(BH)	UFC/100mL	1,24X10 ⁴	-	-	-	-	331

5.1.5 Considerações sobre utilização da água de chuva para fins não potáveis

Este item trata sobre algumas possibilidades de utilização da água de chuva analisada, para alguns fins não potáveis, considerando os aspectos físico-químicos e biológicos apresentados nas análises anteriores.

Dentre os diversos fins não potáveis, para os quais se podem destinar a água de chuva, foram destacados dois, a utilização como água de resfriamento e geração de vapor em caldeiras, considerando aspectos técnicos definidos em bibliografia ou leis sobre cada tema. Esses usos são particularmente interessantes, pois, não necessitam de água bruta com boa qualidade microbiológica.

5.1.5.1 Utilização da água de chuva em caldeiras e águas de resfriamento.

A utilização da água de chuva nos processos industriais pode ser uma alternativa interessante para auxiliar na conservação de água na planta industrial. Seu aproveitamento torna-se tecnicamente viável, quando os requisitos de água para o processo são atendidos pela água de chuva.

Dentre os vários processos industriais o resfriamento e a geração de vapor em caldeiras é um dos que não apresentam restrições quanto à qualidade microbiológica da água. Na Tabela 12, adaptada de Eckenfelder, Jr. et al. (2008), são apresentados alguns valores ou faixas limites para os parâmetros estudados na água de chuva como requisitos de qualidade para água de resfriamento e geração de vapor na caldeira.

Tabela 12. Limites máximos ou faixa de variação de alguns parâmetros para água de resfriamento e caldeiras. (Adaptada de Eckenfelder, Jr.; Ford; Englande, Jr. (2008)).

Parâmetro	Unidade	Pressão de trabalho na caldeira				Água de resfriamento
		0-150 psi	150-250 psi	250-400 psi	> 400 psi	
Cl ⁻	mg/L	-	-	-	-	250
(SDT)	mg/L	500-3000	500-2500	100-1500	50	1300
(D)	mg/L	80	40	10	2	-
pH	-	8,0	8,4	9,0	9,6	6,5-7,5
(Tb)	uT	20	10	5	1	50
(OD)	mg/L	1,4	0,1	0	0	-

Com os resultados desta pesquisa, apresentados na Tabela 10 e Figura 9 e considerando os requisitos de água na Tabela 12, pode-se verificar que é possível a utilização da água de chuva estudada em caldeiras com pressões até 250psi, pois, todos os parâmetros estudados que se encontram elencados na Tabela 12 estão dentro da faixa ou a seguir do valor máximo recomendado por Eckenfelder, Jr. et al. (2008), excetuando-se o pH e o oxigênio dissolvido.

No caso do oxigênio dissolvido adequações devem ser feitas quanto à concentração de oxigênio dissolvido, como a adição de algum seqüestrante de O₂, pois a alta concentração deste elemento é a principal causa de corrosão segundo. Para correção do pH deve-se efetuar uma neutralização, pois, altos valores de pH podem gerar incrustações nas tubulações da caldeira (Kemmer, 1988).

No caso do aproveitamento como água de resfriamento deve-se efetuar uma neutralização, visto que, o valor máximo alcançado no pH (10,06) excede a faixa recomendada (8,4 a 9,0). O aproveitamento da água de chuva estudada em caldeiras com pressões de trabalho superiores há 250psi, pode se tornar oneroso, pois, intervenções serão necessárias para enquadrar todos os parâmetros.

Cabe ressaltar que, as considerações anteriores são indicativas de uma possível utilização da água de chuva em caldeiras ou como água de resfriamento e que análises de outros parâmetros são necessárias.

5.2 Resultados da operação do filtro lento.

Este capítulo apresentará os resultados da etapa de filtração lenta e é dividido em três sub-tópicos. O primeiro aborda os aspectos construtivos do filtro lento, o segundo a operação do filtro e o terceiro os aspectos microbiológicos relacionados à filtração lenta.

5.2.1 Aspectos construtivos do filtro lento em areia.

Neste sub-tópico são apresentados os resultados das lavagens e ensaios realizados como tentativa de remoção do material fino aderido ao grão de areia, pois, devido a isso, a água potável tinha sua turbidez aumentada, quando em contato com a areia.

Apesar da aparente facilidade de construção dos filtros lento em areia, principalmente, pelo fato dos materiais empregados serem de fácil acesso, alguns aspectos importantes precisam ser observados durante a construção do filtro lento. Um dos mais importantes é a qualidade da areia empregada como meio filtrante.

Como exposto no capítulo da metodologia, subitem 4.4.1, a areia utilizada como meio filtrante apresentou certa quantidade de material fino, devido a isso, no início do posicionamento das camadas constituintes do filtro, a água límpida e potável, passou a apresentar turbidez nitidamente elevada. Segue a seguir a Figura 10 que retrata essa condição.



Figura 10. Primeiro enchimento do filtro lento.

Apesar da condição apresentada na Figura 10, o filtro foi colocado em operação. Contudo, durante a operação inicial, passado um dia com o filtro em funcionamento, verificou-se que a água de saída apresentava turbidez, visualmente, muito maior que a água de entrada (água de chuva), levando a uma paralisação da operação para uma nova lavagem da areia e da camada suporte.

Após a segunda lavagem, a montagem do filtro foi realizada seguindo os mesmos procedimentos descritos anteriormente. Durante o início do posicionamento da areia, após a manta geotêxtil, verificou-se novamente, que apesar da execução da segunda lavagem, a areia continuava conferindo à água uma coloração turva, indicando a presença de materiais finos, como a argila, por exemplo. Retirou-se toda a areia do filtro, com a finalidade de se buscar formas mais eficiente de lavá-la. Para tanto, antes de efetuar uma terceira lavagem de toda a areia utilizada no filtro, cerca de 200Kg de areia com umidade ambiente, foram realizados alguns ensaios na tentativa de se avaliar as impurezas presentes na areia.

Conforme descrição do método apresentado no item 4.4.2, foi realizado uma outra modalidade de lavagem, em amostras do leito filtrante. A Figura 11 mostra da

esquerda para direita, os efluentes obtidos na lavagem seqüencial da areia com água destilada. No primeiro e segundo efluente, primeiro e segundo becker, da esquerda para a direita, não foi possível determinar a turbidez com o turbidímetro Policontrol AP 2000 calibrado até o padrão de 1000uT, ou seja, em ambos a turbidez estava acima de 1000uT. Na terceira água de lavagem (terceiro becker), a turbidez alcançou o valor de 542uT. O quarto efluente, após a lavagem, apresentou uma turbidez de 237uT. Um segundo ensaio foi realizado, com outra amostra de areia, com o qual se obtiveram resultam muito semelhantes ao primeiro. Verifica-se na Figura 11 que o solo em questão apresenta uma fração de finos considerável.



(a) (b) (c) (d)

Figura 11. Efluentes da lavagem seqüencial da areia com á água destilada. (a) e (b) efluentes com turbidez elevada, maior que 1000uT; (c) turbidez de 542uT; (d) turbidez de 247uT

Apresenta-se na Figura 12, o resultado da lavagem de amostras da areia, com soluções de dispersantes químicos, neste caso o hidróxido de sódio (NaOH). Esse ensaio possuiu com condução semelhante ao retratado na Figura 11, conforme item 4.4.2.



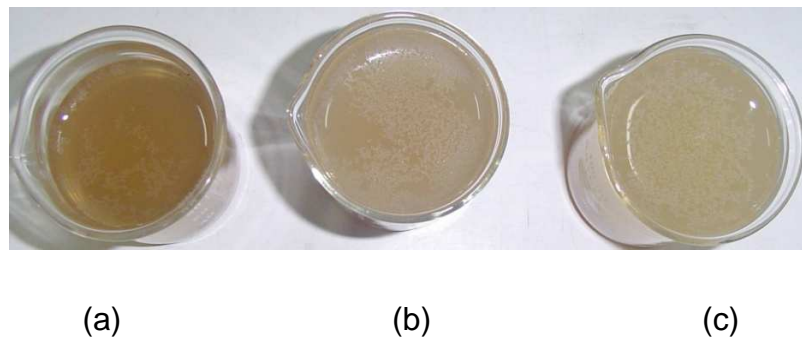


Figura 12. Resultados da lavagem seqüencial da areia com NaOH. Da esquerda para a direita: primeira, segunda e terceira lavagem.

Após as duas lavagens das porções da areia, com água destilada e com a solução de NaOH, ver Figura 11 e 12, verificou-se que a remoção dos finos presentes, se deu de maneira similar em ambos os experimentos.

Os resultados da etapa de lavagem da areia, através da utilização da betoneira, conforme descrito no item 4.4.2, seguem na Figura 13, onde são exibidas amostras da água retirada da betoneira, após a agitação da areia com água límpida.

Em todo o processo de lavagem na betoneira foram gastos aproximadamente 720L de água potável, para a mesma amostra de areia e mesmo assim, o efluente resultante da mistura resultou no mostrado na Figura 13c. Esse volume de água gasto pode ser considerado elevado, pois equivale a mais que duas vezes o potencial volume produzido num dia de operação do filtro lento, considerando a taxa filtração inicial adotada (item 4.2).

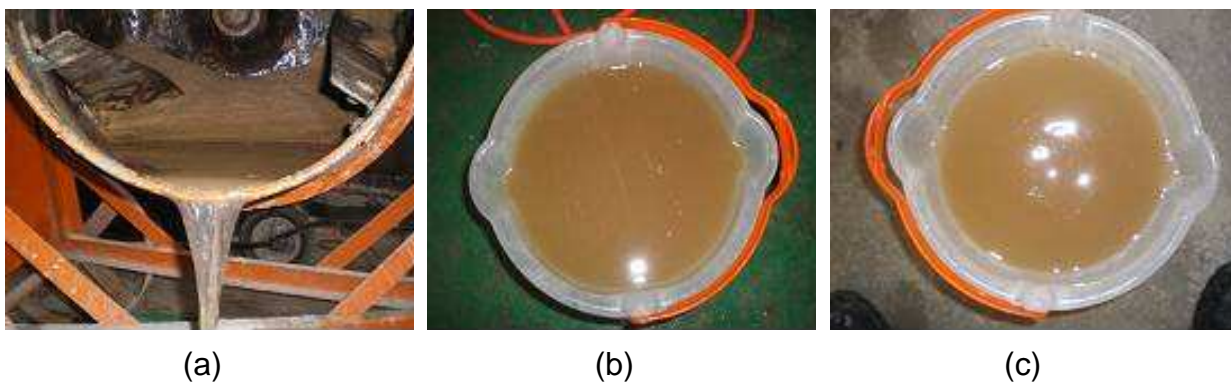


Figura 13. (a) Remoção da água após lavagem na betoneira; (b) água retirada após a quinta betonada; (c) água retirada na última betonada.

Diante da pouca eficiência dos métodos de limpeza da areia descritos anteriormente, o filtro lento foi colocado em operação. O intuito foi observar se a areia seria limpa pela passagem da água no leito filtrante, durante o período de maturação, o qual seria considerado completo, quando a turbidez de saída estivesse da mesma ordem de grandeza com relação à de entrada.

5.2.2 Características do leito filtrante e camada suporte

A curva granulométrica média, mostrada na Figura 14, foi obtida com base nos métodos descritos no item 4.2.1. A partir da curva granulométrica da areia, determinou-se o diâmetro efetivo (D.E) de 0,162mm e um coeficiente de uniformidade (C.U) de 3,7. O valor C.U está um pouco acima do preferível recomendado por Longsdon (2008) ($C.U < 3$), porém, dentro do aceitável pelo mesmo autor ($C.U < 5$), o valor do D.E está dentro da faixa estabelecida pelo referido autor ($0,15 < D.E < 0,3\text{mm}$). Ainda com o auxílio da curva da Figura 14, decidiu-se que a areia que compõe o meio filtrante terá grãos dentro da faixa granulométrica de 1,18-0,15mm, assim, decidiu-se fazer um peneiramento para separação do material fora da faixa desejada.

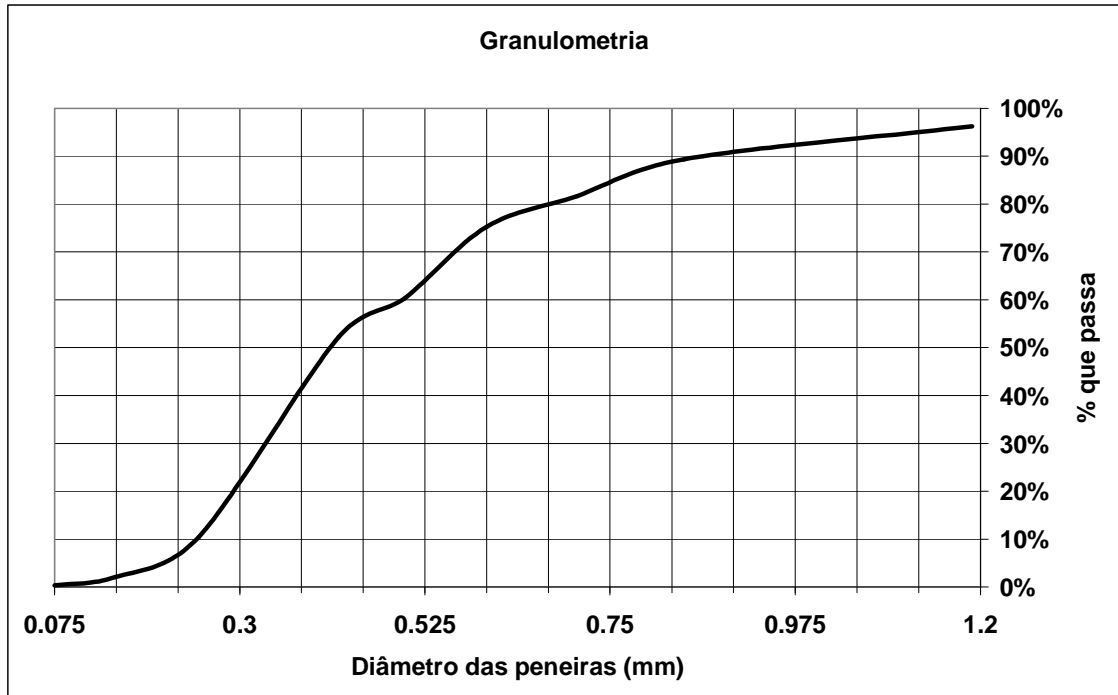


Figura 14. Curva granulométrica média do meio filtrante.

O meio filtrante é composto por uma camada de 45cm de areia fina passante na peneira no16 (#1,18mm) e retida na peneira no 100 (#0,15mm). Segue, na Figura 15, fotografias do peneirador utilizado e da areia após o peneiramento.



(a)



(b)

Figura 15. (a) Peneirador elétrico utilizado no peneiramento de toda a areia; (b) areia peneirada.

O resultado da presença de matéria orgânica na areia, indicou que, em média, 50g de amostra da areia, a matéria orgânica corresponde a 0,17% da massa.

A camada suporte é composta de pedriscos com granulometria variando de acordo com a curva granulométrica mostrada na Figura 16. A curva a seguir foi obtida de maneira semelhante a curva granulométrica da areia de acordo com a NBR7181:1984 (Solo-Análise granulométrica) adicionando-se a peneira de 6,3mm à série de peneiramento grosso.

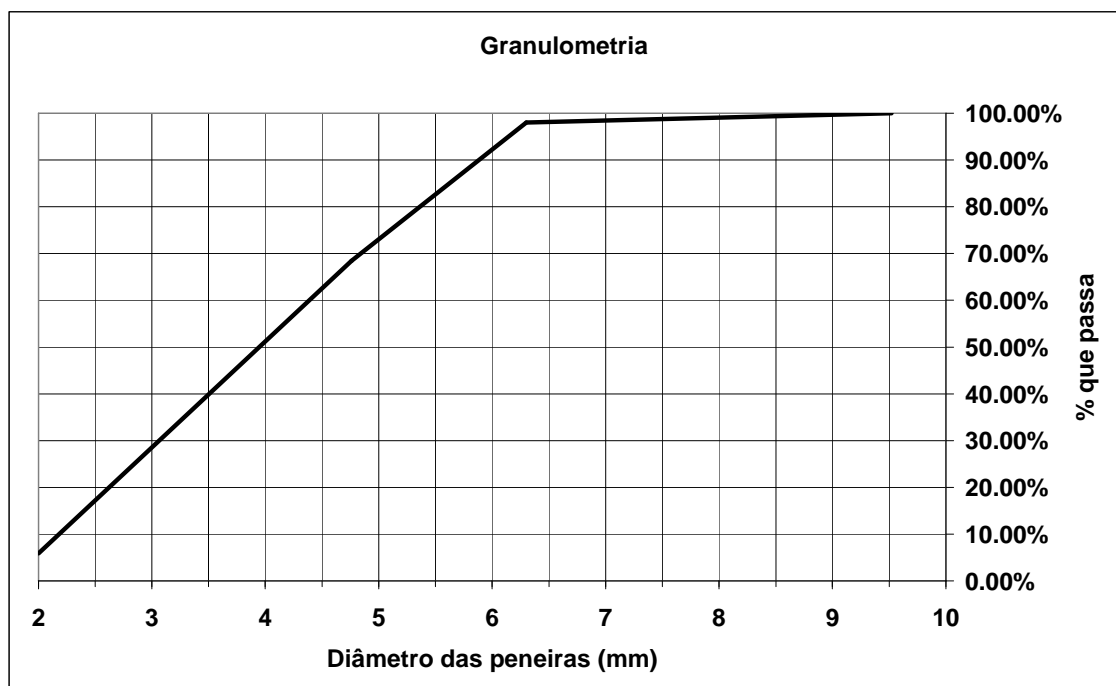


Figura 16. Curva granulométrica média da camada suporte.

5.2.3 Operação do filtro lento

A operação do filtro lento iniciou com uma taxa de filtração de $1,27\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, como indicado no item 4.2. Durante os primeiros dias ocorreu apenas o monitoramento da turbidez de saída do filtro, visto que, inicialmente, devido a presença de materiais finos na areia, a água filtrada apresentava uma turbidez muito maior que a de entrada (água de chuva). A água de chuva não apresentou turbidez elevada durante a primeira análise da qualidade da água de chuva, máxima de $8,16\text{uT}$ e média de $4,13\text{uT}$, de acordo com os resultados apresentados no item

5.1.2. Portanto, como as condições de captação foram as mesmas, esperava-se que o aumento da turbidez na saída do filtro devia-se, exclusivamente, às impurezas na areia, o que adiante poderá ser confirmado.

A Figura 17 mostra duas amostras de água retiradas após o primeiro dia de operação. A mais turva (esquerda) é proveniente da saída do filtro e encontra-se bem turva com 76uT devido à passagem pela areia. A amostra mais clara é a água de entrada (água de chuva) no filtro lento e visualmente percebe-se uma turbidez bem baixa.



(a)

(b)

Figura 17. Turbidez no primeiro dia de operação: (a) Efluente do filtro; (b) afluente.

O monitoramento de todos os parâmetros de entrada e saída no filtro lento, iniciou-se quando a turbidez de saída apresentou a mesma ordem de grandeza da de entrada, indicando a limpeza das impurezas no leito filtrante. O tempo para tal foi de vinte e dois dias, onde, a turbidez de entrada era de 5,66uT e a de saída 7,25uT.

Este pequeno incremento na turbidez da água de saída é aceitável, do ponto de vista prático para esta pesquisa, pois, dentre os parâmetros estudados da água de chuva os que necessitam de uma melhora significativa, são os microbiológicos.

A Tabela 13 apresenta a estatística descritiva dos dados de saída do filtro lento, pode se perceber que, dentre os parâmetros físico-químicos os que apresentaram as maiores variabilidades em ordem decrescente foram: a cor aparente, a turbidez, os sólidos dissolvidos, os cloretos e a dureza. O total de dias de monitoramento de todos os parâmetros da referida Tabela, descontados o período de maturação, foi de cinquenta e quatro dias.

Tabela 13. Estatística descritiva dos dados do efluente na saída do filtro lento.

Parâmetro	Unidade	Média*	Min	Max	Desvio Padrão	C.V	n
pH	-	9,71	9,03	10,58	0,41	0,04	13
(T)	°C	24,05	22,60	25,60	0,82	0,03	13
(C)	uC	1,81	0,30	4,50	1,09	0,60	19
(Tb)	uT	5,76	3,26	15,20	3,04	0,53	19
(SDT)	mg/L	63,2	36,00	90,00	18,55	0,29	10
(OD)	mg/L	4,95	4,60	5,30	0,24	0,05	13
(Cl)	mgCl/L	3,55	2,70	5,71	0,81	0,23	14
(D)	mgCaCO ₃ /L	16,96	13,00	24,00	3,09	0,18	14
E.coli	UFC/100mL	1,00X10 ²	1,0X10 ¹	2,0X10 ²	5,1X10 ¹	1,39	18
(CT)	UFC/100mL	6,00X10 ²	1,0X10 ¹	1,7X10 ³	4,2X10 ²	1,03	18
(BH)	UFC/100mL	4,00X10 ²	1,0X10 ¹	3,5X10 ³	8,7X10 ²	0,84	18

Como exposto na metodologia, os parâmetros microbiológicos a cor e a turbidez foram avaliados em quatro pontos: entrada, segunda torneira intermediária (2aT), terceira torneira intermediária (3aT) e saída. Os demais parâmetros foram monitorados na entrada e na saída.

A seguir são apresentadas as discussões sobre cada parâmetro avaliado na operação do filtro lento.

5.2.3.1 pH

A Figura 18 mostra os valores de pH na entrada e saída do filtro lento. Os valores de entrada correspondem à segunda fase de análise da água de chuva. Percebe-se pela referida Figura, a pouca variação entre os valores de entrada e saída. Considerando as médias da água de entrada e saída no filtro lento, Figura 18, percebe-se que o aumento de pH foi realmente discreto.

Cipriano (2004) e Bastos (2007) também verificaram discretas elevações na média do pH da água de saída no filtro lento.

Na Figura 19, pode-se observar a pequena magnitude na alteração do valor médio do pH do efluente, comparando-se com a entrada.

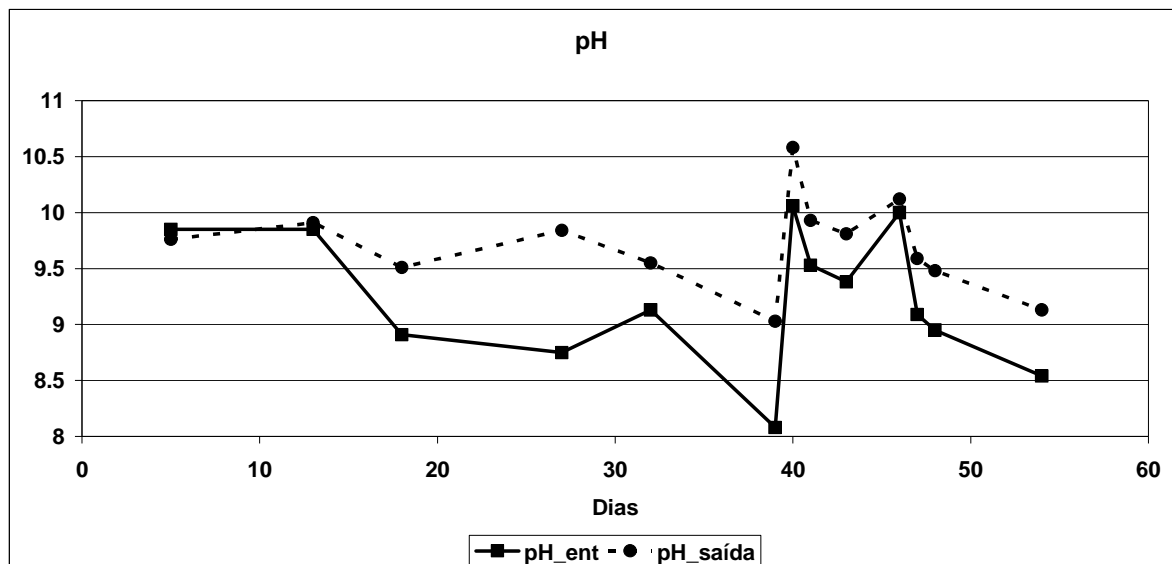


Figura 18. Variação temporal do pH no filtro lento.

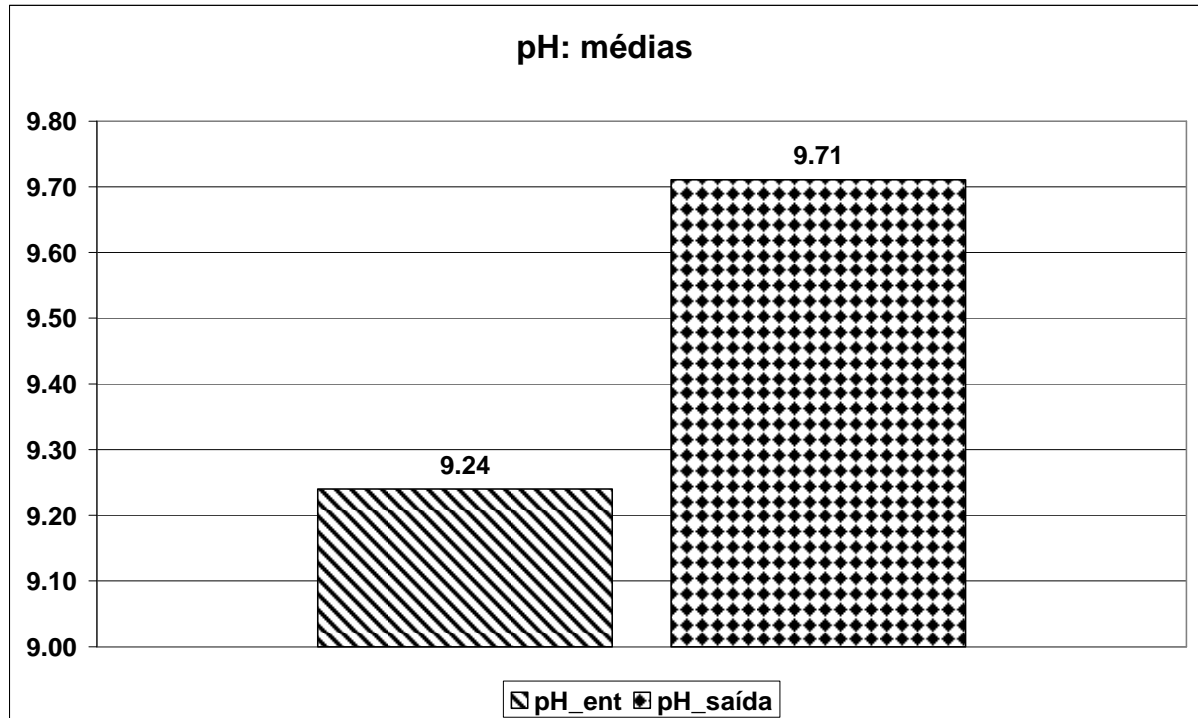


Figura 19. Médias do pH da água de entrada e saída no filtro lento

5.2.3.2 Temperatura

A variação de temperatura durante a filtração lenta é mostrada na Figura 20. É um parâmetro dependente das condições climáticas e ambientais, e considerando tal afirmação, a temperatura de entrada foi maior que a de saída, em boa parte dos dias, pelo fato da caixa d'água de armazenamento estar em constante exposição à radiação solar, enquanto que o filtro lento totalmente abrigado em recinto coberto.. A Figura 21 mostra os valores das médias da temperatura das águas de entrada e saída do filtro lento.

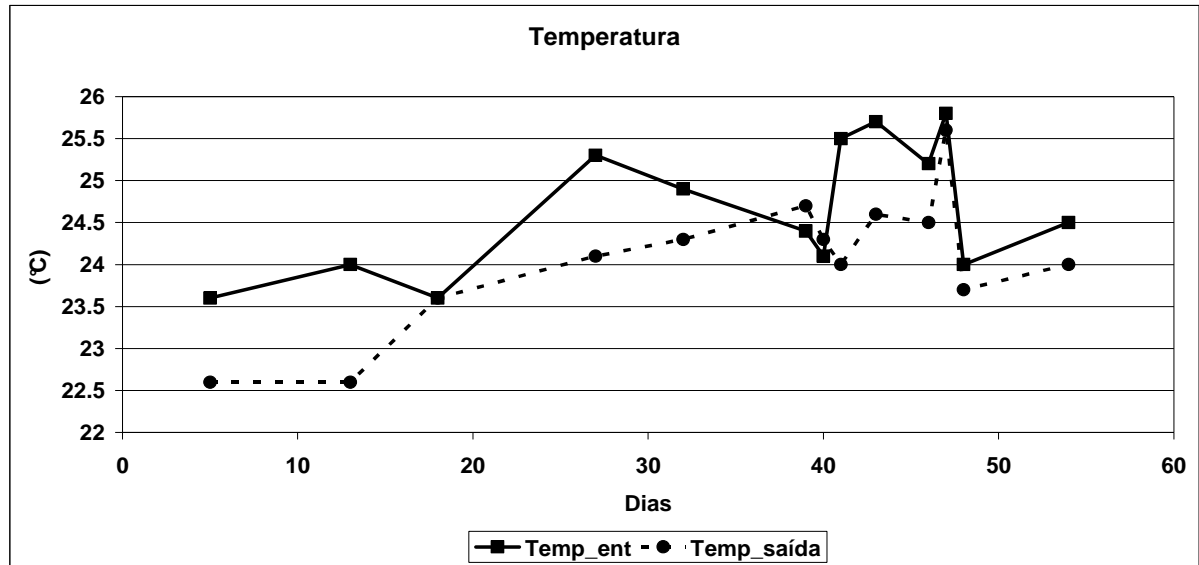


Figura 20. Variação temporal da temperatura na filtração lenta.

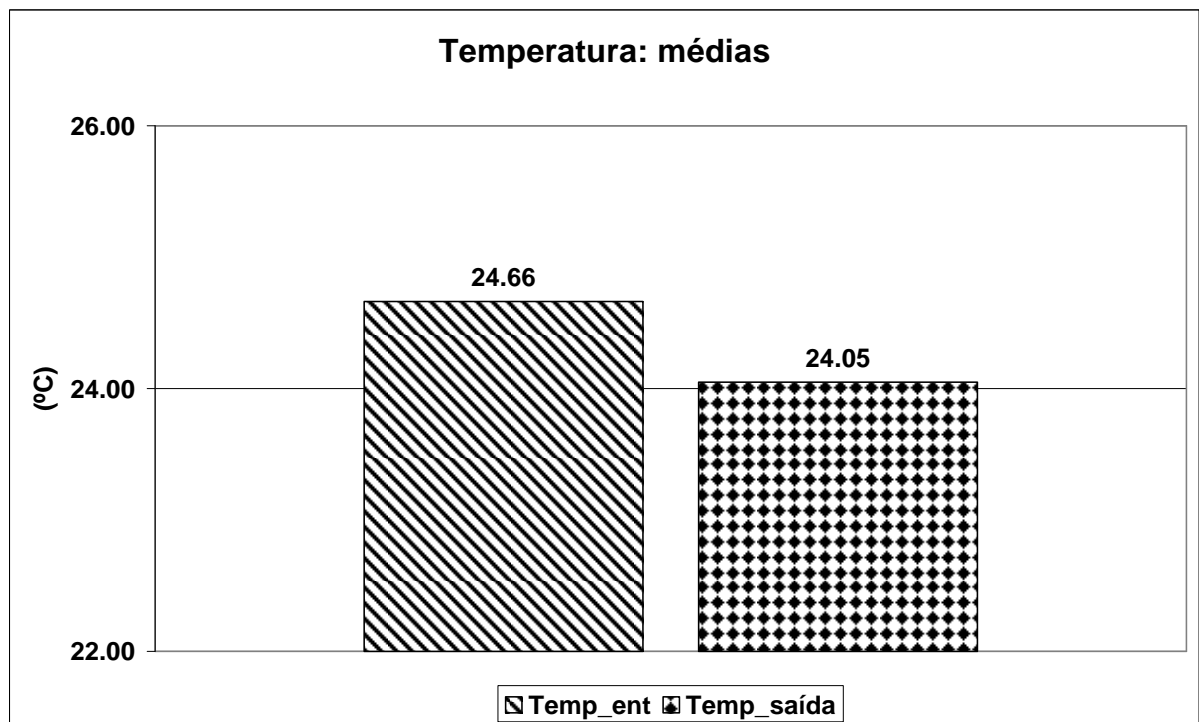


Figura 21. Médias da temperatura da água de entrada e saída no filtro lento

5.2.3.3 Oxigênio dissolvido

A Figura 22 apresenta os dados de oxigênio dissolvidos do afluente e efluente do filtro lento. A concentração de oxigênio dissolvido presente na água de entrada está de acordo com o mínimo recomendado por Huisman & Wood (1974), que

indicaram um limite inferior de 3mg/L de oxigênio no afluente, para que condições anaeróbias sejam evitadas em todo o filtro.

A concentração de oxigênio dissolvido do efluente é afetada devido ao arranjo do filtro que deve possuir a saída aberta à atmosfera, através de um vertedor que assegure a submersão do leito filtrante (LIBÂNIO, 2005). Além disso, o vertedor proporciona uma aeração na água de saída, fazendo com que o oxigênio seja absorvido, liberando os gases dissolvidos que podem conferir gosto e odor desagradáveis à água (HUISMAN & WOOD, 1974).

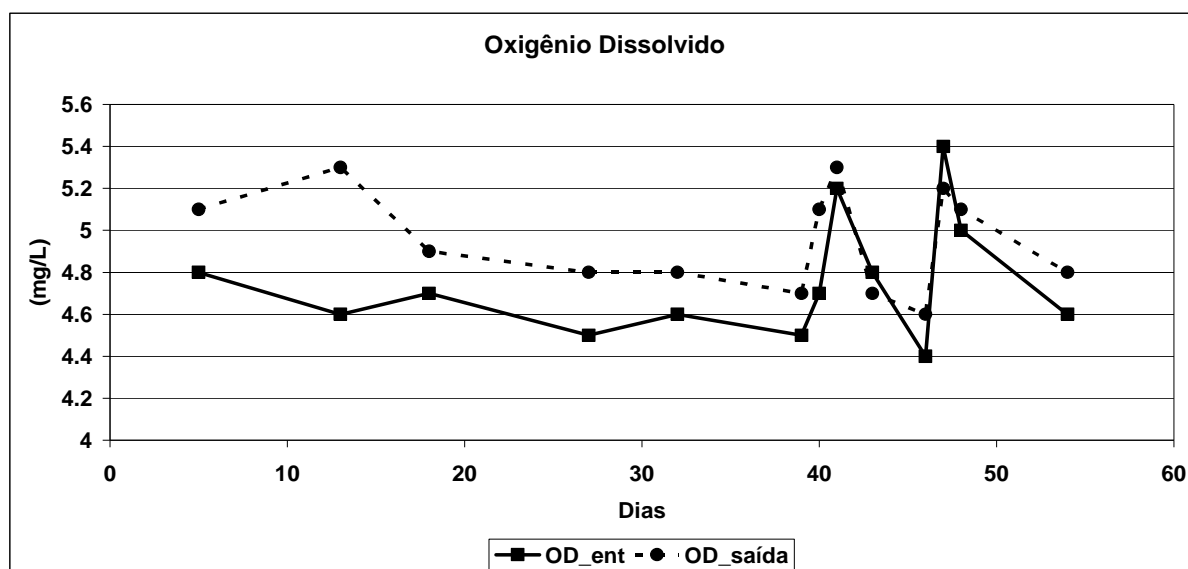


Figura 22. Variação temporal do oxigênio dissolvido na filtração lenta.

Na Figura 23 são mostradas as médias das concentrações de oxigênio dissolvido na entrada e na saída do filtro lento. Com relação à concentração de O_2 dissolvido presente na água de entrada Broder & Byron (2004), recomendam um mínimo de 6mg/L, valor que neste trabalho somente poderia ser alcançado com alguma aeração da água em uma etapa anterior à entrada no filtro. Contudo, essa intervenção iria modificar as condições da água da chuva, indo de encontro a um dos intentos desta pesquisa que é o de avaliar o funcionamento do filtro lento sendo alimentado com água de chuva captada em telhados.

Pela Figura 22, verifica-se que a água de chuva na entrada do filtro esteve sempre acima de 3mg/L (mínimo), com uma média de 4,75mg/L de O_2 .

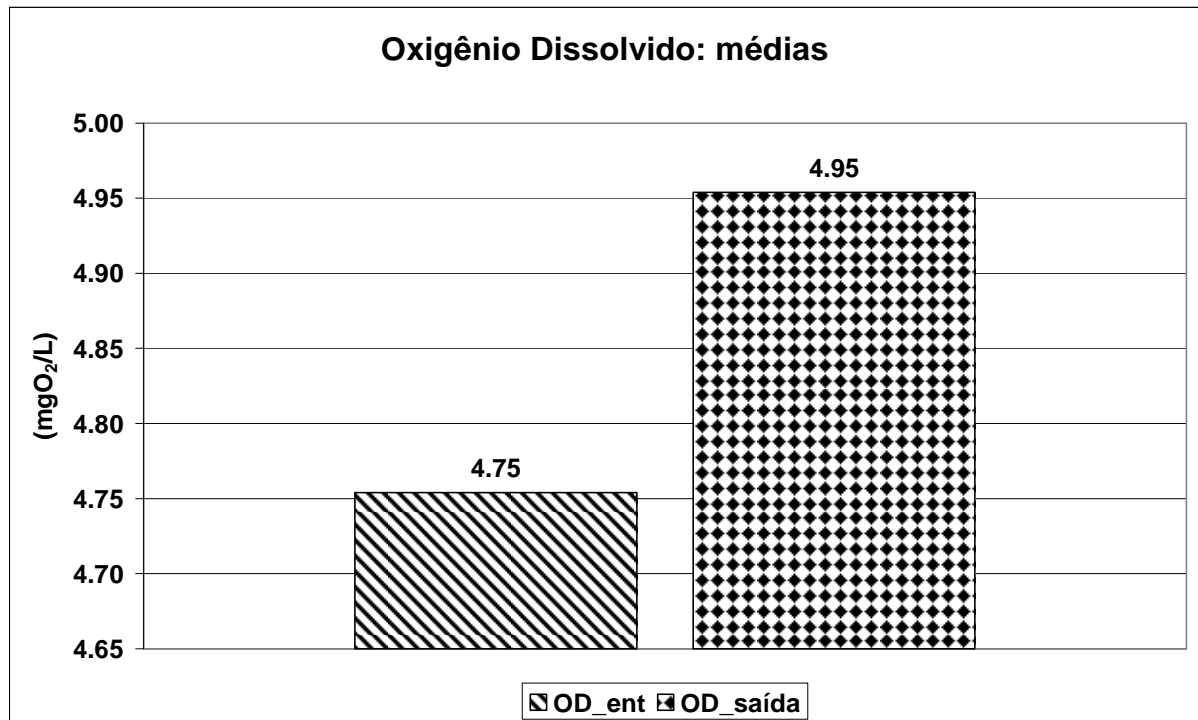


Figura 23. Médias do oxigênio dissolvido da água de entrada e saída do filtro lento.

5.2.3.4 Dureza total

Os resultados do monitoramento da dureza total nas águas de entrada e saída do filtro lento encontram-se na Figura 24. Nesta Figura pode-se observar a grande variação que houve entre os valores de entrada e saída, sem, contudo, afetar a potabilidade da água de saída, considerando o limite máximo de dureza total de 500mgCaCO₃/L da Portaria 518/2004 do MS.

A dureza em águas naturais deve-se ao contato da água com solos e rochas que possuem Ca na sua composição. A água de chuva ao cair no solo tem sua habilidade de dissolver, o carbonato de cálcio presente no solo ou rocha, aumentada quando há a presença de dióxido de carbono, gerado pela ação bacteriana (SAWYER; MCCARTY; PARKIN, 2003).

O aumento da dureza total na água filtrada deve-se por dois fatores: (1) a passagem da água de chuva pelo leito filtrante (areia) e (2) a presença de dióxido de carbono produzido pela ação bacteriana (HUISMAN & WOOD, 1974).

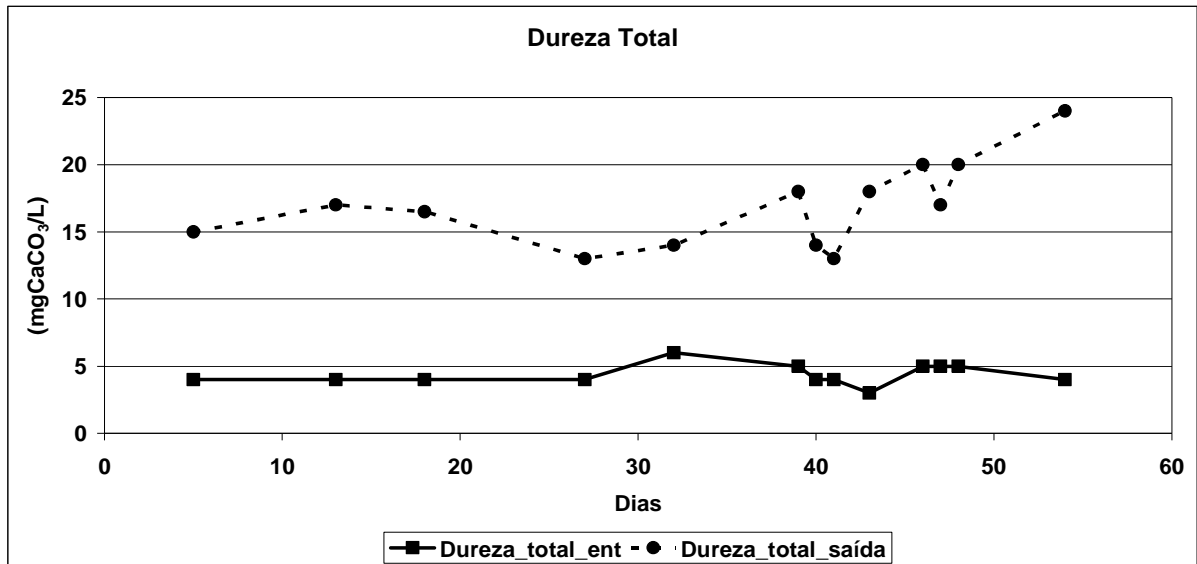


Figura 24. Monitoramento temporal da dureza total na filtração lenta.

Na Figura 25, onde são apresentadas as médias da dureza total da água de entrada e saída, pode-se verificar a magnitude do aumento da dureza total no efluente do filtro lento, de cerca de três vezes a concentração inicial. Um aumento similar da dureza total no efluente de um filtro lento também foi observado por Cipriano (2004), porém de maneira mais discreta, elevação de aproximadamente 50% da concentração.

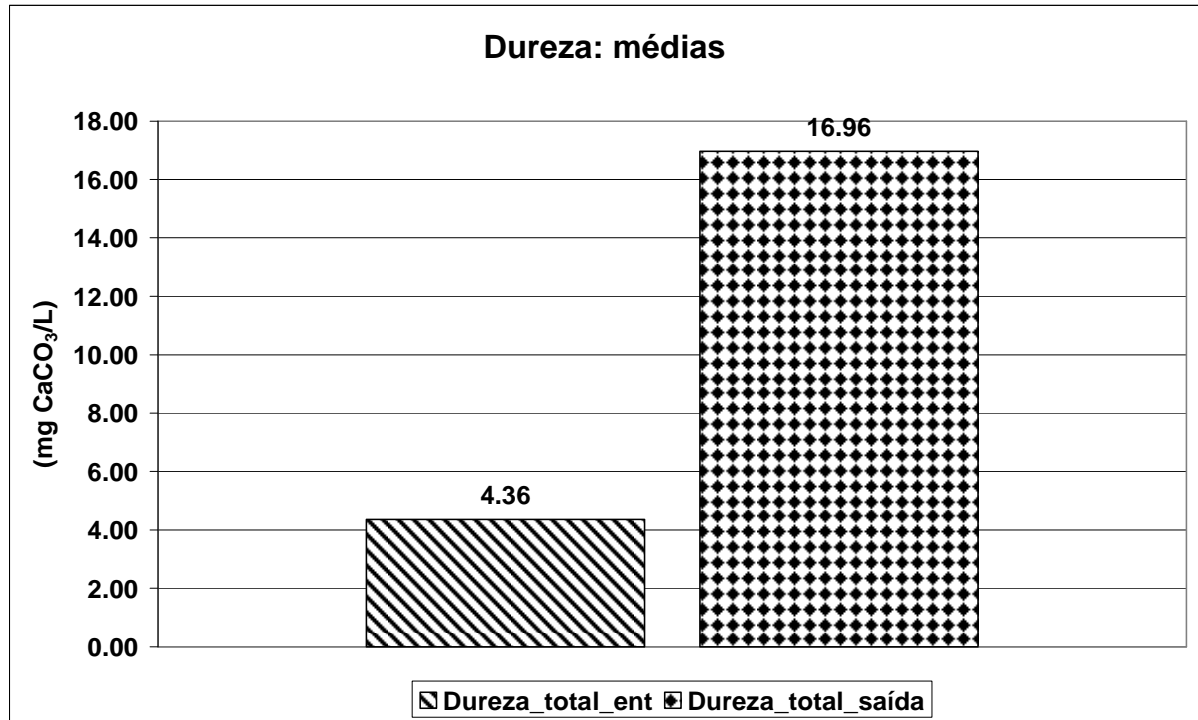


Figura 25. Médias da dureza total.

5.2.3.5 Cloretos

O gráfico com a variação da concentração de cloretos durante a filtração lenta, encontra-se na Figura 26. Observando o gráfico, percebe-se que houve pouca variação da concentração inicial presente na água de chuva, com relação ao efluente do filtro lento, indicando que a influência da filtração lenta neste parâmetro é insignificante. Percebe-se pela Figura 27, que na média o aumento da concentração de cloretos inicial foi muito pequeno, pouco significativo.

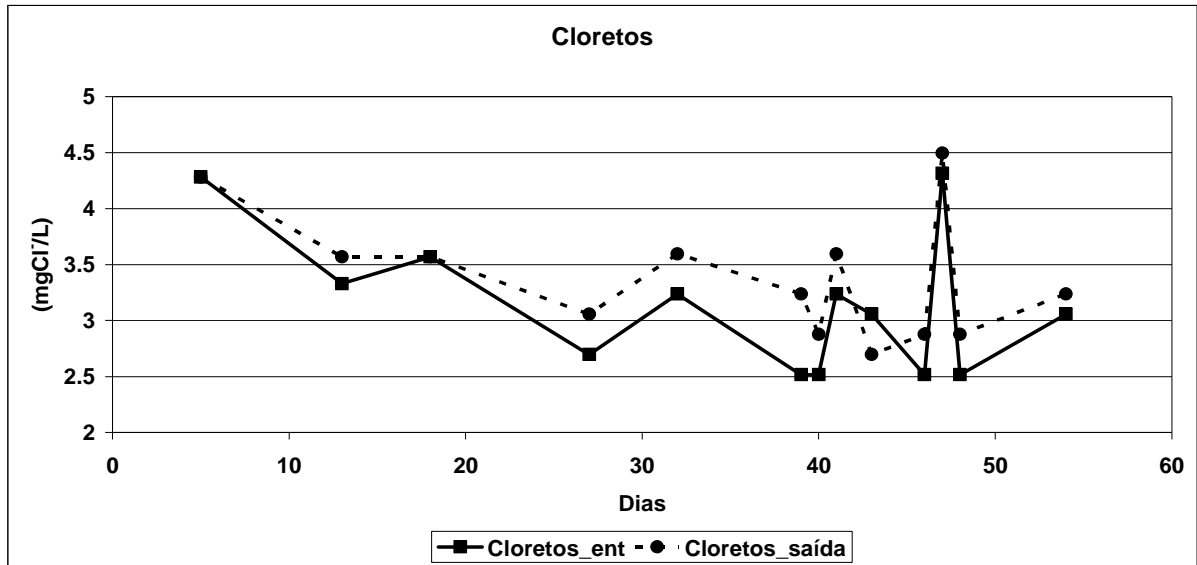


Figura 26. Monitoramento da concentração de cloretos na filtração lenta.

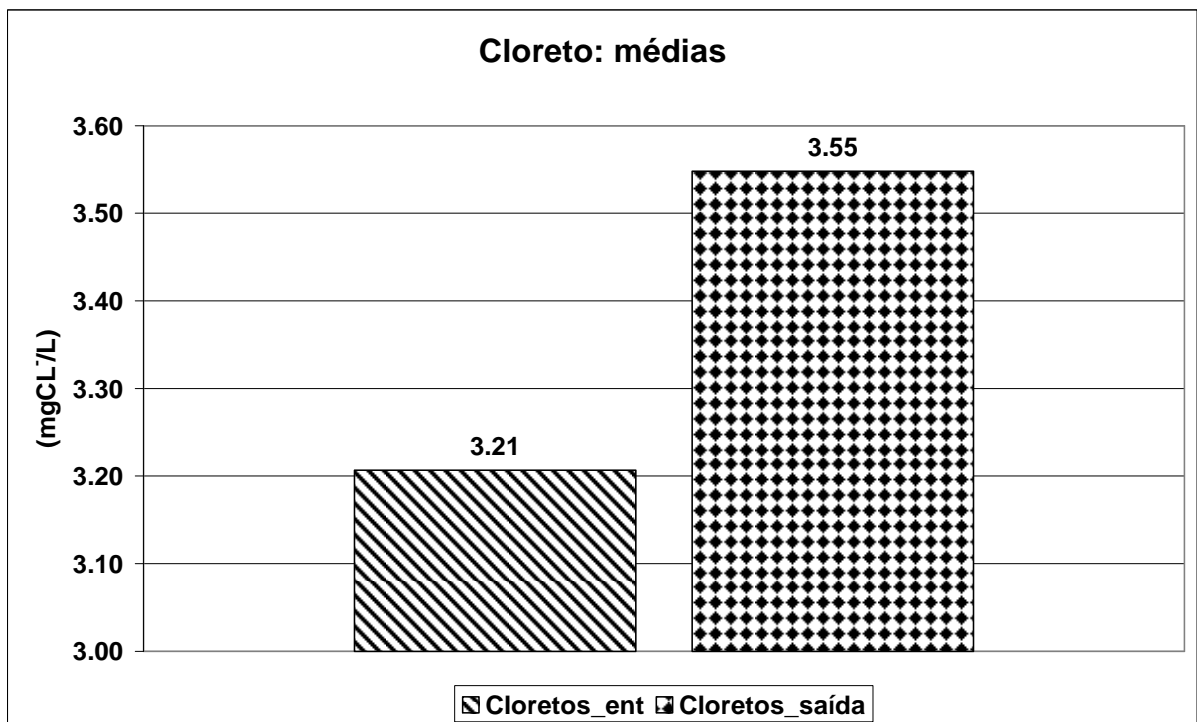


Figura 27. Médias dos cloretos.

5.2.3.6 Sólidos dissolvidos totais

O resultado do monitoramento dos sólidos dissolvidos totais na filtração lenta encontra-se na Figura 28. Verifica-se que, em geral, houve um aumento da concentração de sólidos dissolvidos totais na água filtrada, comparando-se com a

água de entrada. Na Figura 29, são apresentadas as médias de entrada e saída, da concentração de sólidos dissolvidos totais, observa-se que houve um aumento considerável, cerca de 40%, nos níveis de SDT no efluente do filtro.

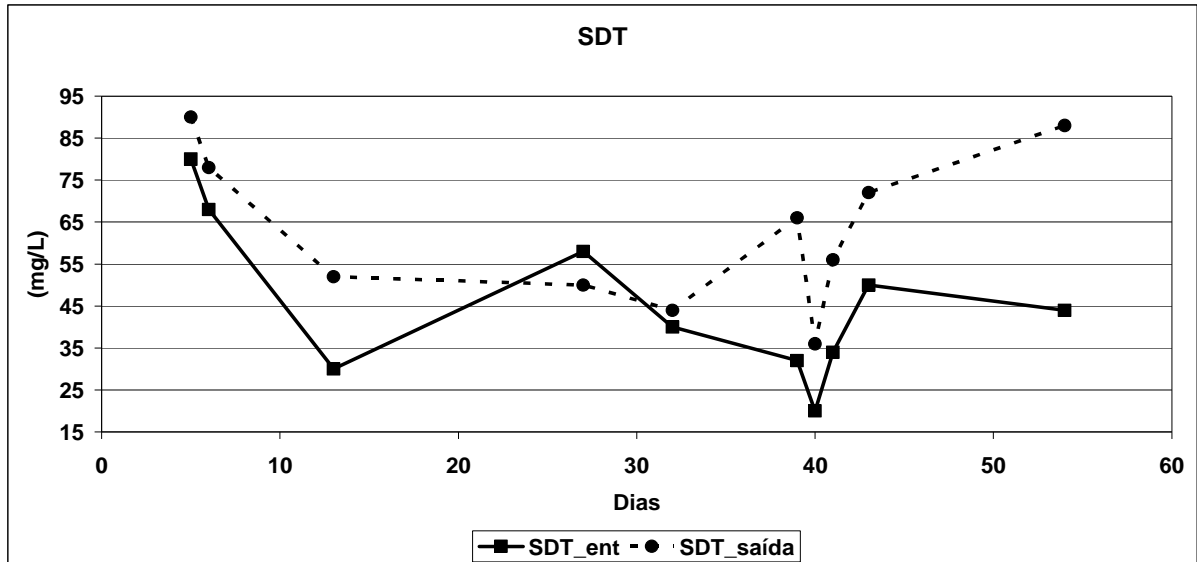


Figura 28. Variação temporal dos sólidos dissolvidos totais na filtração lenta.

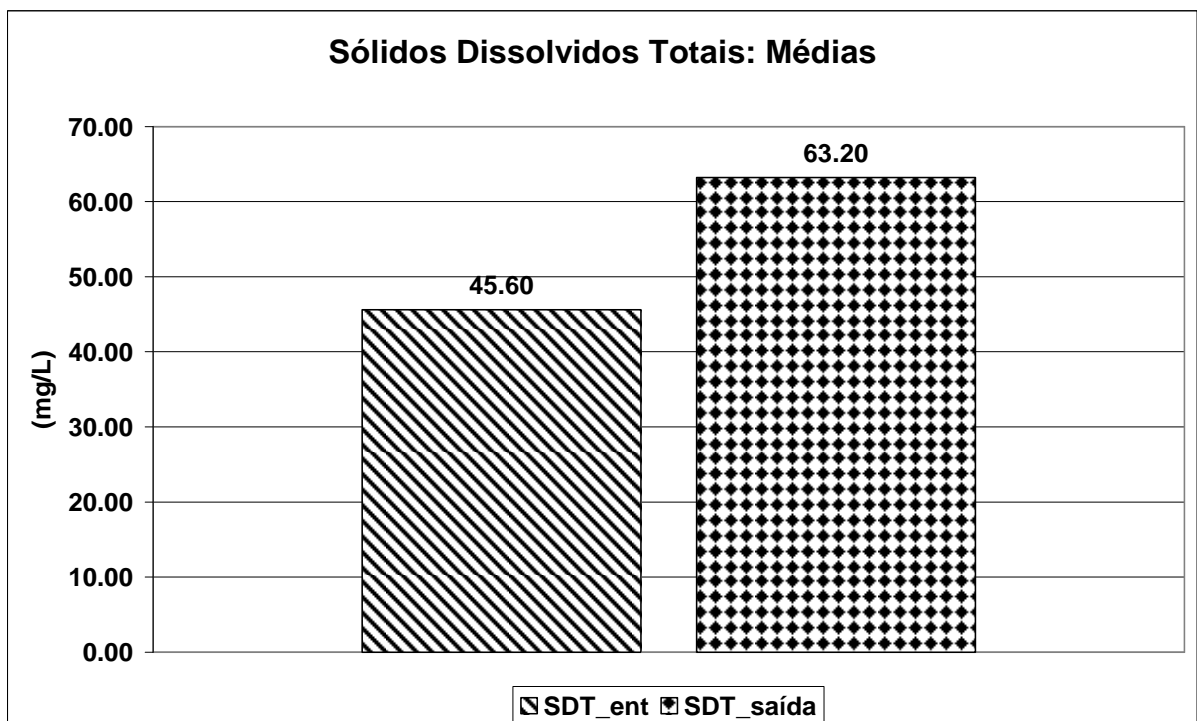


Figura 29. Médias dos sólidos dissolvidos totais.

O aumento da concentração de sólidos dissolvidos no efluente do filtro lento é acompanhado, também, por uma elevação da concentração da dureza total. Os sólidos dissolvidos presentes na água consistem principalmente em sais inorgânicos e gases dissolvidos e possuem uma relação direta com a dureza total (SAWYER; MCCARTY; PARKIN, 2003).

Considerando a relação entre a dureza total e os sólidos dissolvidos totais, apresenta-se na Figura 30 o gráfico desses dois parâmetros do efluente do filtro lento, elaborados em conjunto, pode-se perceber que ambas as curvas possuem comportamentos similares.

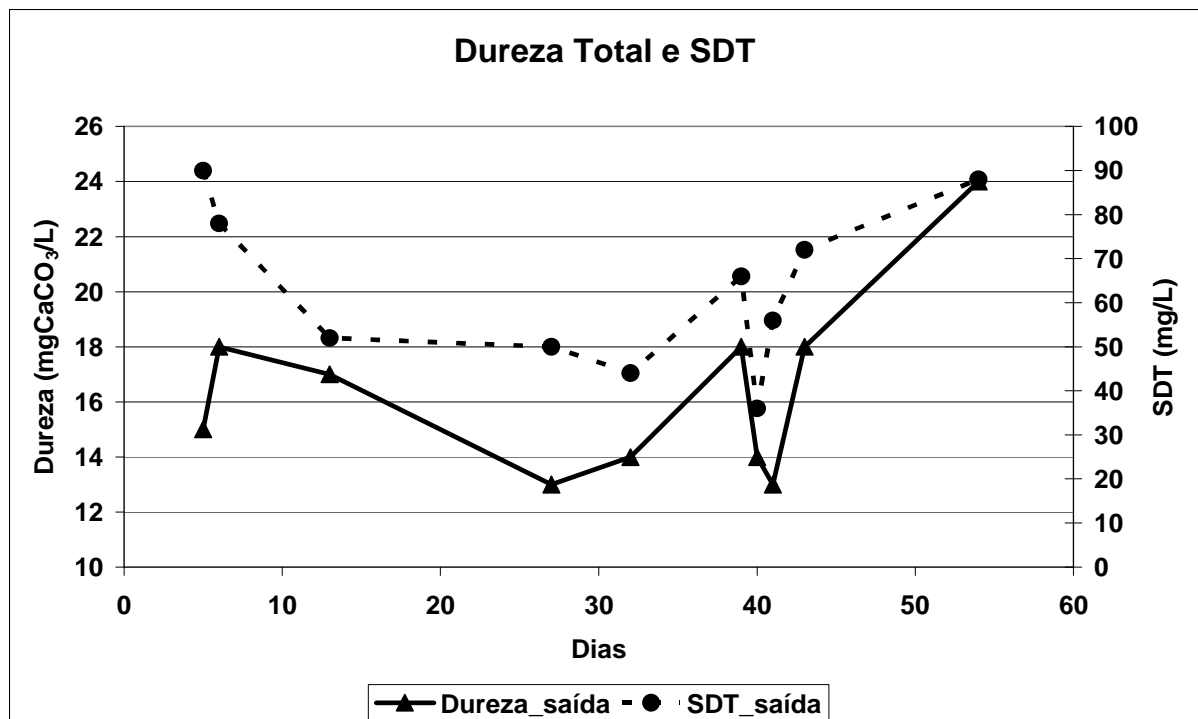


Figura 30. Gráfico conjunto dos sólidos dissolvidos totais e da dureza total do efluente do filtro lento.

5.2.3.7 Cor

A variação temporal da cor na filtração lenta é apresentada na Figura 31, neste mesmo gráfico, estão também apresentados os valores de cor obtidos da

amostragem nas torneiras intermediárias (2aT) e (3aT) localizadas ao longo do leito filtrante a 16 e a 45cm, do topo do leito, respectivamente

Observa-se na Figura 31, que apesar da areia empregada na confecção do filtro lento apresentar finos aderidos ao grão, esses finos, não foram capazes de aumentar a cor final da água filtrada, considerando a média final da cor do efluente e afluente do filtro. Apesar desse bom desempenho geral, percebe-se, que em 10,5% dos dias de amostragem houve um aumento na cor do efluente na saída do filtro.

Nos pontos intermediários de coleta no filtro, percebe-se uma influência negativa da areia nos valores de cor da água. Apesar disso, a partir do dia 36 de operação observou-se uma redução da cor no efluente de saída do filtro. As principais elevações da cor nos pontos intermediários ao longo do leito filtrante se situam na segunda torneira, ou seja, logo nos primeiros dezesseis centímetros de areia, no sentido do fluxo da água.

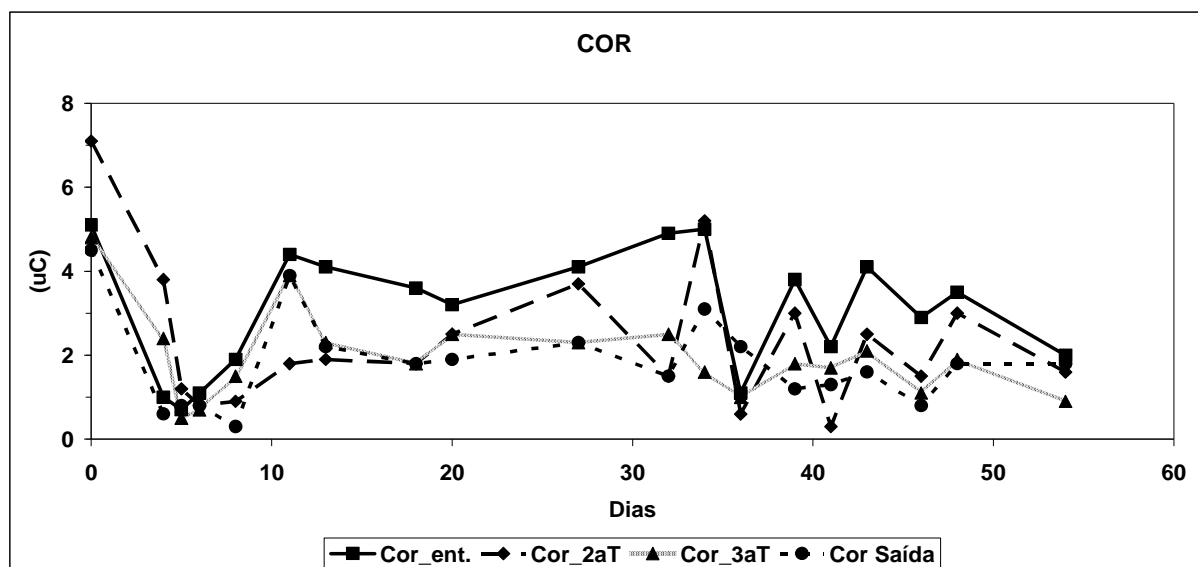


Figura 31. Variação temporal da cor no filtro lento.

Na Figura 32 são apresentadas as médias da cor nos quatro pontos de análise. Nessa Figura, pode-se observar que apesar de em alguns dias de análise ter havido um aumento na cor da água ao longo do filtro, a média geral da concentração na saída foi de 1,81uC, uma redução de aproximadamente 40% do valor da cor na entrada do filtro.

A eficiência média de remoção de cor no filtro lento deste experimento pode ser considerada satisfatória, comparando-se com outros valores na literatura,

Cipriano (2004) conseguiu reduzir em 60% a cor, Bastos (2007) e Muhammad et al. (1996) conseguiram alcançar um máximo de 90,5% e 95,1%, respectivamente, na média de remoção de cor.

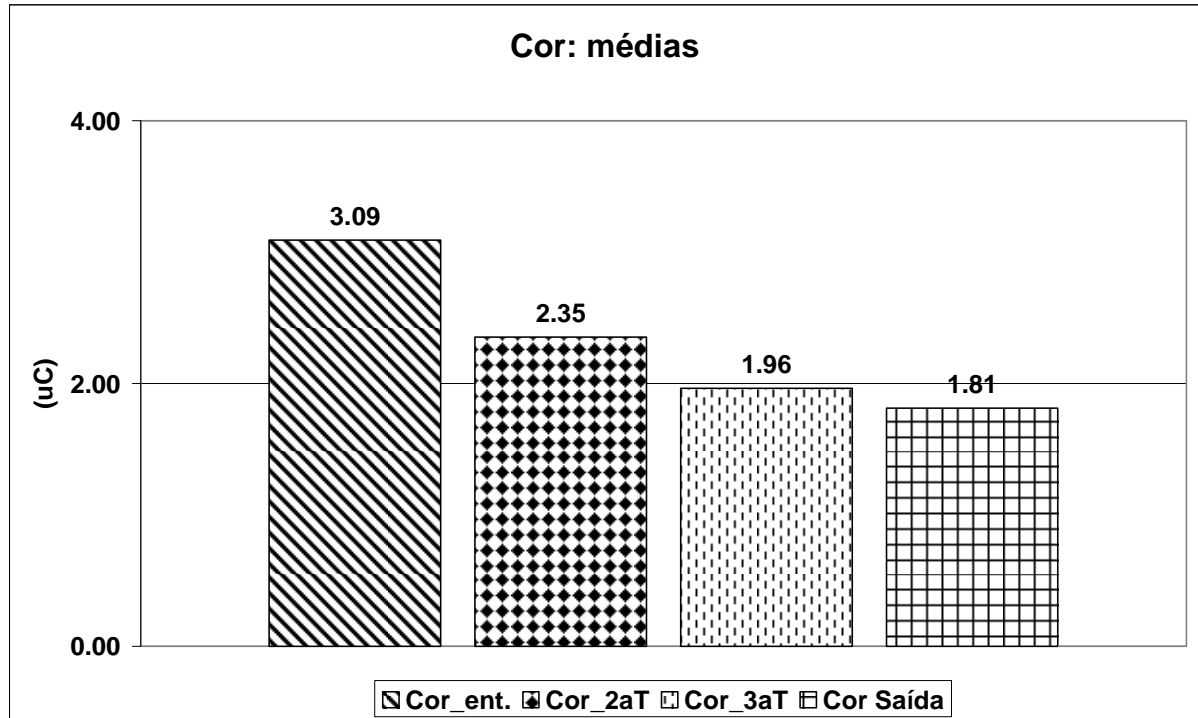


Figura 32. Médias da cor ao longo do filtro.

5.2.3.8 Turbidez

Na Figura 33 são apresentados os gráficos da variação temporal da turbidez na filtração lenta. Pode-se observar nessa Figura a influência da areia no aumento da turbidez da água durante sua passagem pelo leito filtrante. O valor da turbidez da água de entrada esteve em 68,4% dos dias amostrados, maior que o valor da turbidez da água de saída.

Através do monitoramento da turbidez em pontos intermediários no leito filtrante (2aT) e (3aT), pode-se constatar, como era esperado, segundo o exposto no item 5.2.1, que a areia foi a responsável pelo aumento da turbidez da água ao passar pelo leito filtrante, devido à presença de finos, de difícil remoção, aderidos ao grão. Mesmo assim, em 31,6% das amostras a turbidez final da água foi menor que a de entrada.

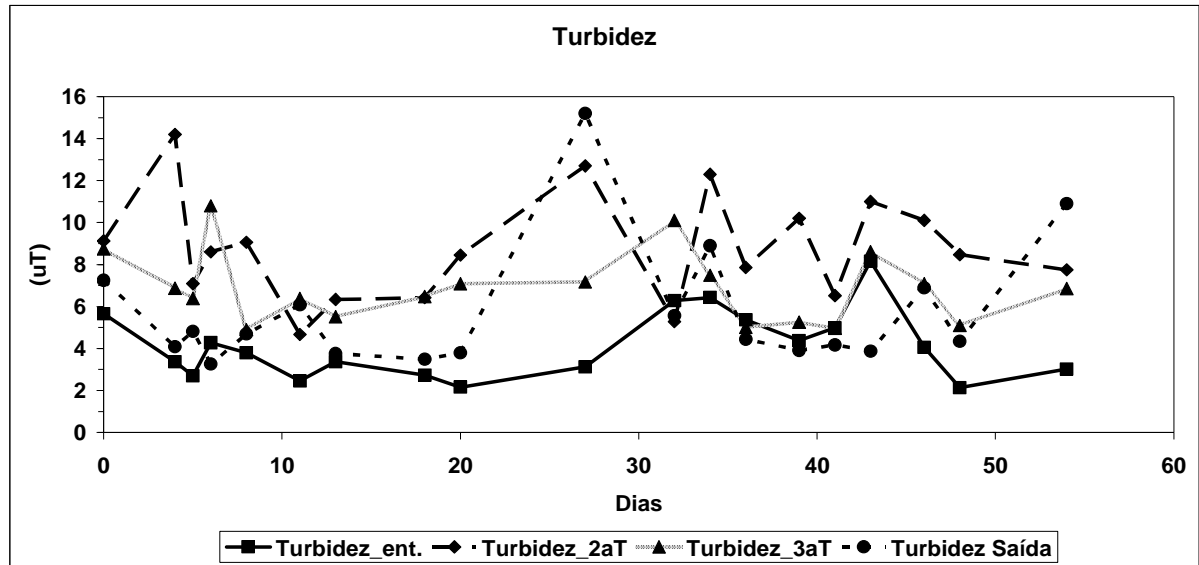


Figura 33. Gráficos da variação temporal da turbidez no filtro lento.

A média de cada ponto de análise da turbidez, ao longo do filtro, é apresentada na Figura 34. Observa-se nessa Figura um aumento de 39% na média da turbidez da água de saída do filtro, percebe-se ainda, que a maior contribuição para esse aumento, ocorreu nos primeiros dezesseis centímetros (2aT) após o topo do leito, onde a média da turbidez foi maior que o dobro da concentração da água de chuva, a partir da terceira torneira (3aT), situada a 45cm do topo do leito, nota-se que houve uma redução da turbidez média que foi de 5,76uT na saída do filtro.

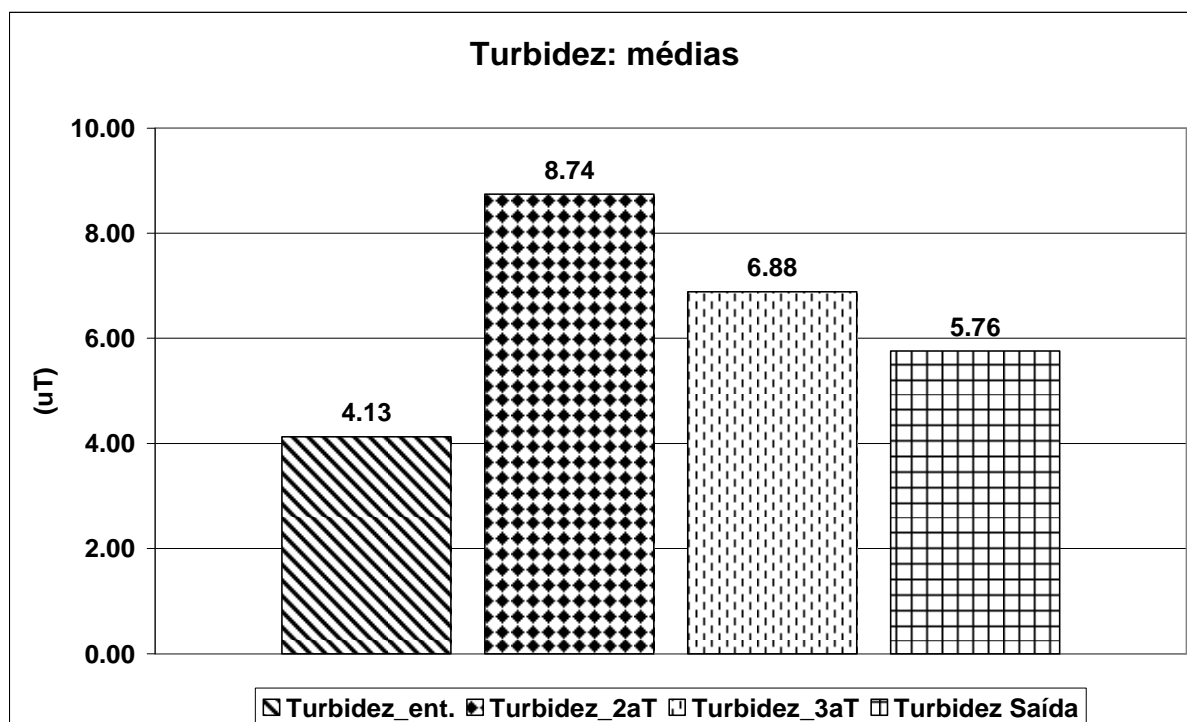


Figura 34. Médias da turbidez ao longo do filtro.

Observa-se pela Figura 34, que houve um aumento na média da turbidez de saída do filtro lento, apesar, de ser observada uma melhora na remoção da turbidez, isto é, a turbidez do efluente em valores menores que a do afluente, a partir da 36^o dia de operação.

Esse comportamento, aumento da turbidez final, é atípico, diante do desempenho na remoção de turbidez, geralmente encontrado na literatura. Comparando-se com outros estudos pilotos a média da turbidez na saída do filtro lento encontra-se acima dos valores encontrados na maioria de outros experimentos sobre filtração lenta. Dentre os trabalhos com os quais pode-se comparar, cita-se: Bastos (2007); Cipriano (2004); Paterniani & Concenição (2004) e Muhammad et al. (1996) que obtiveram um máximo de remoção média da turbidez de 100%; 68,9%; 93,6% e 96,5% respectivamente.

Ainda sobre a remoção de turbidez pelo filtro lento, Cleasby & Longsdon (1999) reportaram que nos estudos de Bellamy et al. (1985) e Bellamy, Hendricks & Longsdon (1985) observou-se uma baixa porcentagem de remoção de turbidez na água de um lago com presença de finas partículas de argila proveniente do escoamento superficial numa montanha. Turbidez de 1uT foram raramente encontradas.

5.2.3.9 E.coli

Na Figura 35 são mostrados os gráficos da variação da concentração (UFC/100mL) de *E.coli* durante a fase de filtração lenta. Pode-se observar que, apesar de oscilações nos níveis de *E.coli* no efluente, o filtro conseguiu diminuir o número de colônias na água de saída, comparando-se com os valores apresentados pelo afluente.

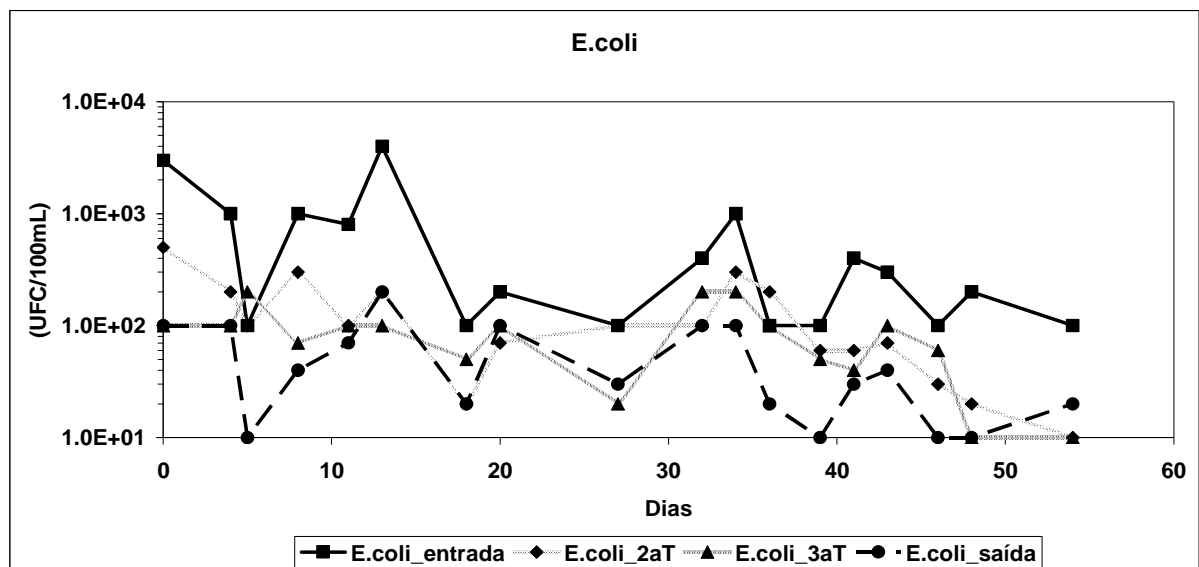


Figura 35. Variação temporal do *E.coli* na filtração lenta.

A média geométrica da concentração de *E.coli* para cada ponto de coleta é mostrada na Figura 36. Nessa Figura pode-se perceber melhor o desempenho geral do filtro na eliminação de *E.coli*. A eficiência média de remoção foi de 88,7% ou $0,95 \log_{10}$.

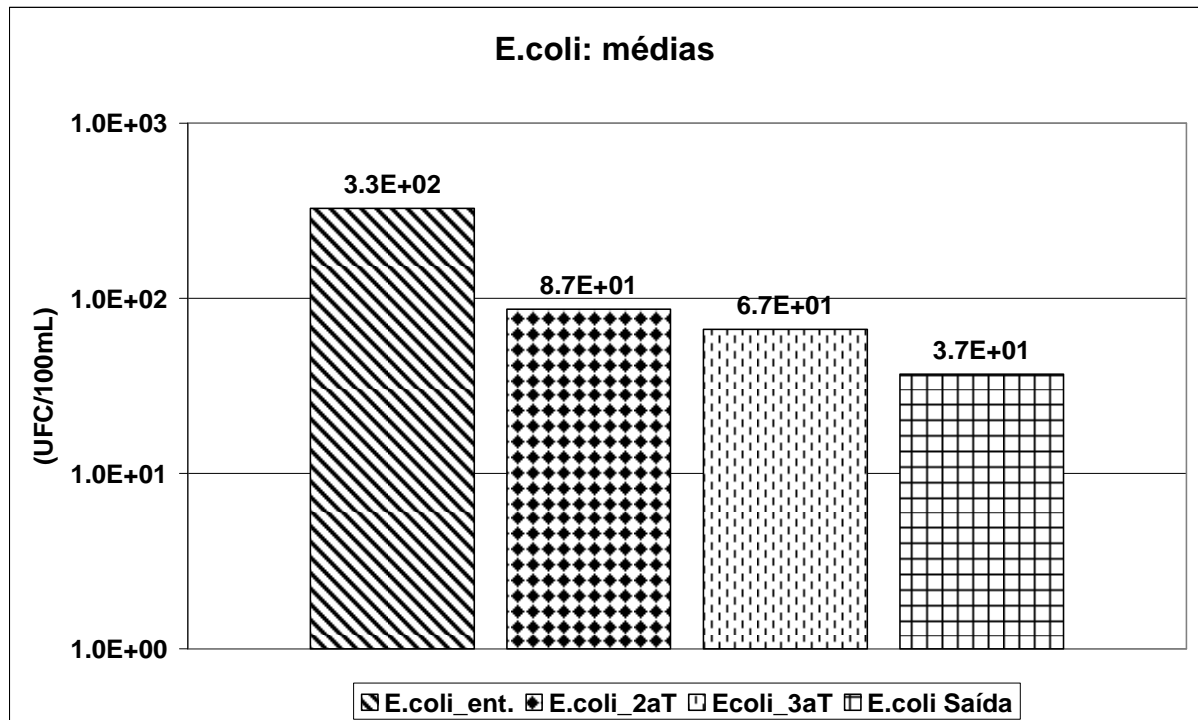


Figura 36. Médias do *E.coli*.

A eficiência na eliminação de *E.coli* pode ser avaliada como baixa, comparando-se com outros estudos: Elliott et al. (2008); Baker & Duke (2006); Bastos (2007) os quais conseguiram uma remoção média de no máximo 98,7%, 98,5% e 100% respectivamente.

Analisando-se ponto a ponto, em cada estrato do filtro, nota-se que houve uma maior eliminação de organismos de *E.coli* na passagem da água pelos primeiros dezesseis centímetros de areia, entre a entrada e a segunda torneira de coleta do filtro (2aT), justamente na porção superior do leito filtrante, que inclui a *schmutzdecke*, camada de maior atividade de remoção bacteriana (LONGSDON, 2008). Proporcionalmente houve uma redução média de 74% dos níveis de *E.coli* entre as amostras da entrada e da (2aT) no filtro lento.

Com os dados de remoção média em cada ponto de amostra ao longo do leito filtrante, pode-se conhecer o decaimento bacteriano no interior do filtro em função da profundidade do leito filtrante. Geralmente estima-se a taxa de mortalidade bacteriana pela lei de Chick, que para regimes em fluxo pistão pode ser descrita por equações do tipo da equação 3, podendo ser também expressa em função da distância (VON SPERLING, 2005):

$$N = N_o \cdot e^{-K_b \cdot t}$$

Equação 3

Onde:

N = número de organismos após um tempo (org/100mL)

N_o = número de organismos no afluente (org/100mL)

K_b = coeficiente de decaimento bacteriano (d^{-1})

Através dos dados da concentração (UFC/100mL) de *E.coli* ao longo do leito filtrante, foi possível o ajuste de uma curva exponencial que descreve o decaimento bacteriano médio ocorrido no filtro em função da profundidade, com um coeficiente de determinação $R^2 = 0,8515$, ver Figura 37.

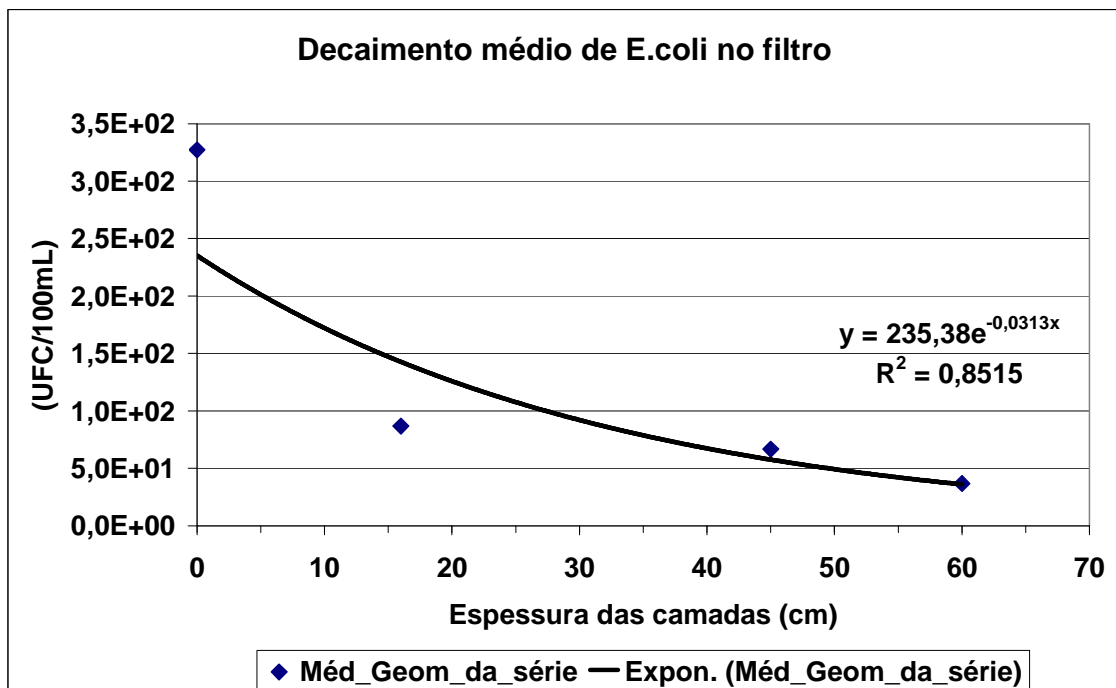


Figura 37. Curva de decaimento médio de *E.coli* ao longo do filtro.

5.2.3.10 Coliformes totais

A Figura 38 mostra a variação temporal da concentração de coliformes totais (UFC/100mL) para cada ponto de coleta na fase de filtração lenta. Pode-se observar que durante toda a etapa da avaliação do desempenho do filtro, o sistema conseguiu

reduzir o número de colônias de coliforme totais na água de saída, comparando-se com os valores apresentados pelo afluente, água de chuva.

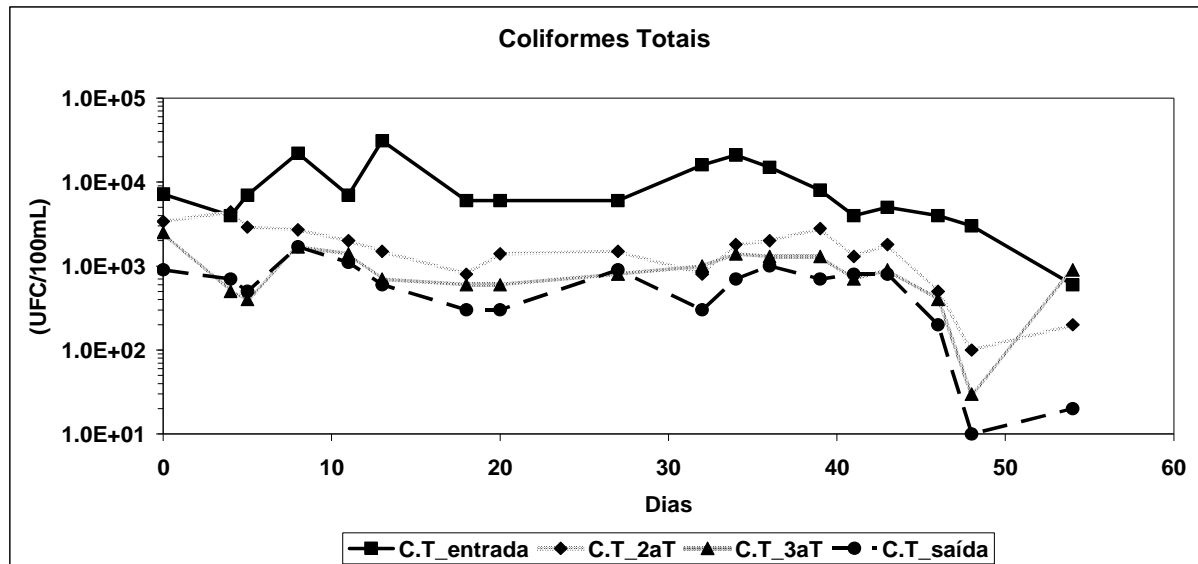


Figura 38. Variação temporal da cor na filtração lenta.

A média geométrica da concentração de coliformes totais para cada ponto de coleta é mostrada na Figura 39. Nessa Figura pode-se perceber melhor o desempenho geral do filtro remoção destes indicador microbiológico. A eficiência média de eliminação de C.T foi de 94% ou $1,22\log_{10}$.

A eficiência na eliminação de C.T pode ser avaliada como satisfatório, comparando-se com outros estudos: Bastos (2007); Paterniani & Concenição (2004) e Muhammad et al. (1996) os quais conseguiram uma remoção média de no máximo 87,3%, 98,5% e 99,7% respectivamente.

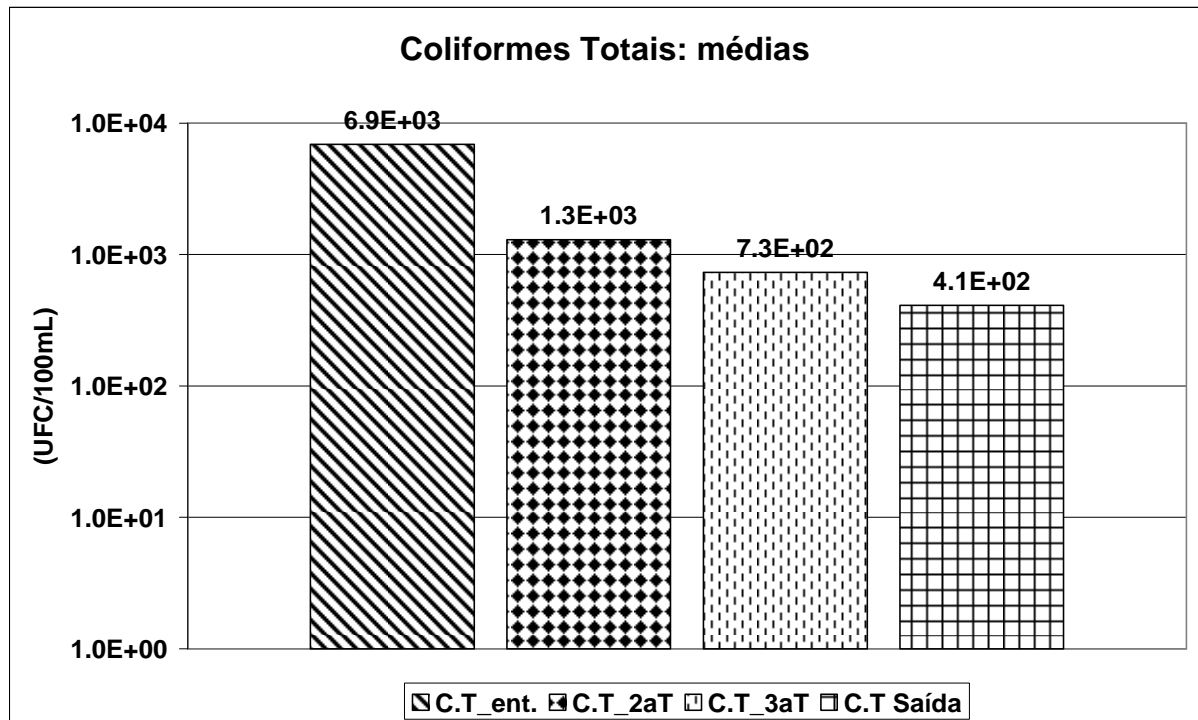


Figura 39. Médias dos coliformes totais.

Assim como na observação do *E.coli*, a análise ponto a ponto, da Figura 39, permite perceber que houve uma maior eliminação de organismos (CT) na passagem da água pelos primeiros dezesseis centímetros de areia, entre a entrada e a segunda torneira de coleta do filtro (2aT), justamente na porção superior do leito filtrante, que inclui a *schmutzdecke*, camada de maior atividade de remoção bacteriana (LONGSDON, 2008). Proporcionalmente houve uma redução média de 81% dos níveis de C.T entre as amostras da entrada e da (2aT) no filtro lento.

A curva de decaimento bacteriano também foi construída para os dados de CT. Através dos dados da concentração (UFC/100mL) do indicador C.T ao longo do leito filtrante, foi possível o ajuste de uma curva exponencial que descreve o decaimento bacteriano médio ocorrido no filtro em função da profundidade do leito de areia, com um coeficiente de determinação $R^2 = 0,8812$, ver Figura 40.

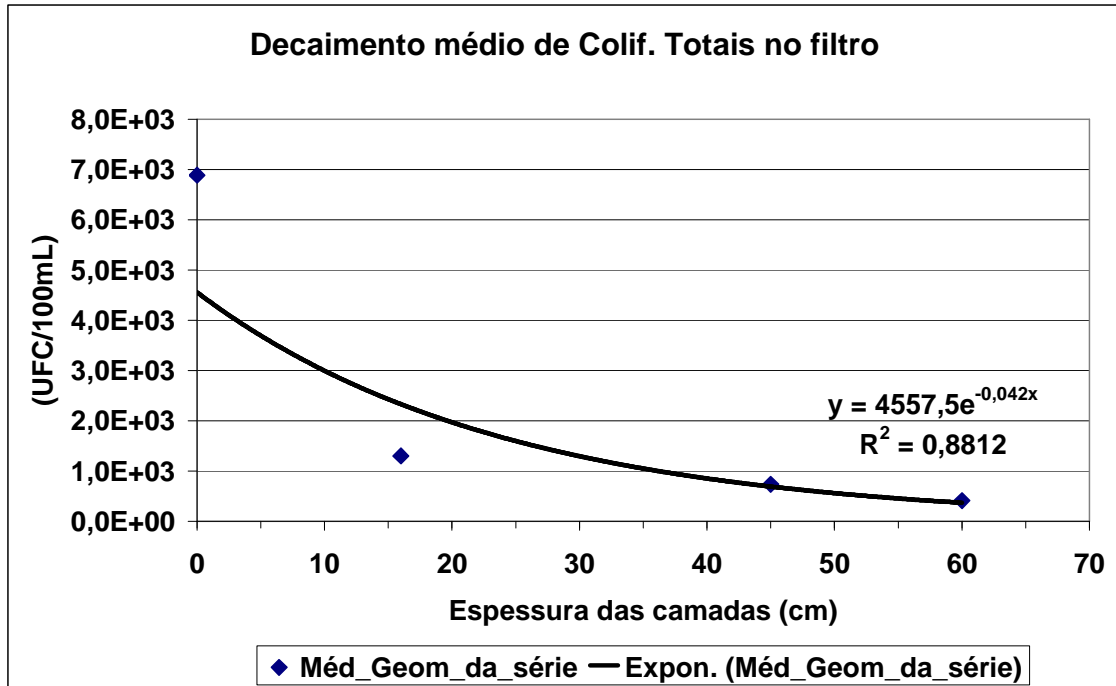


Figura 40. Decaimento médio dos Coliformes totais ao longo do filtro.

5.2.3.11 Bactérias Heterotróficas

O resultado do monitoramento temporal, em cada ponto de amostragem ao longo do filtro, da concentração de bactérias heterotróficas (UFC/100mL) no filtro lento é apresentado na Figura 41. Pode-se observar que apesar da variabilidade de concentrações no efluente, o filtro conseguiu reduzir o número de colônias na água de saída, comparando-se com os valores apresentados pelo afluente.

A média geométrica da concentração de bactérias heterotróficas para cada ponto de coleta é mostrada na Figura 42. Nessa Figura pode-se perceber melhor o desempenho geral do filtro remoção deste indicador microbiológico. A eficiência média de eliminação de B.H foi de 91,6% ou $1,08\log_{10}$.

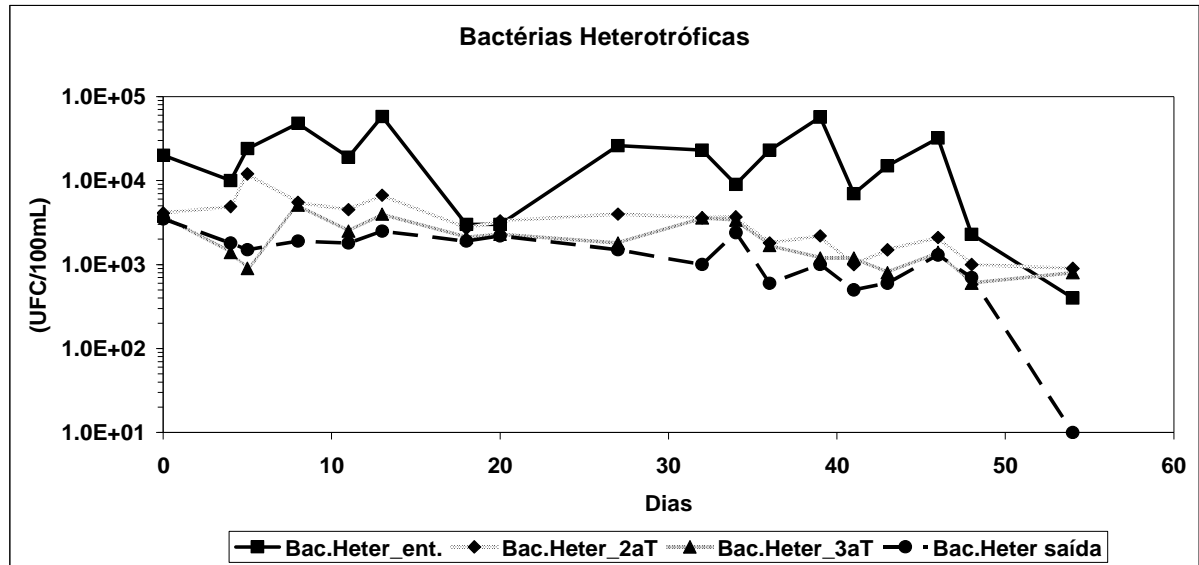


Figura 41. Variação temporal das bactérias heterotróficas na filtração lenta.

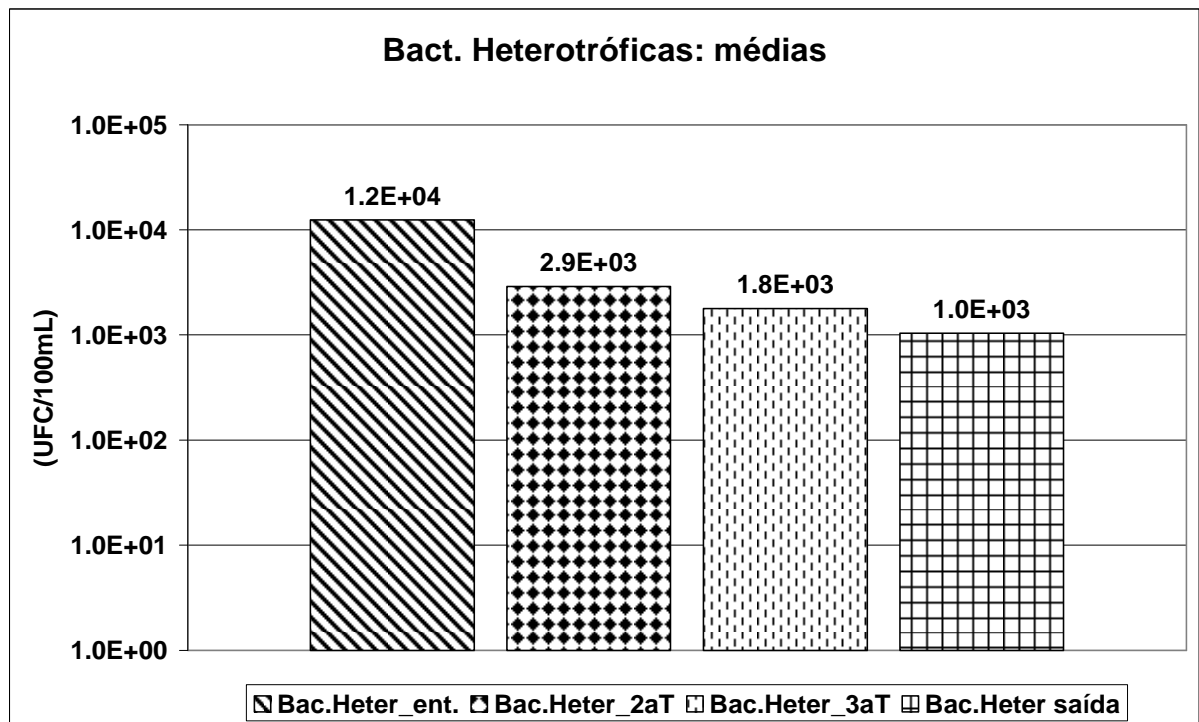


Figura 42. Médias das bactérias heterotróficas.

Analisando a média obtida em cada ponto de coleta, na Figura 42 e Figura 43, percebe-se que houve uma maior eliminação de bactérias heterotróficas na passagem da água pelos primeiros dezesseis centímetros de areia, entre a entrada e a segunda torneira de coleta do filtro (2aT), justamente na porção superior do leito

filtrante, que inclui a *schmutzdecke*, camada de maior atividade de remoção bacteriana (LONGSDON, 2008). Proporcionalmente houve uma redução média de 77% dos níveis de B.H entre as amostras da entrada e da (2aT) no filtro lento.

A curva de decaimento bacteriano também foi construída para os dados obtidos de bactérias heterotróficas. Através dos dados da concentração (UFC/100mL) do indicador B.H ao longo do leito filtrante, foi possível o ajuste de uma curva exponencial que descreve o decaimento bacteriano médio ocorrido no filtro em função da profundidade, com um coeficiente de determinação $R^2 = 0,8813$ ver Figura 43.

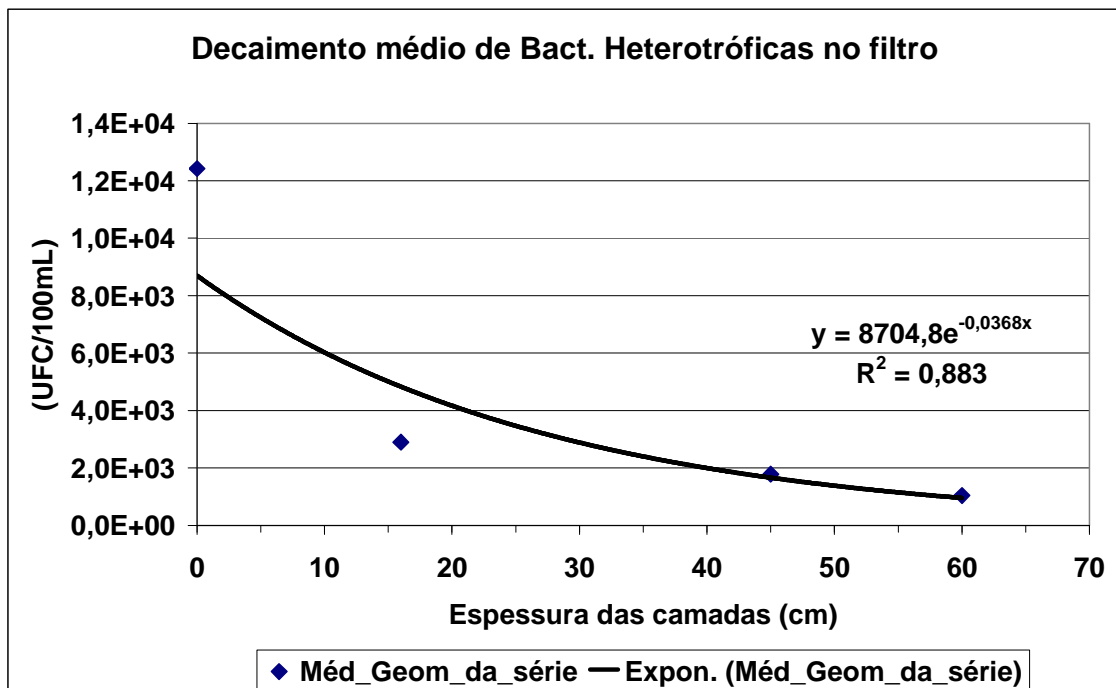


Figura 43. Decaimento médio das bactérias heterotróficas ao longo do filtro.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados no presente estudo, pode-se concluir que:

- Os dados obtidos nas duas etapas para avaliação da qualidade da água de chuva foram suficientes para caracterização e classificação como imprópria para consumo direto, pois, além da contaminação microbiológica, parâmetros como pH e turbidez apresentaram valores acima do permitido pela Resolução MS 518/2004. No entanto, atividades industriais, como a geração de vapor em caldeiras e afins, podem fazer utilização direta da água de chuva, com pequenas ressalvas para o pH e o oxigênio dissolvido.
- Comparando-se estatisticamente os dados obtidos nas duas etapas de avaliação da qualidade da água de chuva, os parâmetros de turbidez, dureza, sólidos dissolvidos totais e E.coli, apresentaram diferenças significativas.
- Considerando os parâmetros físico-químicos, na etapa de filtração lenta, além da cor e a turbidez, a dureza total e os sólidos dissolvidos totais, apresentaram influência representativa pela passagem através do leito filtrante de areia e a ação bacteriana ocorrida no filtro.
- Para o parâmetro cor, o filtro lento apresentou eficiência média de 70% na redução desta variável. A remoção da turbidez foi influenciada negativamente pelo leito filtrante (rico em partículas finas), apesar da melhora no desempenho geral, observada a partir do 36º dia de operação.
- O filtro lento desenvolveu-se de forma satisfatória no tratamento de microrganismos presentes na água de chuva, apresentando-se como boa alternativa para potabilização da água de chuva. A média de remoção de E.coli, Coliformes Totais e Bactérias Heterotróficas foi de, respectivamente, 88,7%, 94% e 91,6%.
- A areia utilizada como meio filtrante apresentou finos aderidos aos grãos, que conferiram ao efluente uma turbidez maior do que o esperado.

7 RECOMENDAÇÕES

Para futuros estudos na mesma linha desta pesquisa, recomenda-se os seguintes aspectos:

- A determinação de outros parâmetros relativos à água de chuva, bem como estudar a influência do tipo de reservatório e da composição da superfície da captação para a água de chuva coleta no mesmo local da corrente pesquisa.
- Estudar a influência do leito filtrante, compondo o filtro lento com areias diferentes, em origem e em granulometria, para avaliar o desempenho geral da filtração.
- A investigação do desempenho do filtro construído, com um aumento na espessura da camada do leito filtrante, visando reduzir a concentração de microrganismos no efluente.

REFERÊNCIAS

APHA, AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 20th ed. Washington DC, 1999.

ASA. **Articulação para o semi-árido**. Disponível em: <http://www.asabrasil.org.br>. Acessado em: 21 nov. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527:2007. **Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844:1989. Instalações prediais de águas pluviais**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13600/1996 Solo - Determinação do teor de matéria**

BASTOS, F. P.; **Tratamento de água de chuva através de filtração lenta e desinfecção UV**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico. 2007.

BAKER, D. L.; DUKE, W. F. **Intermittent Slow Sand Filters for Household Use -A Field Study in Haiti**. IWA Publishing, London, UK. 2006.

BRODER, M. V.; BYRON, C. J. **Slow sand and diatomaceous earth filtration**. In: Baruth, E. E. (Ed.) **Water treatment plant design**. 4th Ed. ASCE and AWWA. McGraw-Hill. Nova Iorque. EUA. 2005.

CAMPOS, L. C. **Modelling and simulation of the biological and physical processes of slow sand filtration**. Ph.D. Thesis. Imperial College of Science, Technology and Medicine. University of London. 2002

CIPRIANO, R. F. P. **Tratamento das águas de chuva escoadas sobre telhado e avaliação do seu uso**. Dissertação de mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Regional de Blumenau, 89 p. 2004.

CIRILO, José Almir. **Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido**. Estudos. Avançados. vol. 22, n. 63, pp. 61-82. 2008.

- CLEASBY, J. L.; LOGSDON, G. S. L. **Granular bed and precoat filtration**. In: Letterman, R. D. (Ed.) *Water Quality and Treatment*. 5th Ed. AWWA. McGraw-Hill. Nova Iorque. EUA. 1999.
- COOMBES, P. J.; KUCZERA, G.; KALMA, J. D. **Economic, water quantity and quality results from a house with a rainwater tank in the inner city**. 27th Hydrology and Water Resource Symposium, Melbourne, Australia, 2002
- DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. Editora Rima, Vols. 1 e 2. São Carlos, São Paulo, Brasil. 2^a Ed. 2005.
- ECKENFELDER JR, W.W.; FORD, D.L.; ENGLANDE JR, A.J. **Industrial water quality**. 4th Ed. McGraw-Hill. Nova Iorque. EUA. 2008. 956p.
- ELLIOTT, M. A.; STAUBER, C. E.; KOKSAL, F.; DIGIANO, F. A.; SOBSEY, M.D. **Reductions of E. coli, echovirus type 12 and bacteriophages in an intermittently operated household-scale slow sand filter**. *Water Research*, Vol. 42, Issues 10-11, Pgs 2662-2670. 2008.
- FERREIRA, I. V. L. **Fotocatálise heterogênea com TiO₂ aplicada ao tratamento de esgoto sanitário secundário**. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) — Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2005.
- GAINEY, P.L.; LORD, T.R. **Microbiology of water and sewage**. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 1952.
- GARCIA JUNIOR, L. T. **Política Nacional de Recursos Hídricos: Metodologia para Avaliação de sua Implantação nos Estados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.
- GOULD J, NISSEN-PETERSEN E. **Rainwater catchment systems for domestic rain: design construction and implementation**. London: Intermediate Technology Publications. 335 p. 1999.
- HUISMAN, L.; WOOD, W.E. **Slow sand filtration**. Geneva. World Health Organization. 1974.
- KEMMER, F.N. **The Nalco water handbook**. 2^a Ed. McGraw-Hill. Nova Iorque. EUA. 1989. 1120p.

- KUHLMAN, M.I.; GREENFIELD, T.M. **Simplified soil washing processes for a variety of soils**. Journal of Hazardous Materials. Vol. 66, N°1, pp. 31-45. 1999.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Editora Átomo. Campinas, São Paulo, Brasil. 2ª Ed. 2008.
- LECHEVALLIER, M. W. & KWOK-KEUNG, I. A. **Water Treatment and Pathogen Control**. WHO (World Health Organization). 2004. Disponível em: < www.who.int>.
- LONGSDON, G. S. **Water filtration practices: including slow sand filters and precoat filtration**. AWWA. 2008.
- LOGSDON, G. S.; KOHNE, R.; ABEL, S.; LABONDE, S. **Slow sand filtration for small water systems**. J. Environ. Eng. Sci. n° 1. p. 339–348. 2002.
- MUHAMMAD, N.; ELLIS, K.; PARR, J.; SMITH, M.D. **Optimization of slow sand filtration**. Reaching the unreached: challenges for the 21st century. 22nd WEDC Conference New Delhi, India. 1996
- JAQUES, R.C. **Qualidade da Água de Chuva no Município de Florianópolis e sua Potencialidade para Aproveitamento em Edificações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.
- MANZ, D. H.; **New horizons for slow sand filtration**. In: Proceedings from 11th Canadian National Conference and Second Policy Forum on Drinking Water and the Biennial Conference of the Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water. April 3 – 6. Calgary, Alberta, p.682 – 692. 2004
- MELO, L. R. C. **Variação da qualidade da água de chuva no início da precipitação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2007.
- MOVAHED DANESH A.A. **Sacredness of rainwater in Iranian culture and its harvesting for drinking and agricultural purposes**. In: Proceedings from 8th International Conference on Rainwater Catchment Systems, April 21-35, Vol. I, p.827-291. 1997.
- NATURE (Editorial). **A fresh approach to water**. Nature. Vol. 452. n. 7185. 2008

ONU, Organizações das Nações Unidas **Coping With Water Scarcity**. Disponível em: <<ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/waterscarcity.pdf>> Acessado em 09 nov. 2008.

PATERNIANI, J. E. S.; CONCEIÇÃO, C. H. Z. **Eficiência da pré-filtração e filtração lenta no tratamento de água para pequenas comunidades**. Eng. ambient., Espírito Santo do Pinhal, v.1, n.1. 2004.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. São Paulo: ABES, 2005. 285p.

SAWYER, C. N.; MCCARTY, P. L.; PARKIN, G. F. **Chemistry for Environmental Engineering and Science**. 5th ed. New York: McGraw-Hill. 2003.

SAZAKLI, E.; ALEXOPOULOS, A.; LEOTSINIDISA, M. **Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece**. Water Research. N° 41, p. 2039-2047. 2007

SMET J., MORIARTY P. **DGIS Policy support paper: Rooftop Rainwater Harvesting**. IRC. Delft. 2001

SOUZA, J. L.; FILHO, G. M.; LYRA, R. F. F.; TEODORO, I.; SANTOS, E. A.; SILVA, J. L.; SILVA, P. R. T.; CARDIM, A. H.; AMORIM, E. C. **Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do Tabuleiro Costeiro de Maceió, AL, período 1972-2001**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria - RS, v. 11, n. 2, p. 131-141, 2003.

SPINKS, A.; COOMBES, P.; DUNSTAN, R. H.; KUCZERA, G. **Water Quality Treatment Processes in Domestic Rainwater Harvesting Systems**. 28th International Hydrology and Water Resources Symposium. Wollongong, Australia, 2003.

TARSI, D. **A study of Biosand water filter slow sand water filter**. Disponível em: <<http://www.slowsandfilter.org/>>, acesso em 01 out. 2008.

THOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva**. Navegar editora. São Paulo, 2003.

TWDB. Texas Water Development Board. **The Texas Manual on Rainwater Harvesting**. 3ª Edição. Austin, Texas. 2005.

VACCARI, K. P.; REBOUÇAS, T. C.; BOLSONI, P.; BASTOS, F.; GONÇALVES, R. F. **Caracterização da água de chuva para o seu aproveitamento em edificações como fonte alternativa de água para fins não potáveis na região metropolitana de Vitória (ES)**. In: 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Campo Grande, 2005.

WEBER-SHIRK, M.L.; DICK, R.I. **Biological mechanisms in slow sand filtration**. JAWWA, 89:2:72-83. 1997

WHO (World Health Organization). **Slow sand filtration**. Disponível em: <
<http://www.who.int/> >, acesso em 27/11/2008.

ZHU, K.; ZHANG, L.; HART, W.; LIU, M.; CHEN, H. **Quality issues in harvested rainwater in arid and semi-arid Loess Plateau of Northern China**. Journal of Arid Environment. n° 57, p. 487–505. 2004.