

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

ENGENHARIA AMBIENTAL

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA PLUVIAL PARA SISTEMAS
DE APROVEITAMENTO COM SEPARADORES AUTOMÁTICOS**

**Aluna: Anaí Floriano Vasconcelos
Orientador: Eduardo Mario Mendiondo**

Monografia apresentada ao curso de
graduação em Engenharia Ambiental da
Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo.

**São Carlos, SP
2008**

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Eduardo Mario Mendiondo pela orientação do trabalho.

Aos técnicos dos Laboratórios de Saneamento e de Reuso de Água, pela ajuda nas análises laboratoriais.

À todos colegas do Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas, em especial Pedro Caballero e Ricardo Galavoti, pelos conselhos e apoio técnico.

Aos meus pais, Marta e Roberto, e à minha irmã, Tainá, pela formação para a vida, suporte para a luta e amor.

Às amigas e companheiras de república, Carla e Júlia, pela compreensão e apoio nos momentos difíceis.

Ao Prof. Dr. Francisco Arthur Silva Vecchia pela utilização dos protótipos para a instalação dos sistemas de captação e armazenamento de água de chuva.

Ao pessoal da NMP pela construção dos sistemas de captação e armazenamento de água de chuva.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REVISÃO DA LITERATURA	5
3.1. COBERTURA VERDE	5
3.2. SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL.....	6
3.3. COEFICIENTE DE RUNOFF	8
3.4. QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA ESCOADA PELA COBERTURA VERDE	12
3.5. PARÂMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS	15
3.6. QUALIDADE DA ÁGUA PARA APROVEITAMENTO	16
4. MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1. OS SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA.....	23
4.1.1. <i>Telha de embalagens longa vida</i>	25
4.1.2. <i>Cobertura Verde Leve</i>	26
4.1.3. <i>Calhas</i>	28
4.1.4. <i>Amostradores</i>	28
4.1.5. <i>Filtro VF1</i>	30
4.1.6. <i>Caixa para retenção do first-flush</i>	30
4.1.7. <i>Tanque de armazenamento</i>	32
4.1.8. <i>Trincheira de infiltração</i>	32
4.1.9. <i>Bomba</i>	33
4.1.10. <i>Filtro</i>	33
4.2. ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DA CVL NA QUALIDADE DA ÁGUA..	34
4.3. ORIGEM DOS DADOS	35
4.4. CLASSIFICAÇÃO TEMPORAL DOS EVENTOS	36
4.5. IPA	36
4.6. VARIAÇÃO TEMPORAL DOS PARÂMETROS NO DECORRER DO ANO.....	37
4.7. COMPARAÇÃO DA QUALIDADE NOS AMOSTRADORES DO TELHADO IMPERMEÁVEL E DO TELHADO PERMEÁVEL.....	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1. ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DA CVL NA QUALIDADE DA ÁGUA..	39
5.2. CARACTERIZAÇÃO DOS EVENTOS	55
5.3. COMPARAÇÃO DA QUALIDADE NOS AMOSTRADORES DO TELHADO IMPERMEÁVEL E DO TELHADO PERMEÁVEL.....	72
5.4. POTENCIALIDADE DE USO DA ÁGUA CAPTADA	86
5.5. INDICADORES	89
6. CONCLUSÕES	95
7. RECOMENDAÇÕES.....	99
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Composição de uma cobertura verde extensiva (PLANNING GUIDE, 2000).	5
Figura 2. Mapa do campus 1 da USP em São Carlos destacando os lotes experimentais. Adaptado da página oficial na internet da Escola de Engenharia de São Carlos.....	24
Figura 3. Esquema geral dos sistemas de captação de água de chuva utilizados no experimento (GALAVOTI et al, 2007).....	25
Figura 4. Superfície de captação impermeável no LAEG 1.....	26
Figura 5. Composição da CVL (VECCHIA e NOLASCO, 2006).	27
Figura 6. Superfície de captação permeável no LAEG 2 – CVL.....	28
Figura 7. Amostrador utilizado no experimento.	29
Figura 8. Filtro VF1 de água de chuva (3P Technik, 2008).	30
Figura 9. Reservatório de auto-limpeza.	31
Figura 10. Etapas de construção da trincheira.....	33
Figura 11. Alteração do pH após passagem por CVL.	40
Figura 12. Alteração da turbidez após passagem por CVL.	41
Figura 13. Alteração da cor após passagem por CVL.....	41
Figura 14. Alteração da DQO após passagem por CVL.	42
Figura 15. Alteração da DBO após passagem por CVL.....	42
Figura 16. Alteração do nitrogênio total após passagem por CVL.....	43
Figura 17. Alteração do nitrogênio amoniacial após passagem por CVL.....	44
Figura 18. Alteração do nitrito após passagem por CVL.....	44
Figura 19. Alteração do nitrato após passagem por CVL.	45
Figura 20. Alteração do fosfato após passagem por CVL.....	45
Figura 21. Alteração do OD após passagem por CVL.	46
Figura 22. Alteração dos coliformes totais após passagem por CVL	47
Figura 23. Alteração dos coliformes fecais após passagem por CVL.....	47
Figura 24. Alteração dos cloreto.....	48
Figura 25. Alteração da dureza após passagem por CVL.	49
Figura 26. Alteração da condutividade após passagem por CVL.	49
Figura 27. Alteração do ortofosfato após passagem por CVL.....	50
Figura 28. Alteração do fósforo solúvel após passagem por CVL.....	50
Figura 29. Alteração dos sólidos totais após passagem por CVL.....	51
Figura 30. Alteração dos sólidos suspensos após passagem por CVL.....	52
Figura 31. Alteração dos sólidos dissolvidos após passagem por CVL.....	53
Figura 32. Alteração da concentração de zinco após passagem por CVL.....	53
Figura 33. Alteração da concentração de ferro após passagem por CVL.....	54
Figura 34. Alteração da concentração de cobre após passagem por CVL.....	55
Figura 35. Lâmina diária precipitada e radiação solar média incidente durante o período de insolação.	57
Figura 36. Variação do pH no decorrer do período de amostragem.....	61
Figura 37. Variação da turbidez no decorrer do período de amostragem.....	62
Figura 38. Variação da cor no decorrer do período de amostragem.	63
Figura 39. Variação da condutividade no decorrer do período de amostragem.	64
Figura 40. Variação da DQO no decorrer do período de amostragem.....	65
Figura 41. Variação da dureza no decorrer do período de amostragem.....	67
Figura 42. Variação dos coliformes totais no decorrer do período de amostragem.....	68

Figura 43. Variação dos coliformes fecais no decorrer do período de amostragem.....	70
Figura 44. Variação dos sólidos totais no decorrer do período de amostragem.	71
Figura 45. pH nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado impermeável dos seis eventos.....	72
Figura 46. pH nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado permeável dos seis eventos.....	73
Figura 47.Turbidez nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado impermeável dos seis eventos.....	74
Figura 48.Turbidez nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado permeável dos seis eventos.....	75
Figura 49. Cor nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado impermeável dos seis eventos.....	76
Figura 50. Cor nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado permeável dos seis eventos.....	77
Figura 51. Condutividade nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado impermeável dos seis eventos.....	77
Figura 52. Condutividade nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado permeável dos seis eventos.....	78
Figura 53. DQO nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado impermeável dos seis eventos.....	79
Figura 54. DQO nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado permeável dos seis eventos.....	80
Figura 55. Dureza nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado impermeável dos seis eventos.....	80
Figura 56. Dureza nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado permeável dos seis eventos.....	81
Figura 57. Coliformes totais nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado impermeável dos cinco eventos.	82
Figura 58. Coliformes totais nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado permeável dos cinco eventos.	82
Figura 59. Coliformes fecais nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado impermeável dos cinco eventos.	83
Figura 60. Coliformes fecais nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado permeável dos cinco eventos.	84
Figura 61. Sólidos totais nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado impermeável dos seis eventos.....	85
Figura 62. Sólidos totais nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado permeável dos seis eventos.....	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre características ambientais do telhado verde e convencional baseadas na experiência de Portland-EUA.....	6
Tabela 2 – Variação do coeficiente de <i>runoff</i> em telhados verdes	9
Tabela 3 – Características físicas, químicas e bacteriológicas da água pluvial em São Paulo/SP	15
Tabela 4 – Parâmetros característicos para água de reuso classe 1	19
Tabela 5 – Parâmetros básicos para água de reuso classe 2.....	19
Tabela 6 – Parâmetros básicos para água de reuso classe 3.....	20
Tabela 7 – Variáveis de qualidade de água recomendados para o uso em torres de resfriamento	20
Tabela 8 – Características gerais dos eventos analisados.	56
Tabela 9 – Valores médios, máximos e mínimos observados nos amostradores 1, 3 e 5 do telhado impermeável dos parâmetros analisados para cada evento	58
Tabela 10 – Valores médios, máximos e mínimos observados nos amostradores 1, 3 e 5 do telhado permeável dos parâmetros analisados para cada evento.....	59
Tabela 11 – Potencialidade de aproveitamento da água captada nos sistemas estudados.....	87
Tabela 12 – Parâmetros limitantes para cada sistema e classe de reuso.....	88
Tabela 13 – Relações de avaliação da qualidade da água efluente aplicáveis para cada parâmetro e em cada sistema proposto	90
Tabela 14 – Indicadores de qualidade da água captada em sistemas de aproveitamento de água de chuva	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CVL	Cobertura Verde Leve
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
IPA 28	Índice de Precipitação Antecedente de 28 dias
IPA 7	Índice de Precipitação Antecedente de 7 dias
NTU	Unidades Nefelométricas de Turbidez
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
RUA	Racionalização do Uso da Água

RESUMO

O aproveitamento de água de chuva em lotes domiciliares para fins não potáveis é uma prática cada vez mais comum no Brasil. Isso se deve ao aumento da ameaça de escassez desse recurso natural e sua consequente valorização. No entanto, esta prática ainda é realizada de forma bastante simplificada, sem otimização. Um exemplo são os métodos utilizados para descarte do *first-flush*, os quais não consideram as características do local e das precipitações em questão. Com o intuito de otimizar a captação seletiva de águas pluviais para fins não potáveis, esse trabalho visa iniciar estudos que embasem esta seleção. Para tanto, são estudadas as características qual-quantitativas de seis eventos de precipitação no município de São Carlos/SP e são propostos indicadores de qualidade da água de chuva escoada por dois diferentes tipos de superfícies de captação. Com base em parâmetros de qualidade de água para reuso e nos resultados obtidos nas análises laboratoriais, são propostos métodos de seleção da água a ser armazenada. Estes métodos podem ser utilizados na calibração de sistemas automáticos de descarte de *first-flush*, o que otimizaria o processo de captação e aproveitamento de água de chuva.

Palavras-chave: Aproveitamento de água de chuva para fins não-potáveis; indicadores de qualidade; reservação seletiva automática.

ABSTRACT

The use of rainwater in home lots for non-drinking ends is a practice more and more common in Brazil. That is due to the increase of the threat of shortage of that natural resource and its consequent valorization. However, this practice is still accomplished in a simplified way, without optimization. Examples of this are the methods used for discard of the first-flush, which don't consider the characteristics of the place and of the precipitations where the collect is done. With the intention of optimizing the selective rainwater catchment system waters for non-drinking use, this work seeks to begin studies to base this selection. For that they are studied the quality-quantitative characteristics of six precipitation events in the municipal district of São Carlos/SP and they are proposed indicators of quality of the rainwater drained by two different collect surfaces. Based in parameters of water quality for reuse and in the results obtained in the laboratorial analysis, they are proposed methods for the selection of the water to be stored. These methods can be used in the calibration of automatic systems of first-flush discard, what would optimize the catchment and use of rainwater.

1. INTRODUÇÃO

As atuais evidências acerca da indisponibilidade de água para as gerações futuras direcionam a práticas de Racionalização do Uso da Água (RUA). Segundo a Agência das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2007) no relatório “Água: uma Responsabilidade Compartilhada”, em 20 anos, dois terços da população mundial enfrentará falta de água. A otimização dos processos de RUA pode aumentar a qualidade da água captada e a disponibilidade da tecnologia para a população. A “drenagem inteligente” em escala de lote domiciliar, visando reservação seletiva, é um potencial que pode ajudar a garantir o suprimento de água de qualidade. A reservação de águas pluviais sem qualquer parâmetro de seleção pode causar problemas de saúde, por contato primário, e funcionais, como entupimentos de encanamentos e multiplicação de microrganismos. Estudos mostraram que 42% das crianças com idade de 4 a 6 anos que beberam água de chuva tiveram problemas de doenças gastro-intestinais (HEYWORTH e ROWE, 2005).

Em média, 47% do consumo de água em uma casa no Brasil é para fins não potáveis, com descarga em vasos sanitários, limpeza da casa, lavagem de carros e rega de jardins (TOMAZ, 2003). A reservação de água pluvial para fins não-potáveis é uma abordagem moderna que auxilia diretamente à qualidade e quantidade das águas de drenagem urbana. Quando aplicada na escala de lote domiciliar, a reservação de água pode ser um elemento com finalidades múltiplas. Primeiro, como elemento de “detenção local” de água para uso posterior às ocorrências de chuvas; segundo, como elemento de “gestão descentralizada”, por colaborar com a mitigação de poluição difusa na escala de geração do escoamento. Ohnuma Jr. (2006) apresentou planos de bacia que incluem a reservação de água pluvial domiciliar e seus impactos na drenagem urbana. Nesse trabalho, o autor faz menção à reservação seletiva de água pluvial como uma medida não-convencional de reservação de água para o controle da poluição em lote domiciliar. Neste caso, a reservação seletiva destaca-se como tecnologia alternativa para o controle da drenagem urbana. Este trabalho é composto pelo estudo de dois tipos de superfície de captação de água de chuva, sendo avaliada, para cada uma delas, a qualidade da água de chuva por ela escoada. Para tanto foi realizada a caracterização episódica

dos eventos estudados, a avaliação do comportamento da qualidade da água nos amostradores, a variação da qualidade no decorrer do ano, a verificação da interferência da Cobertura Verde Leve (CVL) na qualidade da água escoada e as potencialidades de uso da água coletada para fins não potáveis.

2. OBJETIVOS

Este trabalho propõe objetivos gerais e específicos. Como objetivos gerais procura-se:

1. analisar experimentalmente parâmetros de qualidade de água pluvial em diferentes superfícies de captação, tanto permeáveis como impermeáveis, no decorrer de eventos episódicos do regime natural de precipitações;
2. propor indicadores para seleção automática da água de escoamento pluvial a ser armazenada para fins não-potáveis.

Para atingir tais objetivos, os objetivos específicos deste trabalho são:

1. implantar sistemas de captação e aproveitamento de água de chuva para fins não-potáveis;
2. estudar as diferenças na qualidade da água de escoamento de superfícies permeáveis e impermeáveis;
3. caracterizar quali-quantitativamente eventos de precipitação;
4. correlacionar a qualidade da água captada com as características dos eventos do regime natural de precipitações;
5. avaliar as potencialidades de uso da água captada nos sistemas de cobertura permeável e impermeável para fins não-potáveis.

3. REVISÃO DA LITERATURA

O conteúdo teórico para a realização do estudo proposto é bastante abrangente, no entanto essencial para a fundamentação e melhor entendimento do trabalho. Dessa forma, é apresentada nesse capítulo uma síntese dos principais tópicos teóricos relacionados com esse trabalho.

3.1. COBERTURA VERDE

Cobertura verde, ajardinada ou ecológica é toda estrutura de telhado ou cobertura que agrega em sua composição uma camada de solo e outra de vegetação, uma vez que seu sistema construtivo consiste em uma técnica de aplicação de camadas (PECK, 1999). Conforme sua tipologia, podem ser classificadas em intensiva ou extensiva.

A cobertura verde intensiva caracteriza-se por camadas de solo de mais de 20 cm de espessura e vegetação arbustiva, de médio ou grande porte. A cobertura verde extensiva possui uma camada de solo de menor espessura e carga média equivalente a 100 kg/m². Neste tipo de cobertura, aplica-se vegetação de pequeno porte (MORAIS, 2004).

De modo geral, uma cobertura verde extensiva contém os materiais relacionados na Figura 1.

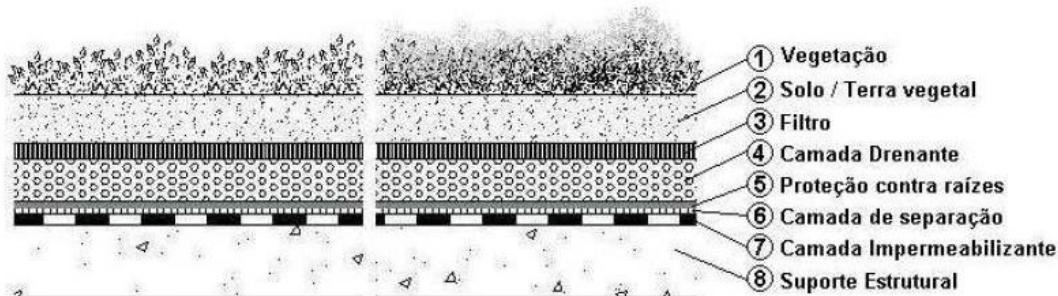


Figura 1. Composição de uma cobertura verde extensiva (PLANNING GUIDE, 2000).

3.2. SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

O sistema de aproveitamento da água de chuva compreende, basicamente, a coleta da água pluvial através de áreas de captação, o direcionamento, através de calhas e condutores, e o armazenamento em reservatórios de acumulação (ANA, 2005). Adicionalmente, existe a necessidade de instalações hidráulicas dedicadas exclusivamente ao sistema de aproveitamento para conduzir a água de chuva aos pontos de utilização.

Até o momento não existem padrões de qualidade definidos no Brasil para a utilização de água de chuva para fins não-potáveis, entretanto estes parâmetros serão sugeridos pela ABNT, em norma específica, a qual se encontra em fase de consulta nacional.

Em um sistema de captação e aproveitamento de água pluvial pode-se utilizar telhados ou pavimentos como superfície de captação, sendo que a água captada através de telhados geralmente apresenta qualidade superior. Áreas de captação com projeção horizontal superiores a 350m², normalmente, apresentam-se mais favoráveis ao investimento de um sistema de aproveitamento de água pluvial quando comparadas a menores áreas, mesmo utilizando os métodos tradicionais de dimensionamento (MORUZZI et al, 2008).

Considerando-se a cobertura tradicional e o telhado verde como potenciais superfícies de captação a serem utilizadas no sistema de aproveitamento de água de chuva, a Tabela 1 contém um panorama comparativo entre os dois.

Tabela 1 - Comparação entre características ambientais do telhado verde e convencional baseadas na experiência de Portland-EUA (LIPTAN e STRECKER¹ (2003) apud FERREIRA e MORUZZI, 2008).

Assunto:	Telhado Verde	Telhado Convencional
Água de chuva		
Retenção de volume	10-35% durante a época chuvosa, 65 a 100% durante a época seca	Nenhuma

Continua...

¹ LIPTAN, T.; STRECKER E. **Ecoroofs (Greenroofs) – A More Sustainable Infrastructure.** In: NATIONAL CONFERENCE ON URBAN STORM WATER: ENHANCING PROGRAMS AT THE LOCAL LEVEL, 2003, Chicago. **Proceedings...** Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency., [2003]. p. 198-214.

Continuação:

Assunto:	Telhado Verde	Telhado Convencional
Água de chuva		
Mitigação da vazão de pico	Redução dos picos de escoamento de chuvas intensas	Nenhuma
Mitigação da temperatura	Todas as chuvas	Nenhuma
Melhoria da qualidade da água	Retém a deposição atmosférica e retarda a degradação dos materiais que compõem o telhado, menores volumes e menor carreamento de poluentes	Não
Qualidade do ar	Filtrar o ar, previne o aumento da temperatura, armazena o carbono	Nenhuma
Conservação de energia	Isolamento das construções, redução dos impactos da ilhas de calor urbanas	Nenhuma
Vegetação	Permite a evapotranspiração sazonal, promove a fotossíntese, o oxigênio, o balanço carbono hídrico	Nenhuma
Espaço verde	Realoca espaços verdes perdidos com as edificações, no entanto não equivale a uma floresta	Nenhuma
Bônus no zoneamento de área de piso	0,3 m ² de coeficiente de área de pavimento adicional para cada 0,09 m ² de telhado ecológico quando a construção cobrir mais de 60%	Nenhuma
Redução das taxas de drenagem urbana	Pode chegar a 45%	Nenhuma
Aprovado como medida de gestão de água de chuva	Para todas as necessidades atuais da cidade	Não
Habitat	Para insetos e pássaros	Nenhuma
Habitabilidade	Amortece ruídos, elimina luzes ofuscantes, alternativa estética, oferece recreação passiva	Nenhuma

Continua...

Continuação:

Assunto:	Telhado Verde	Telhado Convencional
Água de chuva		
Custos	Altamente variável entre 54 e 130 US\$/m ² para novas construções, e 75-215 US\$/m ² para reforma	Altamente variável entre 22 e 107 US\$/m ² para novas construções, e 43-161 US\$/m ² para reforma
Custos compensáveis	Redução dos equipamentos de água de chuva, economia de energia, aumento do valor de aluguel e da propriedade, redução da necessidade do uso de materiais isolantes, redução do volume de esgoto, criação de indústrias e empregos	Nenhum
Durabilidade	Membrana impermeável protegida da ação da temperatura e da exposição solar dura mais de 36 anos	Pouca proteção, exposição aos elementos, dura menos de 20 anos

Na Tabela 1 é importante salientar alguns aspectos. No item “Qualidade do ar”, a função de filtragem do ar pelo Telhado Verde é questionável, em especial pela nomenclatura utilizada. Quanto à “Redução das taxas de drenagem urbana”, não são evidenciadas as condições de experimento para a obtenção do resultado apresentado.

3.3. COEFICIENTE DE *RUNOFF*

O coeficiente de *runoff*, ou coeficiente de escoamento superficial direto, equivale à parcela da água que escoa superficialmente. Este coeficiente depende diretamente de diversos fatores, como tipo de solo, ocupação da bacia, umidade antecedente e intensidade da chuva.

Dadas as características diferenciadas, especialmente aquelas referentes às parcelas escoadas e retidas, o telhado verde tem uma tendência a gerar menores volumes de água de chuva quando comparado a telhados convencionais, principalmente em precipitações ocorridas após longos

períodos de estiagem. Isto se deve ao menor coeficiente de *runoff* observado no telhado verde.

Köhler, Schmidt e Sickermann (2001) afirmaram que cerca de 75% da precipitação anual pode ser armazenada no telhado verde e o volume não consumido pelo substrato e pela vegetação pode ser utilizado como alternativa para substituir a água na descarga de vasos sanitários, em máquinas de lavar roupa ou na rega de jardins. Este valor é próximo ao obtido por Khan (2001 apud TOMAZ, 2005) onde foi calculado o valor médio do coeficiente de escoamento superficial (*runoff*) para telhados verdes igual a 0,27. Esse valor de coeficiente implica em uma perda para o aproveitamento de 73% de água pluvial, o que reduz o volume aproveitável dessa água pela captação através do telhado verde, quando comparado aos telhados convencionais com escoamento superficial variando de 0,7 a 0,95. Robertson et al. (2005) observaram também o caráter temporário da retenção de água de chuva pelo telhado verde. De acordo com os autores, o valor do coeficiente de *runoff* racional varia de acordo com a intensidade das precipitações (Tabela 2).

Tabela 2 – Variação do coeficiente de *runoff* em telhados verdes (Robertson et al, 2005).

Coeficiente de <i>Runoff</i>		
Classificação	Quantidade de Chuva	Racional
Baixa	< 13 mm	0,07
Média	13 mm – 25 mm	0,13
Alta	25 mm – 39 mm	0,25
Muito Alta	> 39 mm	0,55

Para telhas cerâmicas, o coeficiente de escoamento superficial sugerido por Tucci et al. (1995) e Tomaz (2003) é de 0,8.

Com o valor do coeficiente de *runoff* pode-se calcular o volume de água potencial para captação utilizando-se a seguinte equação (TOMAZ, 2003):

$$V_p = (C.A.P)/1000 \quad (1)$$

onde:

V_p = volume de precipitação diária (m^3); C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional); P = precipitação diária (mm); A = área de captação (m^2).

Com relação aos volumes retidos pelos telhados verdes, vale lembrar que os volumes de água de chuva necessários à manutenção do telhado verde não podem ser comparados àqueles descartados pelos extravasores de sistemas que empregam telhados convencionais (dada à capacidade limitada dos reservatórios). Neste último caso, a água descartada foi efetivamente perdida, pois foram lançadas no sistema de drenagem urbana.

Cunha (2004) demonstrou a capacidade de retenção de água do telhado verde através do balanço hídrico composto pela evapotranspiração, precipitação atmosférica, escoamento superficial, infiltração e escoamento subterrâneo pelo leito drenante e delimitado pela superfície impermeável, a laje. O autor mostrou que, considerando o substrato insaturado, em uma simulação de precipitação de 35,41 mm, a cobertura verde pode reter o escoamento em até 13,91 mm, mostrando-se eficaz para a diminuição do escoamento superficial no pico de vazão.

Moran, Hunt e Jennings (2004) concluiram que o telhado verde é capaz de exercer as funções de retenção de água de chuva e redução da vazão de pico. No período analisado, o telhado verde reteve os primeiros 15 mm de precipitação, e, em média, foi capaz de reter 63% da precipitação. A redução do pico de vazão variou entre 78% e 87%.

Pesquisas efetuadas por Teemusk e Mander (2007) indicaram valores que variam entre 70-90% de retenção de águas pluviais no verão, e entre 25-40% no inverno, fatores relacionados diretamente com a taxa de evapotranspiração.

Acrescenta-se a esses dados os obtidos por Köhler et al. (2001) no qual é mostrada a diferença do volume retido nos telhados verdes de climas temperados (Berlim, Alemanha) e de climas tropicais (Rio de Janeiro, Brasil). Enquanto que em Berlim a porcentagem de água retida varia de 50-75% da precipitação anual total, no Rio de Janeiro essa porcentagem é de 65%, devido principalmente à alta taxa de evapotranspiração. Essa variação da porcentagem de retenção merece especial atenção, segundo os autores citados, principalmente devido às condições do clima local, e também devido a

influência do tipo e densidade da vegetação instalada. Por fim, eles concluem que devem ser desenvolvidos estudos que investiguem a diferenciação entre retenção temporária e evapotranspiração.

Mentens et al. (2005) reforçaram a idéia de que em épocas de tempo quente a evapotranspiração é maior devido à maior capacidade de regeneração da retenção de água no substrato. O autor quantificou o volume de escoamento em uma camada de substrato com espessura entre 50 e 150 mm: épocas quentes 30%, épocas frescas 51%, e épocas frias 67%.

Dessa forma, verifica-se que ao mesmo tempo que em épocas quentes chove mais e o substrato do telhado verde está mais úmido, portanto reteria menos água, a taxa de evapotranspiração também é maior, o que faz com que o telhado retenha mais água. Neste balanço, a evapotranspiração age de forma mais intensa que a umidade do telhado. Assim, em períodos mais frios, a retenção do telhado verde é menor.

No entanto, se os eventos de chuva ocorrem próximos uns dos outros (aumento da freqüência) a retenção de água no telhado verde diminui e o volume escoado, passível de ser aproveitado, aumenta. Teemusk e Mander (2007) afirmaram que eventos chuvosos seqüenciais diminuem a capacidade de retenção das camadas do substrato exclusivamente pela sua saturação. De acordo com os autores, a retenção de águas pluviais de um telhado verde pode chegar a 85,7%. No entanto, no estudo apresentado, parte do volume da água de chuva começou a gotejar após cerca de uma hora do início do evento chuvoso, e perdurou por cerca de 9 (nove) horas. Em contrapartida, em uma seqüência de eventos chuvosos durante 6 (seis) dias, o escoamento efluente iniciou após cerca de 20 (vinte) minutos. O volume efluente escoado foi de 12,1 mm dos 18,2 mm da precipitação, resultando em uma porcentagem passível de aproveitamento de 66,5%.

No estudo comparativo, Teemusk e Mander (2007) evidenciaram que após a terceira hora de evento chuvoso o valor da vazão de escoamento de um telhado verde aproxima-se ao de um telhado referência (com cobertura convencional - laje), passa de 10 L/min para 15 L/min, enquanto que a vazão de uma cobertura convencional varia entre 15 e 17 L/min. Isto ocorre devido à saturação do substrato do telhado verde. MacMillan (2004) acrescenta que a capacidade de retenção da água da chuva pelo telhado verde é diretamente

afetada pela saturação do substrato, que varia de acordo com o tipo de composto e com as condições climáticas do local.

Mentens et al. (2005) citaram a profundidade do substrato como outro fator determinante da capacidade de retenção de águas pluviais pelo telhado verde. O autor explicou que em períodos quentes, 1 cm de substrato confere 2,5 mm a menos de escoamento efluente. Em estudos comparativos, o autor demonstrou que o escoamento é inversamente proporcional à espessura do substrato. Espessuras menores que 50 mm, entre 50 mm e 150 mm, e maiores que 150 mm apresentam escoamento superficial de 38%, 30% e 20%, respectivamente. Dessa forma, conclui-se que a espessura do substrato também influencia na retenção de água, sendo que quanto mais espesso, menor o escoamento superficial.

3.4. QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA ESCOADA PELA COBERTURA VERDE

A qualidade da água de chuva coletada em sistemas de captação e aproveitamento de água de chuva depende de diversos fatores, dentre eles a superfície de captação. O primeiro fluxo de água escoado por uma superfície após o período de estiagem apresenta, em geral, concentrações de poluentes maiores que as dos fluxos subseqüentes. Este fenômeno é conhecido como *first-flush*. Alguns sistemas de aproveitamento de água de chuva possuem uma etapa de remoção de sólidos visando melhorar a qualidade da água captada pelo sistema. Sólidos de granulometria elevada (sólidos grosseiros) são removidos através de dispositivos instalados no sistema, tais como peneira, grade, entre outros. Já a remoção de partículas de granulometria menor, que não foram retidos por aqueles dispositivos, é realizada através do descarte dos primeiros milímetros de chuva, definido por Martinson e Thomas (2007) como o volume de água responsável pela lavagem da superfície coletora.

Em alguns países, como Alemanha, Austrália, Estados Unidos, entre outros, estudos aferem quanto a qualidade da água de chuva para fins não potáveis e relatam que o sistema conjugado ao telhado verde tem potencial para alcançar esse padrão, viabilizando a associação do telhado verde com o

aproveitamento da água de chuva. Entretanto, esses mesmos estudos reportam que a passagem da água de chuva pelo telhado verde pode depositar ou lixiviá contaminantes, influenciando diretamente na qualidade da água a ser armazenada.

No caso do telhado verde, o descarte dos primeiros milímetros de chuva poderia ser subtraído devido à ação de filtro imposta pela camada de substrato, areia e brita. Fato que encontra respaldo nos resultados obtidos por Köhler e Schmidt (2003), que apresentam a retenção de sólidos grosseiros e, eventualmente, alguns contaminantes com menor tamanho médio de partículas. Além do mais, o telhado verde funciona como um biofiltro, melhorando consideravelmente a qualidade da água (TOMAZ, 2005). Assim, com a aplicação do telhado verde para captação de água de chuva poderia-se evitar o desperdício decorrente do descarte, aumentar o volume de água passível de aproveitamento e preservar a qualidade da água de chuva captada.

Apesar de o telhado verde poder atuar como um biofiltro da água de chuva (TOMAZ, 2005), Köhler e Schmidt (2003) alertaram para o fato de que a camada verde pode filtrar poluentes e partículas suspensas no ar ou dissolvidas na água de chuva, ou mesmo carrear os poluentes presentes no substrato, comprometendo a qualidade da água armazenada.

No que se refere à incorporação de nutrientes à água de chuva, os dados obtidos por Moran, Hunt e Jennings (2004) mostraram que não houve incremento da qualidade da água de chuva captada através do telhado verde, contradizendo a hipótese original de que o telhado verde seria capaz de reter nutrientes e metais pesados. Ao contrário, as análises laboratoriais mostraram uma significante diferença nas concentrações de nitrogênio total e fósforo total entre as amostras do telhado verde, do telhado de referência e da água de chuva. O telhado verde apresentou as maiores concentrações.

Contudo, Teemusk e Mander (2007) explicaram que os poluentes presentes na água de chuva são acumulados na camada de substrato e liberados quando há a ocorrência de uma chuva intensa. Assim as amostras da água de chuva que escoaram pelo telhado verde apresentaram substâncias como sulfatos, cálcio, magnésio, e sais com concentrações elevadas, devido à presença dessas substâncias no substrato. Outras, tais como fósforo, nitrogênio, DBO e DQO, apresentaram concentrações mais baixas em relação

às amostras de água de chuva de um telhado de referência. Através destes resultados pode-se inferir que o grau de lixiviação, medido através das concentrações efluentes ao telhado verde, dependem dos compostos ou substâncias analisadas. Ainda segundo os autores citados, a concentração de algumas substâncias químicas dependeu da taxa de escoamento de água no substrato (mm/m^2).

MacMillan (2004) acrescenta que, de maneira geral, o telhado verde pôde aumentar a concentração da maioria dos metais, cátions, ânions, diversos nutrientes e bactérias. Entretanto, diminui a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), a quantidade de sólidos suspensos, e a concentração de complexos nitrogenados e alguns compostos como alumínio, cobre e manganês.

A composição do substrato foi o principal fator apontado por Moran, Hunt e Jennings (2004) como responsável pela baixa qualidade da água que passa pelo telhado verde. Segundo os autores, a baixa qualidade evidenciada no escoamento do telhado verde foi decorrente da lixiviação de componentes encontrados em elevadas concentrações (nitrogênio e fósforo), e variou de acordo com as características do substrato. Entretanto, essas concentrações tendem a atingir um valor mínimo com o acontecimento de novos eventos chuvosos.

Quanto à capacidade de retenção de poluentes, verificou-se que esta é diretamente proporcional à espessura do substrato. Camadas de substrato de 12 cm mostraram-se mais eficazes na retenção de poluentes por possuírem maior quantidade de matéria orgânica, quando comparadas com camadas de 5 cm (KÖHLER e SCHMIDT, 2003).

Finalmente, vale mencionar que Robertson et al. (2005) avaliando a qualidade da água de chuva passível de ser aproveitada para fins não-potáveis, verificaram que, independentemente da superfície de captação, existe a possibilidade da água de chuva carrear partículas que podem danificar as partes constituintes do sistema de aproveitamento. Assim, os autores aconselharam a utilização de um dispositivo para retenção dessas partículas.

A adoção do telhado verde como parte constituinte do sistema de aproveitamento de água de chuva demanda análise e cuidados diferenciados daqueles que consideram o telhado convencional como superfície de captação. Parte-se do pressuposto que os benefícios inerentes ao telhado verde devem

ser incorporados às práticas de aproveitamento de água de chuva. Ao se considerar a retenção da água de chuva no telhado verde como volume aproveitável, e não perda, respalda-se no fato de que esta água não é lançada no sistema de drenagem urbana, como ocorre nos casos de descarte e/ou extravasamento de sistemas de aproveitamento de água de chuva com telhados convencionais.

Com relação aos aspectos qualitativos, os resultados demonstraram que o telhado verde pode tanto reter quanto carrear poluentes, e que a composição do substrato, vazão do escoamento, tipo de cobertura vegetal e tempo de estabelecimento da vegetação, são fatores determinantes no comportamento desse balanço.

Adicionalmente, a análise dos resultados aponta para a potencialidade do telhado verde de captar água de chuva em períodos de chuva intensa ou com intervalos de ocorrência curtos. Se considerarmos que o maior potencial de aproveitamento se dá justamente no período de maior disponibilidade (época de chuvas), pode-se inferir que as limitações referentes ao volume coletado, decorrentes da adoção do telhado verde como parte integrante do sistema de aproveitamento de água de chuva, ficam restritas à eventos chuvosos ocorridos somente após longos períodos de estiagem.

3.5. PARÂMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS

A importância da determinação de parâmetros físicos, químicos e biológicos para a caracterização e análise da viabilidade de aproveitamento da água de chuva é óbvia e clara. Como referência da qualidade das águas pluviais, May (2004) apresenta uma tabela com os valores observados de diversos parâmetros na água de chuva em São Paulo – SP (Tabela 3).

Tabela 3 – Características físicas, químicas e bacteriológicas da água pluvial em São Paulo/SP (MAY, 2004).

Parâmetros	Água coletada na tubulação		
	Mínimo	Médio	Máximo
Cor (UH)	20	52,5	218

Continua...

Continuação:

Parâmetros	Água coletada na tubulação		
	Mínimo	Médio	Máximo
Turbidez (UNT)	0,6	1,6	7,1
Alcalinidade (mg/L)	4	30,6	60
pH	5,8	7,0	7,6
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	7,0	63,4	126,2
Dureza (mg/L)	4,0	39,4	68,0
Cálcio (mg/L)	ND	15,0	24,3
Magnésio (mg/L)	ND	1,1	2,2
Ferro (mg/L)	0,01	0,14	1,65
Cloreto (mg/L)	2,0	8,8	14,0
Sulfatos (mg/L)	2,0	8,3	21,0
Sólidos totais (mg/L)	10	88	320
Sólidos suspensos totais (mg/L)	2	30	183
Sólidos suspensos voláteis (mg/L)	0	15	72
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	2	58	177
Sólidos dissolvidos voláteis (mg/L)	0	39	128
OD (mg/L)	1,6	20	42
DBO (mg/L)	0,4	2,5	5,2
Nitrato (mg/L)	0,5	4,7	20
Nitrito (mg/L)	0,1	0,8	3,8
Coliformes totais (100 mL^{-1})	< 1	> 70	> 80

3.6. QUALIDADE DA ÁGUA PARA APROVEITAMENTO

Segundo, a ANA (2005) as águas para reuso são divididas em quatro classes, conforme os seus usos preponderantes. Para as águas de reuso de classe 1 prevê-se o uso em bacias sanitárias, lavagem de pisos, uso para fins ornamentais (chafarizes, espelhos de água, etc.), lavagem de roupas e de veículos. Já na classe 2, os usos previstos são associados às fases de

construção da edificação. São estes: lavagem de agregados, preparação de concreto, compactação do solo e controle de poeira. Com as águas de reuso de classe 3, os usos pretendidos são irrigação de áreas verdes e rega de jardins. Para as águas de classe 4, o uso pretendido é no resfriamento de equipamentos de ar condicionado (torres de resfriamento).

De modo geral, são apresentadas a seguir as exigências mínimas para diferentes atividades.

Água para irrigação, rega de jardim, lavagem de pisos:

- não deve apresentar mal-cheiro;
- não deve conter componentes que agridam as plantas ou que estimulem o crescimento de pragas;
- não deve ser abrasiva;
- não deve manchar superfícies;
- não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.

Água para descarga em bacias sanitárias:

- não deve apresentar mal-cheiro;
- não deve ser abrasiva;
- não deve manchar superfícies;
- não deve deteriorar os metais sanitários;
- não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.

Água para refrigeração e sistema de ar condicionado:

- não deve apresentar mal-cheiro;
- não deve ser abrasiva;
- não deve manchar superfícies;
- não deve deteriorar máquinas;
- não deve formar incrustações.

Água para lavagem de veículos:

- não deve apresentar mal-cheiro;
- não deve ser abrasiva;
- não deve manchar superfícies;
- não deve conter sais ou substâncias remanescentes após secagem;
- não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.

Água para lavagem de roupa:

- deve ser incolor;
- não deve ser turva;
- não deve apresentar mau-cheiro;
- deve ser livre de algas;
- deve ser livre de partículas sólidas;
- deve ser livre de metais;
- não deve deteriorar os metais sanitários e equipamentos;
- não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.

Água para uso ornamental:

- deve ser incolor;
- não deve ser turva;
- não deve apresentar mau-cheiro;
- não deve deteriorar os metais sanitários e equipamentos;
- não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.

Água para uso em construção civil: na preparação de argamassas, concreto, controle de poeira e compactação de solo:

- não deve apresentar mau-cheiro;
- não deve alterar as características de resistência dos materiais;
- não deve favorecer o aparecimento de eflorescências de sais;

- não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.

Com as características apresentadas verifica-se que os principais aspectos são relativos à segurança, tanto de saúde, quanto física, devido ao contato de seres humanos com a água de reuso e aos aspectos estéticos. Para prevenção de maiores problemas, ANA (2005) propõe os parâmetros mais importantes a serem verificados em cada uma das quatro classes de água de reuso (Tabelas 4 a 7).

Tabela 4 – Parâmetros característicos para água de reuso classe 1 (ANA, 2005).

Parâmetros	Concentrações
Coliformes fecais ²	Não detectáveis
pH	Entre 6,0 e 9,0
Cor (UH)	≤ 10 UH
Turbidez (UT)	≤ 2 UT
Odor e aparência	Não desagradáveis
Óleos e graxas (mg/L)	≤ 1 mg/L
DBO ³ (mg/L)	≤ 10 mg/L
Compostos orgânicos voláteis ⁴	Ausentes
Nitrato (mg/L)	< 10 mg/L
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	≤ 20 mg/L
Nitrito (mg/L)	≤ 1 mg/L
Fósforo total ⁵ (mg/L)	≤ 0,1 mg/L
Sólidos suspensos totais (mg/L)	≤ 5 mg/L
Sólidos dissolvidos totais ⁶ (mg/L)	≤ 500 mg/L

Tabela 5 – Parâmetros básicos para água de reuso classe 2 (ANA, 2005).

Parâmetros	Concentrações
Coliformes fecais	≤ 1000/100 mL

Continua...

² Esse parâmetro é prioritário para os usos considerados.

³ O controle da carga orgânica biodegradável evita a proliferação de microrganismos e cheiro desagradável, em função dos processos de decomposição, que podem ocorrer em linhas e reservatórios de decomposição.

⁴ O controle deste composto visa evitar odores desagradáveis, principalmente em aplicações externas em dias quentes.

⁵ O controle de formas de nitrogênio e fósforo visa evitar a proliferação de algas e filmes biológicos, que podem formar depósitos em tubulações, peças sanitárias, reservatórios, tanques, etc.

⁶ Valor recomendado para lavagem de roupas e veículos.

Continuação:

Parâmetros	Concentrações
pH	Entre 6,0 e 9,0
Odor e aparência	Não desagradáveis
Óleos e graxas (mg/L)	$\leq 1,0$ mg/L
DBO (mg/L)	≤ 30 mg/L
Compostos orgânicos voláteis	Ausentes
Sólidos suspensos totais (mg/L)	30 mg/L

Tabela 6 – Parâmetros básicos para água de reuso classe 3 (ANA, 2005).

Parâmetros	Concentrações																		
pH	Entre 6,0 e 9,0																		
Salinidade	$0,7 < EC$ (dS/m) $< 3,0$ $450 < SDT$ (mg/L) < 1500																		
Toxicidade por íons específicos	<table> <tr> <td>Para irrigação superficial</td> <td>Sódio (SAR)</td> <td>Entre 3 e 9</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Cloreto (mg/L)</td> <td>< 350 mg/L</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Cloro residual (mg/L)</td> <td>Máxima de 1 mg/L</td> </tr> <tr> <td>Para irrigação com aspersores</td> <td>Sódio (SAR)</td> <td>$\leq 3,0$</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Cloreto (mg/L)</td> <td>< 100 mg/L</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Cloro residual (mg/L)</td> <td>$< 1,0$ mg/L</td> </tr> </table>	Para irrigação superficial	Sódio (SAR)	Entre 3 e 9		Cloreto (mg/L)	< 350 mg/L		Cloro residual (mg/L)	Máxima de 1 mg/L	Para irrigação com aspersores	Sódio (SAR)	$\leq 3,0$		Cloreto (mg/L)	< 100 mg/L		Cloro residual (mg/L)	$< 1,0$ mg/L
Para irrigação superficial	Sódio (SAR)	Entre 3 e 9																	
	Cloreto (mg/L)	< 350 mg/L																	
	Cloro residual (mg/L)	Máxima de 1 mg/L																	
Para irrigação com aspersores	Sódio (SAR)	$\leq 3,0$																	
	Cloreto (mg/L)	< 100 mg/L																	
	Cloro residual (mg/L)	$< 1,0$ mg/L																	
Boro (mg/L)	<table> <tr> <td>Irrigação de culturas alimentícias</td> <td>0,7 mg/L</td> </tr> <tr> <td>Regas de jardim e similares</td> <td>3,0 mg/L</td> </tr> </table>	Irrigação de culturas alimentícias	0,7 mg/L	Regas de jardim e similares	3,0 mg/L														
Irrigação de culturas alimentícias	0,7 mg/L																		
Regas de jardim e similares	3,0 mg/L																		
Nitrogênio total (mg/L)	5 – 30 mg/L																		
DBO (mg/L)	< 20 mg/L																		
Sólidos suspensos totais (mg/L)	< 20 mg/L																		
Turbidez (UT)	< 5 UT																		
Cor aparente (UH)	< 30 UH																		
Coliformes fecais	$\leq 200/100$ mL																		

Tabela 7 – Variáveis de qualidade de água recomendados para o uso em torres de resfriamento (ANA, 2005).

Variável	Sem recirculação	Com recirculação
Sílica (mg/L)	50	50
Alumínio (mg/L)	Sem recomendação	0,1
Ferro (mg/L)	Sem recomendação	0,5
Manganês (mg/L)	Sem recomendação	0,5
Amônia (mg/L)	Sem recomendação	1,0
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	1000	500

Continua...

Continuação:

Variável	Sem recirculação	Com recirculação
Cloreto (mg/L)	600	500
Dureza (mg/L)	850	650
Alcalinidade (mg/L)	500	350
Sólidos em suspensão totais (mg/L)	5000	100
pH	5,0 – 8,3	6,8 – 7,2
Coliformes totais (100 mL ⁻¹)	Sem recomendação	2,2
Bicarbonato (mg/L)	600	24
Sulfato (mg/L)	680	200
Fósforo (mg/L)	Sem recomendação	1,0
Cálcio (mg/L)	200	50
Magnésio (mg/L)	Sem recomendação	30
OD (mg/L)	Presente	Sem recomendação
DQO (mg/L)	75	75

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta as etapas do experimento, de forma a simplificar o seu entendimento. Primeiramente vêm as instalações físicas dos protótipos e, posteriormente, os métodos utilizados para as análises das amostras e dos resultados.

4.1. OS SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA

No experimento foram utilizados dois sistemas de captação e aproveitamento de água de chuva em construções diferentes. Em um deles, a superfície de captação é de telhas onduladas feitas com o reuso de caixas longa vida, da empresa parceira Ibaplac – LAEG 1 – ou seja, um telhado impermeável. No outro, o telhado é composto por uma Cobertura Verde Leve (CVL) – LAEG 2 – ou seja, trata-se de um telhado permeável. Ambos os protótipos encontram-se no campus 1 de São Carlos da Universidade de São Paulo (Figura 2). Excetuando-se as coberturas de captação, os sistemas são semelhantes, diferindo apenas nas distâncias de uma unidade para a outra, conforme os projetos das casas.



Figura 2. Mapa do campus 1 da USP em São Carlos destacando os lotes experimentais.
Adaptado da página oficial na internet da Escola de Engenharia de São Carlos.

Cada um dos sistemas é composto por:

1. Superfície de captação

2. Calhas
3. Amostrador
4. Filtro VF1
5. Caixa para retenção do *first-flush*
6. Tanque de armazenamento
7. Trincheira de infiltração
8. Bomba
9. Filtro

Um esquema geral do sistema utilizado no experimento é apresentado na Figura 3.

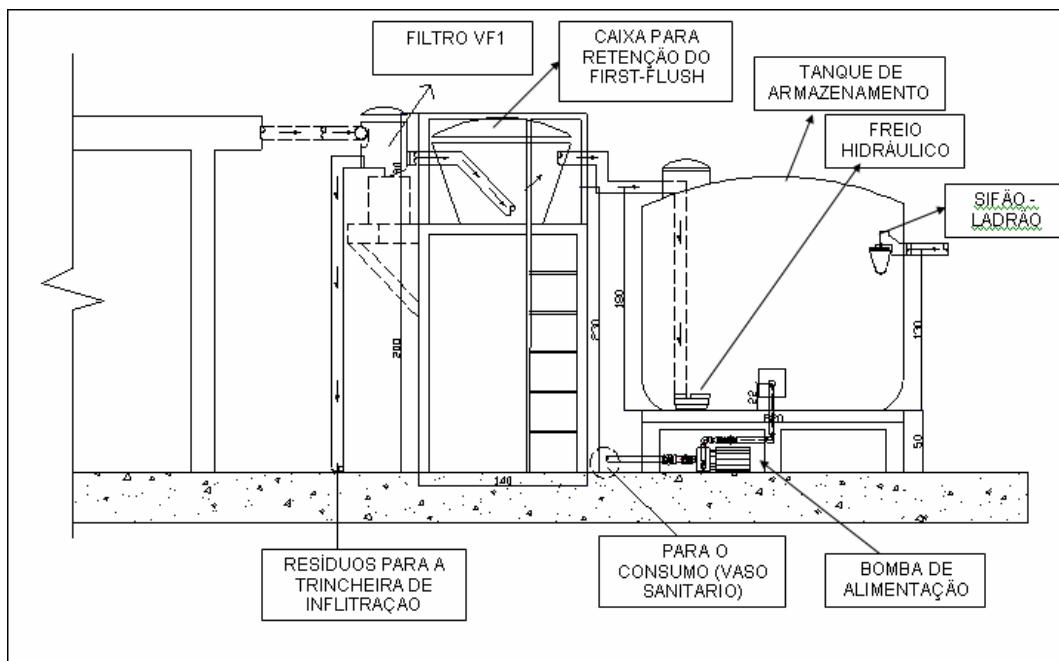


Figura 3. Esquema geral dos sistemas de captação de água de chuva utilizados no experimento (GALAVOTI et al, 2007).

4.1.1. Telha de embalagens longa vida

Estas telhas fazem parte de um projeto que visa à construção de casas de baixo custo e para estudos térmicos e acústicos. São fabricadas pela Ibaplac (Ibaté/SP) e caracterizam-se por serem onduladas e compostas por embalagens longa vida. A Figura 4 mostra uma foto das telhas no protótipo. Devido a escassez de dados referentes a este tipo de cobertura em especial,

por se tratar de um material relativamente novo no mercado, foi adotado o coeficiente de *runoff* de 0,80, equivalente ao da telha cerâmica segundo a literatura. A área em projeção horizontal da superfície de captação do telhado impermeável é de 77,55 m².



Figura 4. Superfície de captação impermeável no LAEG 1.

4.1.2. Cobertura Verde Leve

O sistema existente no protótipo é denominado por Cobertura Verde Leve, o qual se caracteriza por ser composto de materiais com a menor massa possível. Os estudos preliminares indicam possibilidade de equivalência entre a massa da CVL e do conjunto estrutura e telha cerâmica. Para impermeabilização foi utilizado um cimento com látex sobre a superfície de concreto da laje pré-fabricada. Esta aumenta a aderência da resina vegetal impermeabilizante e evita fissuras. A resina vegetal aplicada foi o óleo de mamona (*Ricinus communis*). Como elemento drenante foi utilizado o geocomposto MacDrain 2L para rápido escoamento da água, o qual é bastante

leve e flexível. Foi utilizada grama esmeralda (*Paspalum notatum*) no experimento, a qual é bastante resistente à insolação e ao pisoteio. É importante ressaltar que outros tipos de cobertura vegetal poderiam ser utilizadas. A espessura de substrato terroso na CVL é de 8 cm. A Figura 5 apresenta a composição da CVL.

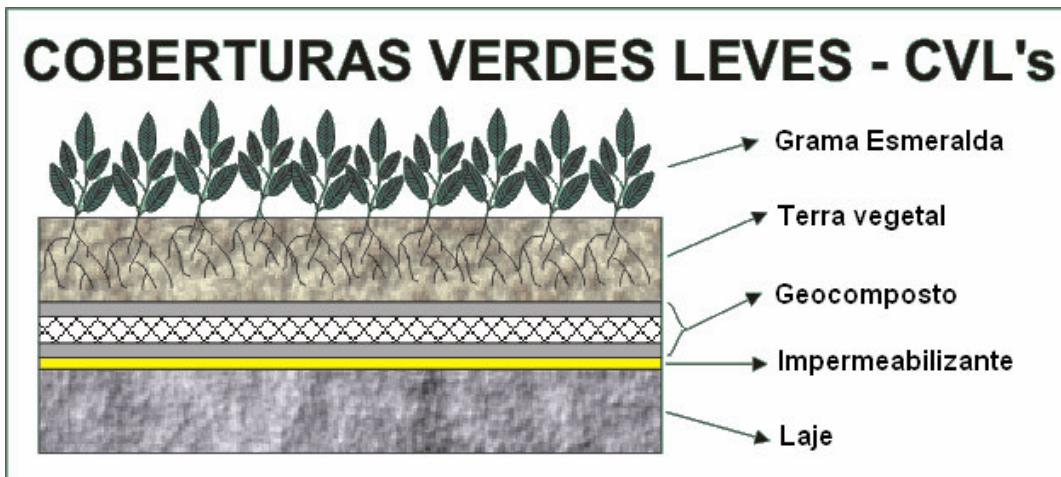


Figura 5. Composição da CVL (VECCHIA e NOLASCO, 2006).

Com base na literatura foi adotado um coeficiente de *runoff* para a CVL de 0,30, o que significa que o percentual aproveitável da água precipitada é de 30%. A área em projeção horizontal da CVL do telhado permeável é de 106,22 m². A Figura 6 mostra uma foto da CVL utilizada no experimento.



Figura 6. Superfície de captação permeável no LAEG 2 – CVL.

4.1.3. Calhas

As calhas são os componentes do sistema responsáveis pelo direcionamento da água coletada na superfície de captação para o sistema de aproveitamento. Neste experimento foram utilizadas calhas em PVC da marca Amanco com bitola de 170 mm. Estas foram situadas ao redor das superfícies de coleta. Pode-se verificar a sua instalação nas Figuras 4 e 6.

4.1.4. Amostradores

Para caracterização da água no decorrer da precipitação é necessária a coleta de amostras seqüenciais durante o evento. Na ausência de um amostrador seqüencial automático para coleta das amostras, foi proposta a instalação de uma tubulação com reservatórios que se enchem conforme chove, de forma que o primeiro reservatório se enche com a água proveniente

dos primeiros instantes de chuva, o segundo, com a água dos instantes seguintes e assim sucessivamente, até o quinto reservatório. Cada reservatório possui 2,5 L de capacidade de armazenamento de água e considera-se que no início da chuva os reservatórios estejam todos vazios. Deve-se considerar que pode ocorrer um pouco de mistura na amostra coletada em cada reservatório, porém esta é a forma mais viável de amostragem com as condições do experimento e a mistura não é muito relevante. Uma foto do amostrador utilizado é encontrada na Figura 7, sendo que a coleta das amostras deve ser realizada em cada um dos registros de coleta. Com relação às coletas, devido às saída dos registros ficarem um pouco acima do nível mínimo do amostrador, sempre fica um pouco de água de precipitações anteriores acumulada, de forma que isto pode interferir em alguns resultados das análises, como os de sólidos totais, os quais podem sedimentar e acumular-se.



Figura 7. Amostrador utilizado no experimento.

4.1.5. Filtro VF1

O filtro VF1 (Figura 8), segundo 3P Technik (2008), funciona de forma que a água, ao chegar ao filtro, escoa através dos vãos entre as ripas da cascata. As sujeiras mais grosseiras, como folhas e galhos, passam por cima das ripas, onde são direcionadas ao descarte. A água de chuva passa, então, por uma tela de 0,26 mm, abaixo das ripas e é direcionada ao reservatório de água de chuva. O descarte dessa unidade é realizado na trincheira de infiltração acoplada ao sistema.



Figura 8. Filtro VF1 de água de chuva (3P Technik, 2008).

4.1.6. Caixa para retenção do first-flush

Um outro modo já consagrado de descarte do *first-flush* é o reservatório de auto-limpeza, o qual retém um volume inicial de água de chuva. Este volume depende da área da superfície de coleta. Segundo Tomaz (1998), este volume deve ser de 0,4 L/m². Já Dacach (1990) considera que o reservatório de auto-limpeza deve conter de 0,8 a 1,5 L/m² de telhado.

O funcionamento do reservatório de auto-limpeza se dá de forma que a água do início da precipitação fique nele contida. Uma forma comumente utilizada é a instalação de uma bóia de nível que, com o enchimento do reservatório, fecha sua entrada, permitindo a passagem da água para o reservatório de armazenamento. Porém, de modo mais simplificado, pode-se também fazer apenas uma entrada pela parte superior de uma caixa e uma

saída apenas um pouco mais baixa que a entrada. Assim, ocorre um pouco de mistura da água, mas se dá a separação do *first-flush*. Este esquema pode ser visualizado na Figura 9.

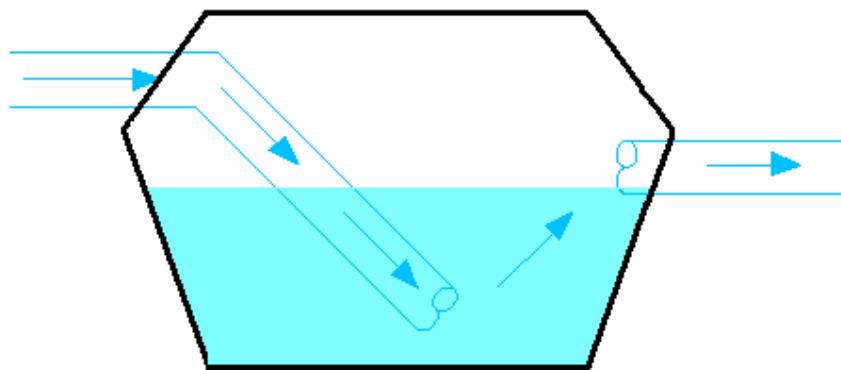


Figura 9. Reservatório de auto-limpeza.

As caixas instaladas no experimento possuem capacidade útil de 222L. Considerando-se as áreas das superfícies de captação e as recomendações da literatura verifica-se que em ambos os protótipos foi adotado um volume maior que o indicado para a retenção do *first-flush*. Isto se justifica pelo fato de as superfícies de captação serem diferentes das comumente utilizadas e pelo sistema adotado, o qual promove um coeficiente de mistura no reservatório, diminuindo a eficiência de retenção do *first-flush*. Esta caixa deve ser esvaziada a cada evento de precipitação. A água removida dessa unidade é direcionada à trincheira de infiltração.

Nestes protótipos a tubulação de entrada da água nesta unidade foi direcionada para o fundo do tanque. Este fato não contribui para a auto-limpeza, visto que pode promover o revolvimento do material sedimentado, em especial quando a caixa se encontra cheia. No caso, como para os experimentos em questão a caixa estava antes dos eventos de precipitação analisados vazia, acredita-se que a interferência deste aspecto não seja negativa, mas até positiva por não promover descolamento de material sedimentado e parcialmente seco pelo jato d'água proveniente do topo da caixa.

4.1.7. Tanque de armazenamento

Em cada um dos protótipos foi instalado um tanque para armazenamento da água coletada. Seu volume útil é de 5 m³. A água armazenada é utilizada na limpeza dos vasos sanitários. Em caso de extravasamento do tanque, a água segue para a trincheira de infiltração.

4.1.8. Trincheira de infiltração

Foi instalada uma trincheira em cada protótipo para facilitar a infiltração dos excedentes dos sistemas de captação e armazenamento de água de chuva no solo. Estas trincheiras são compostas por uma cava no terreno, onde esta é recoberta por geocomposto MacDrain 2L e preenchida por brita. Após o enchimento com brita, outra camada de geocomposto MacDrain 2L é colocada e uma camada de pedras brancas é adicionada para melhorar a estética da unidade (Figura 10). No telhado impermeável, onde o coeficiente de *runoff* é maior, o volume útil da trincheira é de 1,01 m³. Já no telhado permeável, o seu volume útil é de 0,79 m³.



Figura 10. Etapas de construção da trincheira.

4.1.9. Bomba

Dependendo do nível da água na caixa de armazenamento, esta não consegue alimentar a caixa acoplada do vaso sanitário apenas por gravidade, necessitando, portanto de uma bomba. Para tanto, foi instalada uma bomba de $\frac{1}{2}$ hp a qual é acionada por eletroníveis.

4.1.10. Filtro

Antes da entrada na caixa acoplada foi instalado um filtro de 50 micras para melhorar ainda mais a qualidade da água que chega para uso.

4.2. ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DA CVL NA QUALIDADE DA ÁGUA COM APLICAÇÃO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO

Uma verificação da interferência da CVL na água que percola por esta é bastante importante para o estudo da viabilidade da utilização deste elemento acoplado ao sistema de captação e aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis. Assim, foi realizado um procedimento controlado com aplicação de água da rede de abastecimento público na CLV. A água foi aplicada por aspersores em toda a área do telhado por um período de 8 horas. Deste modo, sendo a vazão média da rede de 0,128 L/s, o volume total aplicado foi de aproximadamente 3,70 m³. Este procedimento foi realizado no dia 22 de janeiro de 2008.

Após o período de aplicação da água na CVL, foi coletada uma amostra de cada um dos cinco amostradores e uma amostra da água da rede de abastecimento público e estas foram analisadas em laboratório. Os parâmetros selecionados para caracterização da qualidade das amostras coletadas são:

- Cor. O método utilizado para sua determinação foi Visual Comparison Method (2120 B) de APHA (1998), a 455 nm;
- Turbidez. A turbidez foi calculada pelo procedimento 2130 B – Nephelometric Method do APHA (1998) e medida por um turbidímetro que conta com um nefelômetro;
- pH. O pH foi medido através de um pHímetro com base no método 4500 – H⁺ B do APHA (1998);
- DQO. O método utilizado para a determinação da DQO foi o 5220 D – Closed Reflux, Colorimetric Method (APHA, 1998);
- DBO_{5,20}. O procedimento adotado para determinação da DBO foi o 5210 B do APHA (1998);
- Coliformes totais. O procedimento adotado para a determinação dos Coliformes Totais foi o 9222 B – Standard Total Coliform Membrane Filter Procedure, do APHA (1998);
- Coliformes fecais. Para a determinação da concentração de Coliformes Fecais foi utilizado o método 9222 D – Fecal Coliform Membrane Filter Procedure, do APHA (1998);

- Condutividade/STD. O método utilizado para a determinação da condutividade foi o 2510 B – Laboratory Method de APHA (1998);
- Série de sólidos. Os métodos utilizados para sua determinação são o 2540 B – Total Solids Dried at 103-105°C e o 2540 C – Total Dissolved Solids Dried at 180°C de APHA (1998), para sólidos totais e sólidos dissolvidos totais, respectivamente;
- Dureza total. O método utilizado para a determinação da dureza foi o 2340 C – EDTA Titrimetric Method (APHA, 1998);
- Cloretos; Nitrogênio total; Nitrogênio amoniacial; Nitrato; Nitrito; Oxigênio dissolvido; Fósforo total; Fósforo solúvel; Ortofosfato; Óleos e graxas; Cobre; Chumbo; Zinco; Cádmio; Níquel; Ferro; Manganês; Cromo.

Para todos os parâmetros, a metodologia de análise utilizada foi baseada em APHA (1998), no entanto, as metodologias anteriormente especificadas referem-se aos parâmetros utilizados para todas as análises em todas as amostras do estudo em questão. Todas as análises laboratoriais desse estudo foram realizadas em duplicata.

É importante ainda ressaltar que este procedimento de análise da interferência da superfície de captação na qualidade da água deveria ter sido realizado também para a superfície de captação impermeável, apesar de sua interferência na qualidade da água efluente ser menor.

4.3. ORIGEM DOS DADOS

Os dados de utilizados nesse estudo são provenientes de equipamentos localizados sobre o telhado permeável. A discretização dos dados é de 30 minutos. Os equipamentos utilizados são:

- Pluviômetro Campbell modelo TB4;
- Piranômetro Campbell modelo LI200X;
- Sensor de temperatura Campbell modelo HMP45C;
- Sensor de direção e velocidade do vento Campbell modelo 03001.

4.4. CLASSIFICAÇÃO TEMPORAL DOS EVENTOS

Uma caracterização temporal dos eventos analisados foi realizada, segundo a metodologia de Vasconcelos (2007) descrita a seguir. Para caracterizar os eventos de chuva foram feitos gráficos da proporção da lâmina precipitada pela proporção do tempo total (pluviograma adimensional), com relação à precipitação total e duração total, respectivamente. Com base nestes gráficos, os eventos foram divididos em quatro grupos, caracterizados pelo intervalo de percentual de tempo onde foi atingida a marca de 50% da precipitação total.

Nos eventos do tipo 1, tal marca foi atingida no primeiro intervalo de tempo de 25%. Nos de tipo 2, o mesmo ocorreu no segundo intervalo, ou seja, de 25 a 50% da duração total. E assim, sucessivamente, até o tipo 4, onde a marca foi atingida no último intervalo da duração (de 75 a 100%).

4.5. IPA

O Índice de Precipitação Antecedente (IPA) equivale à somatória do total precipitado em um determinado período de tempo. Neste estudo foram utilizados os IPA 7 e IPA 28, que correspondem à somatória do total precipitado nos últimos 7 e 28 dias, respectivamente. Este parâmetro indica a umidade do substrato da CVL e do ar, o que interfere diretamente no coeficiente de *runoff* da CVL. Ele também pode ser correlacionado com a radiação solar incidente, a qual foi calculada como a média durante o período de insolação de um dia. Quanto mais elevada for a radiação solar incidente e a velocidade do vento no período que precede o evento considerado, maior será a atividade de evapotranspiração, menor a umidade do substrato da CVL e menor, consequentemente, o coeficiente de *runoff*.

4.6. VARIAÇÃO TEMPORAL DOS PARÂMETROS NO DECORRER DO ANO

Para uma análise da forma como cada parâmetro varia no decorrer do ano foi calculada a média dos resultados das análises dos amostradores #1, #3 e #5 de cada evento e plotado um gráfico para cada parâmetro em função da data do evento. Esta verificação é importante visto que o índice pluviométrico e as características dos eventos, como intensidade e tempo de estiagem, variam no decorrer do ano.

4.7. COMPARAÇÃO DA QUALIDADE NOS AMOSTRADORES DO TELHADO IMPERMEÁVEL E DO TELHADO PERMEÁVEL

Uma análise da correlação da variação da qualidade da água no decorrer do evento (amostradores) e a intensidade máxima verificada é importante para que se possa verificar a interferência da intensidade da precipitação na qualidade da água. Com a comparação dessas análises do telhado impermeável e do telhado permeável verifica-se a influência da CVL na água captada conforme varia a intensidade. Para tanto, foram plotados gráficos dos valores de cada parâmetro em função do número do amostrador onde foi coletada a amostra e constando a intensidade máxima observada em cada evento para o telhado impermeável e para o telhado permeável, separadamente.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados provenientes dos estudos realizados e a discussão de sua relevância e validade. Para tanto, o capítulo é dividido em cinco tópicos referindo-se estes a: ao experimento controlado que visa avaliar a interferência da CVL na qualidade da água efluente da mesma; às características dos eventos de precipitação avaliados neste estudo; à comparação entre a qualidade da água efluente das superfícies de captação permeável e impermeável; à avaliação da potencialidade de uso da água captada pelo sistema proposto; e à proposição de indicadores para análise automática da qualidade e potencialidade de uso da água coletada.

5.1. ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DA CVL NA QUALIDADE DA ÁGUA

A aplicação de água da rede de abastecimento público na CVL foi realizada em 22 de janeiro de 2008. Neste dia, a temperatura média foi de 19°C. A radiação média durante o período de insolação foi de 0,2398 kW/m², sendo que o período de insolação foi de 14 horas. A velocidade média do vento foi de 1,28 m/s. O IPA 7 verificado foi 20,7 mm. O volume total de água aplicado na CVL foi de, aproximadamente, 3,70 m³, o que equivale a 34,8 mm numa área de cobertura de 106,22 m².

As análises realizadas com as amostras coletadas após a aplicação de água da rede na CVL foram disponibilizadas em gráficos e são apresentadas a seguir. Em cada um dos gráficos, a linha horizontal corresponde ao valor do respectivo parâmetro encontrado para a água da rede de abastecimento público.

É importante ressaltar que uma amostragem apenas é insuficiente para se chegar a alguma conclusão real. Deve-se considerar, ainda, que este tipo de amostrador implica em erros consideráveis devido à mistura das amostras com a água que passa pela tubulação e também devido a ele não considerar o tempo de concentração da superfície de captação. Dessa forma, as primeiras águas afluentes aos amostradores são provenientes das regiões da superfície de captação mais próximas do mesmo e, enquanto as primeiras águas das

regiões mais longínquas chegam aos amostradores, também afluem a este águas já mais límpidas de regiões mais próximas, misturando-as. Este fenômeno ocorre de forma mais intensa no protótipo do telhado permeável (CVL) que no telhado impermeável, devido ao menor coeficiente de *runoff* e maior tempo de concentração. É possível, no entanto, verificar tendências não conclusivas das análises.

Na Figura 11, verifica-se que o pH variou sensivelmente de um amostrador para o seguinte, apresentando um comportamento coerente com o escoamento em um telhado verde, com pico nos amostradores #2 e #3. No entanto, em todos foi verificado um aumento com relação ao valor encontrado na água de abastecimento. Todos os valores desse experimento, mesmo após a passagem pela CVL forma menores que a média obtida por May (2004), que é de 7,0.

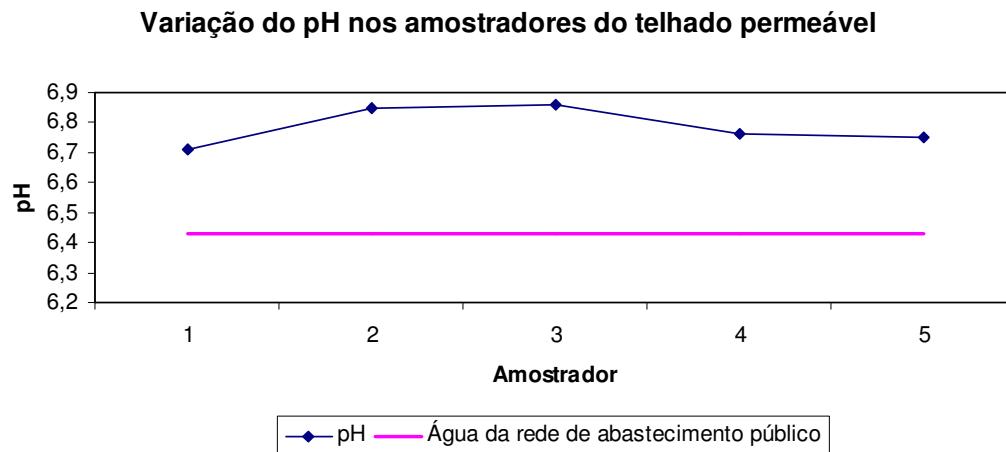


Figura 11. Alteração do pH após passagem por CVL.

A turbidez aumentou consideravelmente após a passagem pela CVL, no entanto se manteve praticamente constante de um amostrador para o outro, como pode ser observado na Figura 12. Tal fato se deve ao carreamento de materiais particulados existentes na CVL. O valor médio de turbidez em São Paulo/SP (MAY, 2004) é pouco superior ao observados na água de abastecimento público, o que significa que esta análise pode ser mais representativa da realidade para a turbidez.

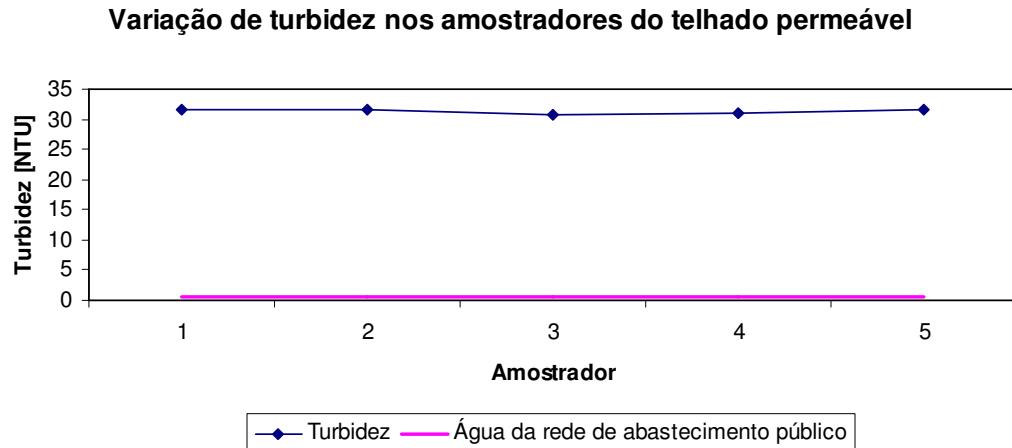


Figura 12. Alteração da turbidez após passagem por CVL.

Como pode-se verificar na Figura 13, a cor aumentou consideravelmente após a passagem pela CVL, no entanto se manteve constante de um amostrador para o outro. Os valores de cor verificados por May (2004) na água de chuva são superiores aos da água de abastecimento, o que, provavelmente, resultaria em valores de cor maiores efluentes da CVL.

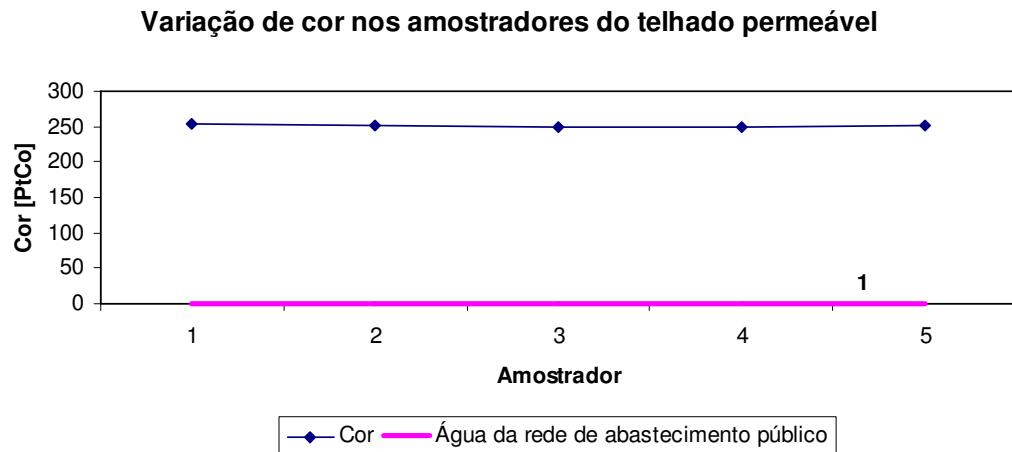


Figura 13. Alteração da cor após passagem por CVL.

A DQO aumentou consideravelmente após a passagem pela CVL, contradizendo o exposto por Teemusk e Mander (2007). No amostrador #4 verifica-se o valor de DQO de zero mg/L na Figura 14, o que indica, possivelmente, que houve algum erro na realização das análises.

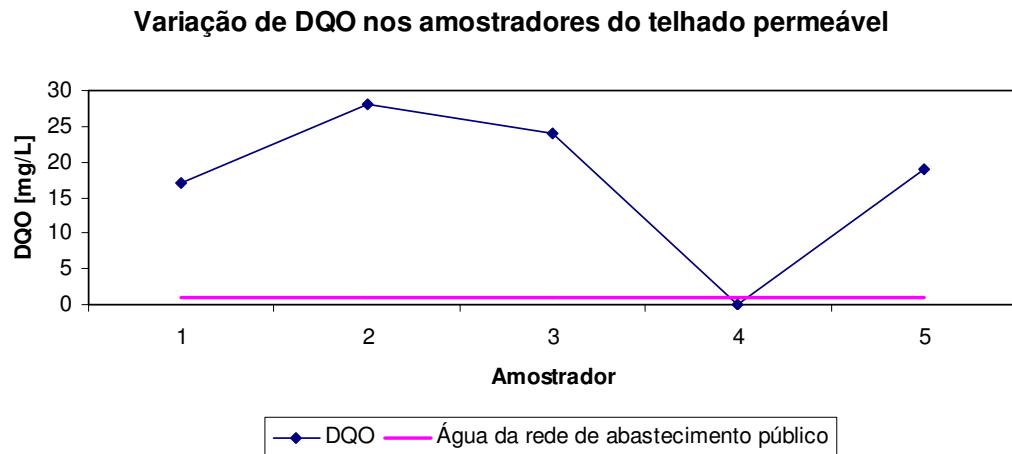


Figura 14. Alteração da DQO após passagem por CVL.

Foi verificada a manutenção do valor de DBO encontrado na água de abastecimento e após a passagem pela CVL, como pode ser visto na Figura 15. Apenas no amostrador #2 verificou-se um pequeno aumento, que pode ser resultado do aumento da concentração de matéria orgânica ou apenas uma pequena variação na análise. Este resultado condiz com o encontrado na literatura, onde argumenta-se que o telhado verde seria capaz de diminuir a DBO. Deve-se ainda considerar que May (2004) apresenta valores médios de DBO (2,5 mg/L) para a água de chuva em São Paulo/SP superiores ao máximo obtido no experimento aqui apresentado.

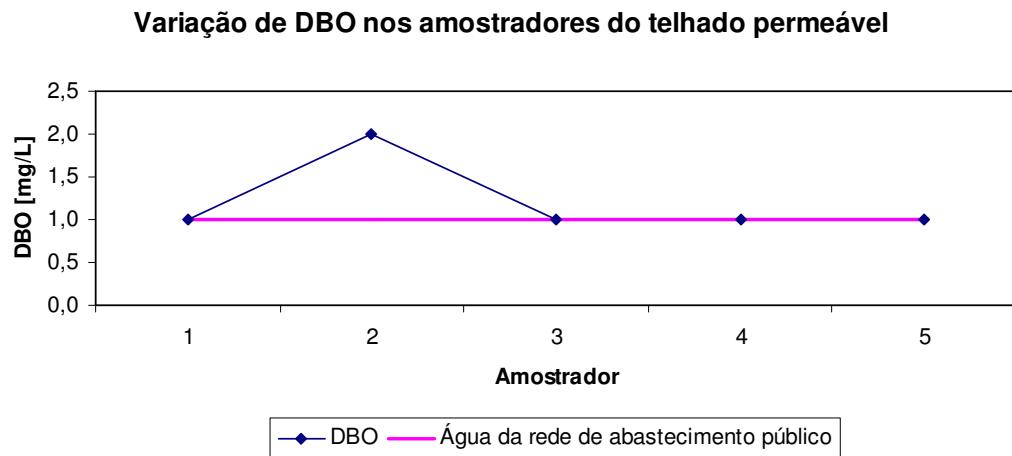


Figura 15. Alteração da DBO após passagem por CVL.

A concentração de nitrogênio total no decorrer dos amostradores obedeceu a um perfil característico de *first-flush*, como pode ser verificado na Figura 16. Pode-se notar que a passagem pela CVL contribuiu para o aumento dessa concentração. Na literatura não foi verificado um consenso com relação à contribuição do telhado verde para o parâmetro “nitrogênio total”, sendo que alguns autores, como Moran, Hunt e Jennings (2004) afirmam que este aumenta com a passagem pelo telhado verde, e outros alegam que o mesmo diminui (TEEMUSK e MANDER, 2007; MACMILLAN, 2004).

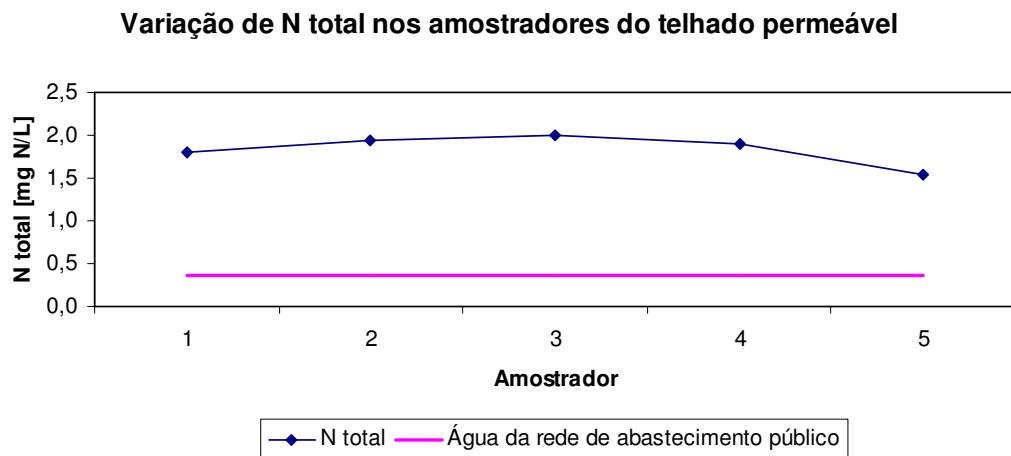


Figura 16. Alteração do nitrogênio total após passagem por CVL.

Na Figura 17 verifica-se que a concentração de nitrogênio amoniacal no decorrer dos amostradores obedeceu a um perfil característico de *first-flush*. Pode-se notar que a passagem pela CVL contribuiu para o aumento dessa concentração.

Variação de N amoniacal nos amostradores do telhado permeável

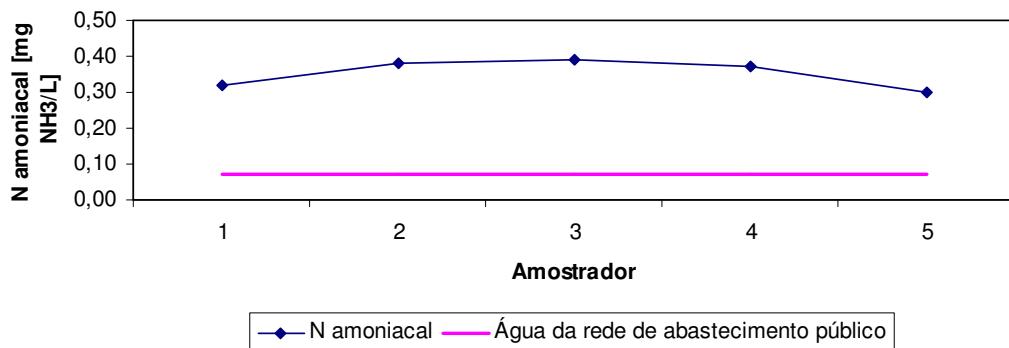


Figura 17. Alteração do nitrogênio amoniacal após passagem por CVL.

A concentração de nitrito aumentou com a passagem pela CVL (Figura 18), no entanto não é possível estabelecer uma relação desta variação com o experimento. Apenas nota-se, que em termos gerais, a concentração de nitrito cai com o tempo. Como os valores observados por May (2004) de nitrito na água de chuva em São Paulo/SP são muito superiores aos observados após a passagem pela CVL, provavelmente, a contribuição da CVL para o nitrito efluente seria insignificante.

Variação de nitrito nos amostradores do telhado permeável

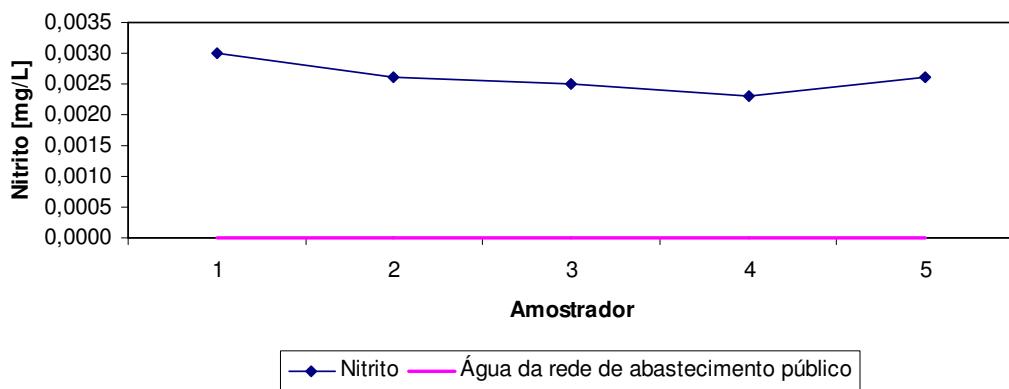


Figura 18. Alteração do nitrito após passagem por CVL.

A concentração de nitrato verificada nos amostradores só foi maior que na água de abastecimento no amostrador #1, o que indica que a CVL retém nitrato, como pode-se verificar na Figura 19. Esta concentração, de modo geral,

também diminuiu com o tempo. Da mesma forma que o nitrito, o nitrato é verificado na água de chuva (MAY, 2004) em concentrações muito superiores às verificadas nesse experimento.

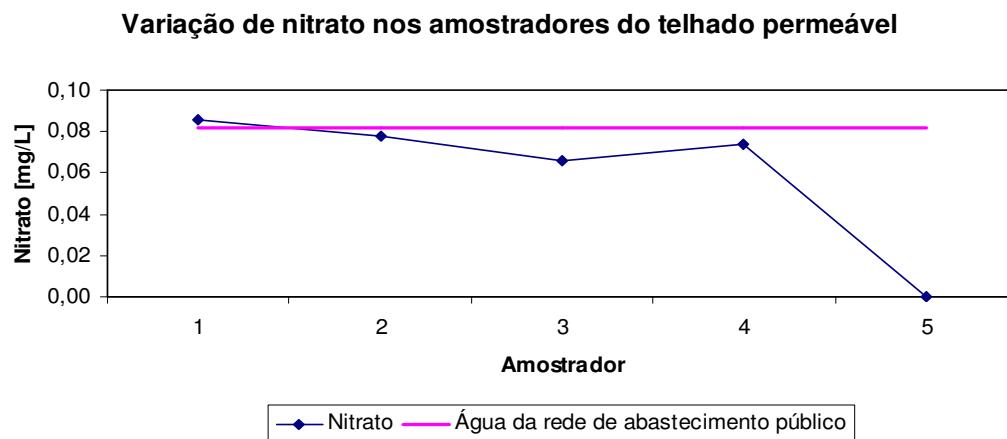


Figura 19. Alteração do nitrato após passagem por CVL.

A concentração de fosfato aumentou com a passagem pela CVL (Figura 20), no entanto não é possível estabelecer uma relação desta variação com o experimento. Apenas nota-se, que em termos gerais, a concentração de fosfato parece observar um perfil característico de *first-flush*. Na literatura, assim como com o parâmetro “nitrogênio total”, há contradições acerca da contribuição do telhado verde para o fósforo total em seu efluente.

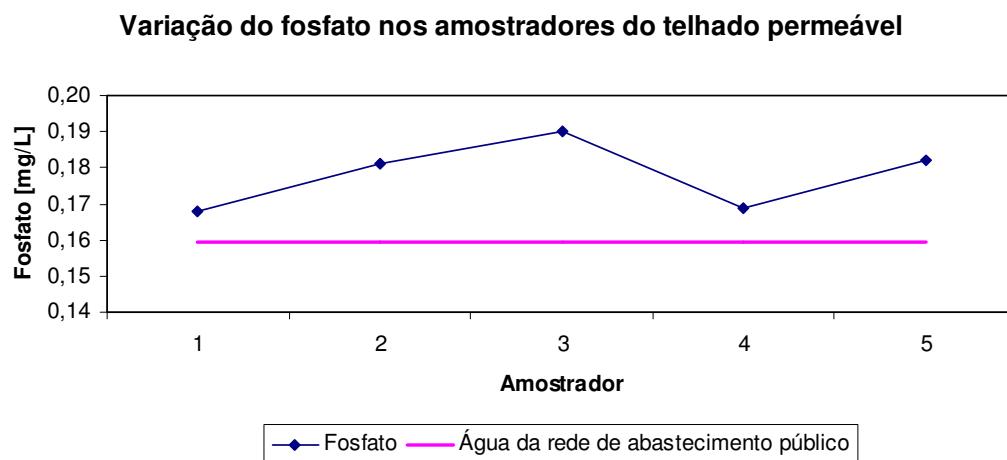


Figura 20. Alteração do fosfato após passagem por CVL.

A concentração de OD diminuiu após a passagem da água pela CVL, como verifica-se na Figura 21. Isto pode estar relacionado à retenção de oxigênio pelos vegetais e pelo substrato. O OD sofre influência do perfil de escoamento através da CVL, de forma que não deve ser considerado como fator determinante para a caracterização da intervenção da CVL na qualidade da água captada. No entanto, como o valor médio de OD observado na água de chuva em São Paulo por May (2004) é superior ao verificado na água de abastecimento público, provavelmente, o valor de OD efluente ao escoamento da água de chuva seria, também, superior.

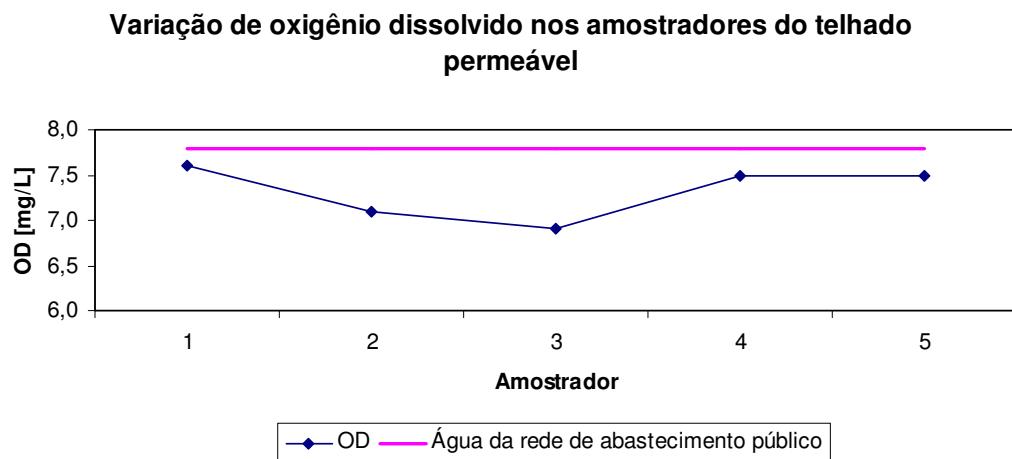


Figura 21. Alteração do OD após passagem por CVL.

A presença de coliformes totais nas amostras foi relativamente alta, de forma que a contribuição da CVL foi bastante considerável (Figura 22). Pode-se notar que as primeiras águas efluentes da CVL apresentam uma concentração maior de coliformes totais, diminuindo com o tempo.

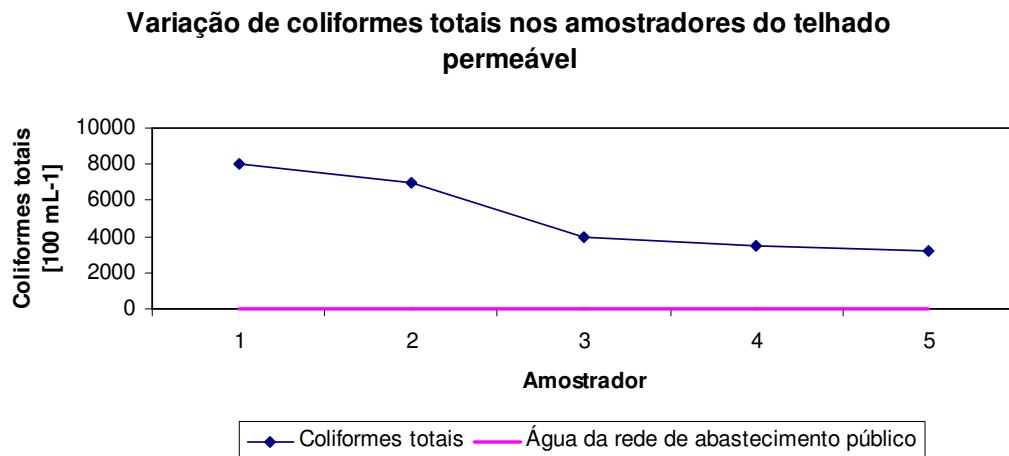


Figura 22. Alteração dos coliformes totais após passagem por CVL.

A presença de coliformes fecais, assim como os coliformes totais, nas amostras foi consideravelmente alta, visto que na água de abastecimento não foi encontrada nenhuma colônia de *Escherichia coli*. Pode-se notar que as primeiras águas efluentes da CVL apresentam uma concentração maior de coliformes fecais, diminuindo com o tempo (Figura 23). Esta contribuição se deve, provavelmente, ao fato de animais de sangue quente (como pássaros) terem acesso à CVL e os coliformes fecais se encontram comumente presentes em seus sistemas digestórios e, consequentemente, em suas fezes.

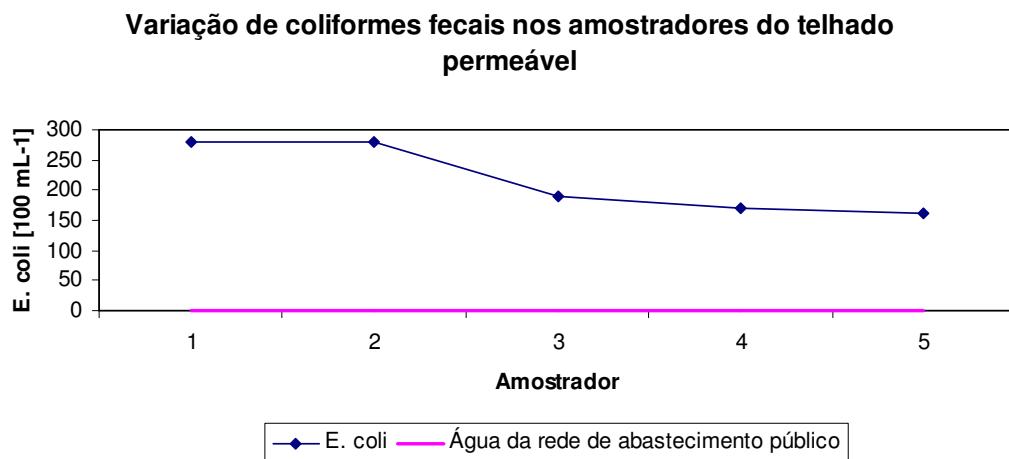


Figura 23. Alteração dos coliformes fecais após passagem por CVL.

A concentração de cloretos observada nas amostras (Figura 24) foi maior que a medida na água de abastecimento público, no entanto a diferença

não é muito grande. Isso significa que pouco cloreto é lixiviado da CVL. No entanto, considerando-se os resultados de May (2004) verifica-se que o menor valor obtido da água de chuva em São Paulo é mais alto que o máximo observado após a passagem pela CVL.

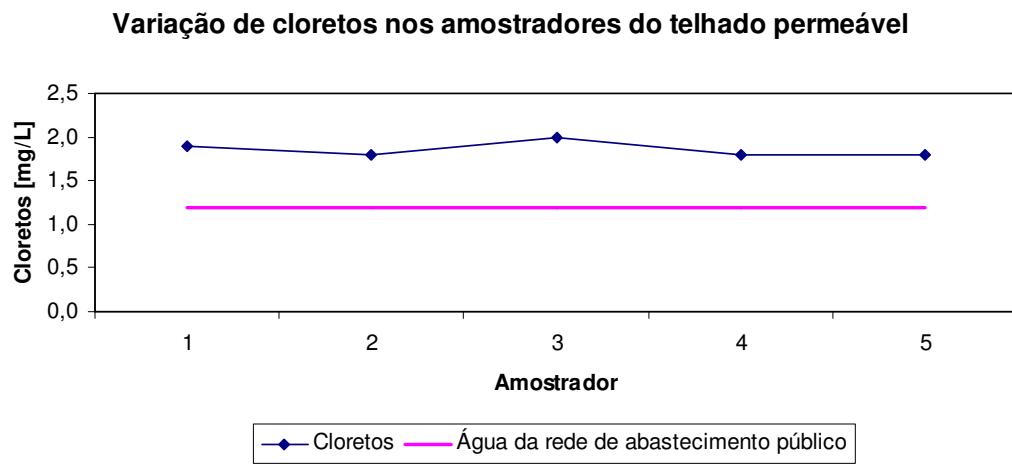


Figura 24. Alteração dos cloretos após passagem por CVL.

Com a passagem pela CVL, a dureza aumentou com relação à observada na água de abastecimento, no entanto os valores verificados não são muito elevados, como pode-se verificar na Figura 25. A média observada por May (2004) na água de chuva é maior que o máximo valor verificado neste experimento, o que significa que os valores de dureza efluentes da CVL após uma precipitação, seriam maiores que os obtidos nessa análise.

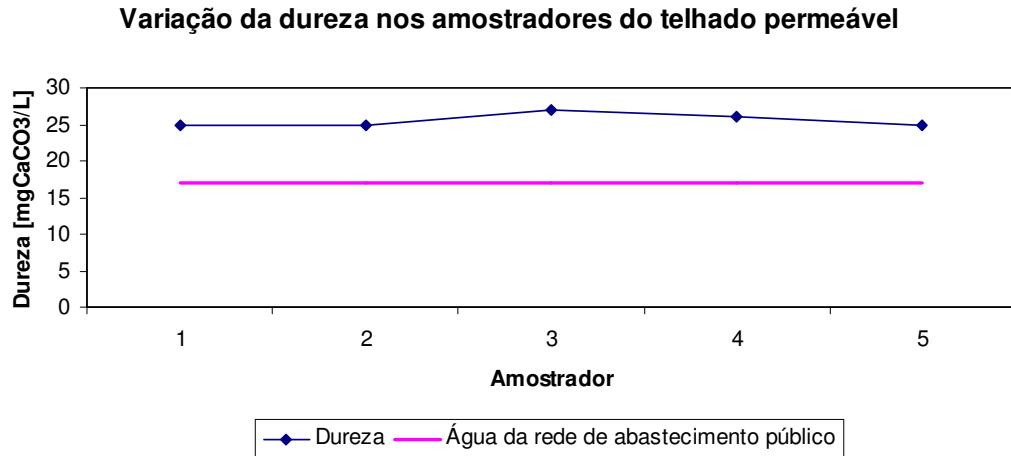


Figura 25. Alteração da dureza após passagem por CVL.

A condutividade aumentou com a passagem pela CVL, no entanto se manteve quase constante de um amostrador para o outro (Figura 26). Tal fato indica que a condutividade não deve diminuir temporalmente na água escoada. Segundo May (2004), o valor médio da condutividade da água de chuva é próximo ao da água de abastecimento, de forma que a qualidade efluente deverá ser semelhante.

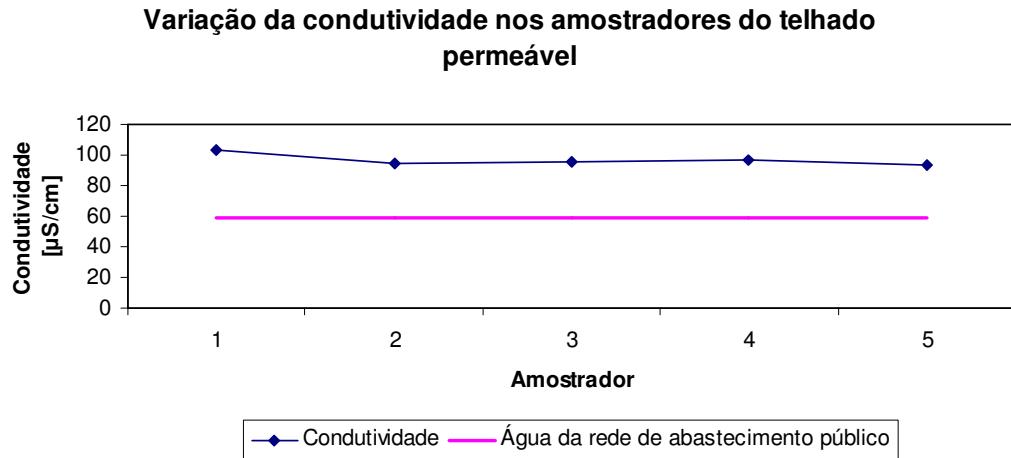


Figura 26. Alteração da condutividade após passagem por CVL.

A concentração de ortofosfato aumentou com a passagem pela CVL (Figura 27), no entanto não é possível estabelecer uma relação desta variação com o experimento.

Variação do ortofosfato nos amostradores do telhado permeável

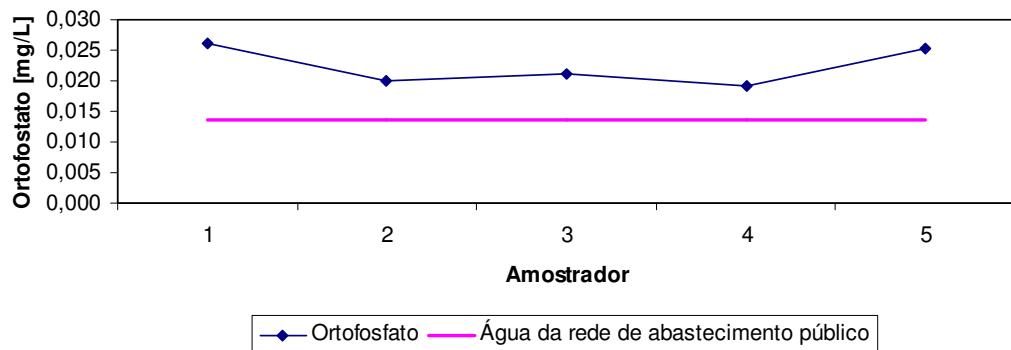


Figura 27. Alteração do ortofosfato após passagem por CVL.

A concentração de fósforo solúvel diminuiu sensivelmente com a passagem pela CVL (Figura 28), no entanto não é possível estabelecer uma relação temporal desta variação com o experimento. Pode-se concluir que a CVL retém uma pequena quantidade de fósforo solúvel.

Variação do fósforo solúvel nos amostradores do telhado permeável

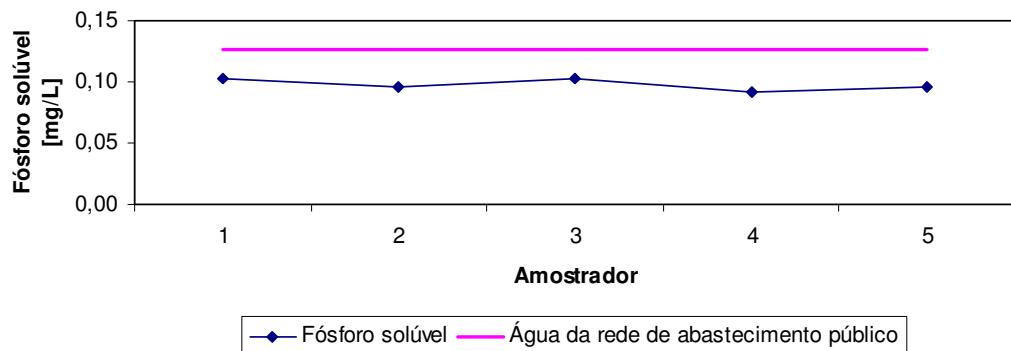


Figura 28. Alteração do fósforo solúvel após passagem por CVL.

Foi verificado um aumento dos sólidos totais após a passagem pela CVL, no entanto os valores observados não obedecem a nenhuma lógica temporal relacionada ao experimento. Dentre os sólidos totais, predominam os sólidos fixos, o que significa que há mais substâncias minerais do que orgânicas que foram carreadas da CVL. Isso pode ser verificado, pois a quantidade de sólidos totais fixos e voláteis na água de abastecimento público

é a mesma, como verifica-se na Figura 29. Há indícios de retenção de sólidos totais fixos pela CVL, em especial pela amostra do amostrador #1. A média observada por May (2004) na água de chuva em São Paulo de sólidos totais é inferior à verificada na água de abastecimento, o que pode resultar em um esfluente após a precipitação com menor concentração de sólidos totais.

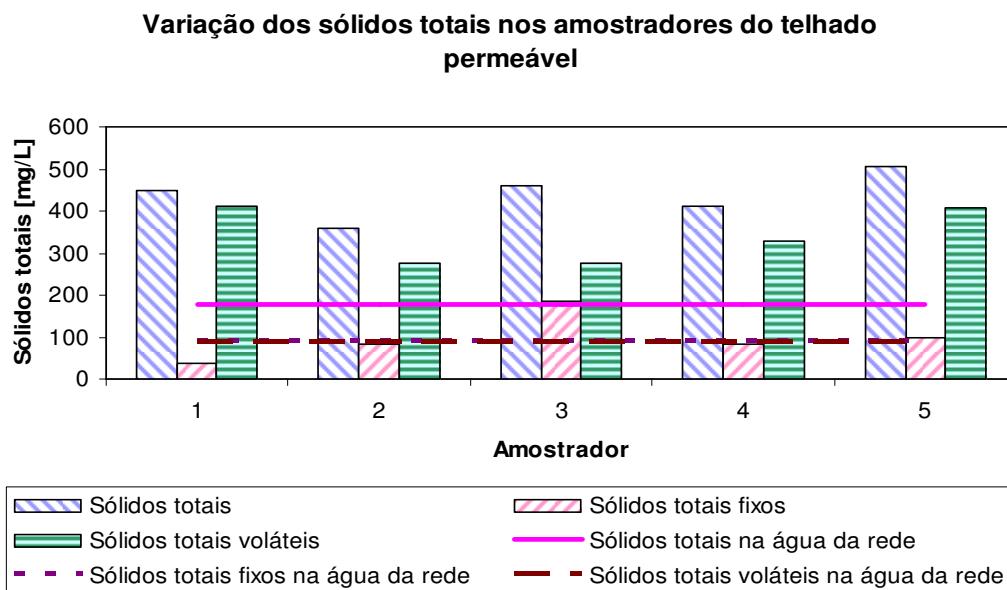


Figura 29. Alteração dos sólidos totais após passagem por CVL.

A concentração de sólidos suspensos nas amostras coletadas dos amostradores foi maior que na amostra coletada da água de abastecimento, exceto no amostrador #1 (Figura 30). A variação temporal dos sólidos suspensos, inclusive dos fixos e voláteis, não obedece a nenhum padrão relacionado com a CVL. Há amostras em que se observa uma proporção maior de sólidos suspensos fixos, em outras, predominam os sólidos suspensos sedimentáveis. As amostras dos amostradores #1, #2, #4 e #5 indicam que houve retenção de sólidos suspensos fixos pela CVL, enquanto que, em todas as amostras, observou-se um aumento dos sólidos suspensos voláteis com relação à água de abastecimento. Na água de chuva, em média, há mais sólidos suspensos voláteis que na água da rede e abastecimento, no entanto, menos sólidos suspensos totais (MAY, 2004). Isso significa que há mais microrganismos na água de chuva que na de abastecimento público e isso pode repercutir no esfluente da CVL.

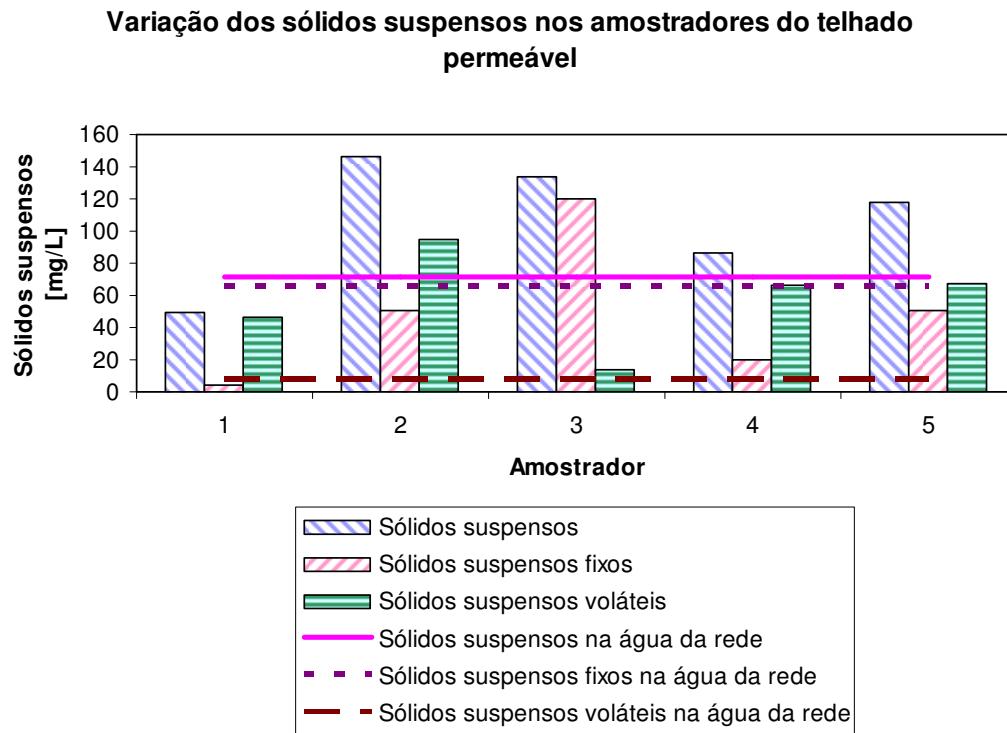


Figura 30. Alteração dos sólidos suspensos após passagem por CVL.

A passagem pela CVL aumentou a concentração de sólidos dissolvidos em todos os amostradores. Diferentemente dos sólidos totais e suspensos, dos quais os sólidos fixos foram retidos pela CVL, as análises dos sólidos dissolvidos indicaram contribuição da CVL nesse parâmetro, assim como nos sólidos dissolvidos voláteis (Figura 31). Na água de chuva, verifica-se, em média, menos sólidos dissolvidos que na água de abastecimento público, tanto os sólidos totais, quanto os voláteis (MAY, 2004).

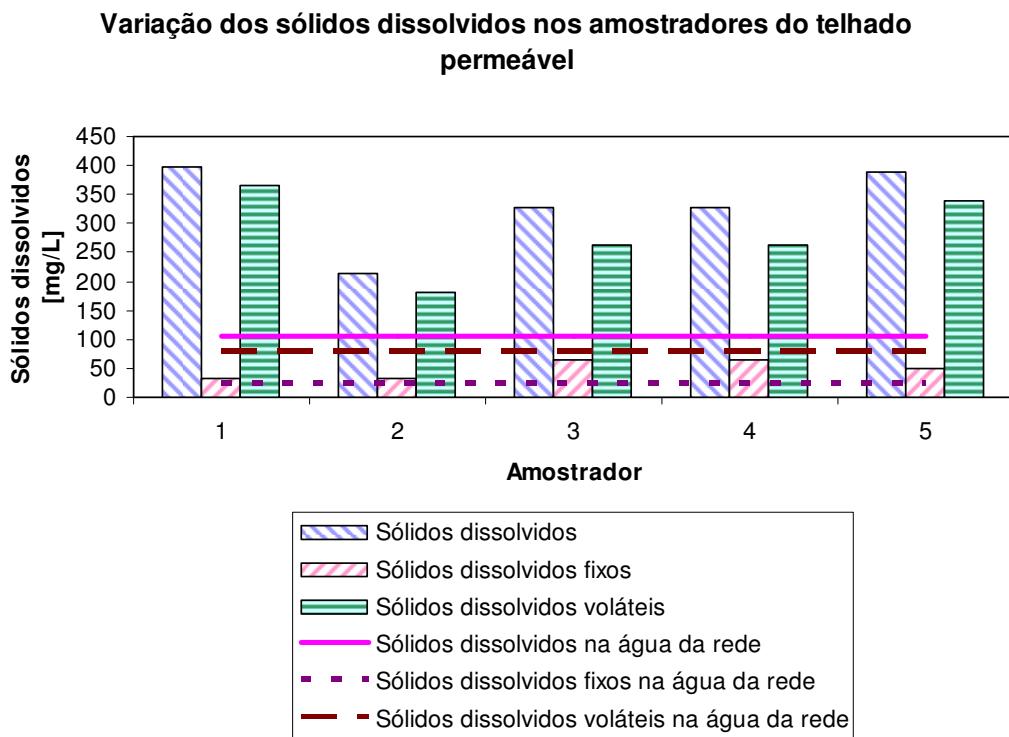


Figura 31. Alteração dos sólidos dissolvidos após passagem por CVL.

A concentração de zinco aumentou com a passagem na CVL, como pode-se verificar na Figura 32. No entanto não é possível estabelecer uma relação desta variação com o experimento.

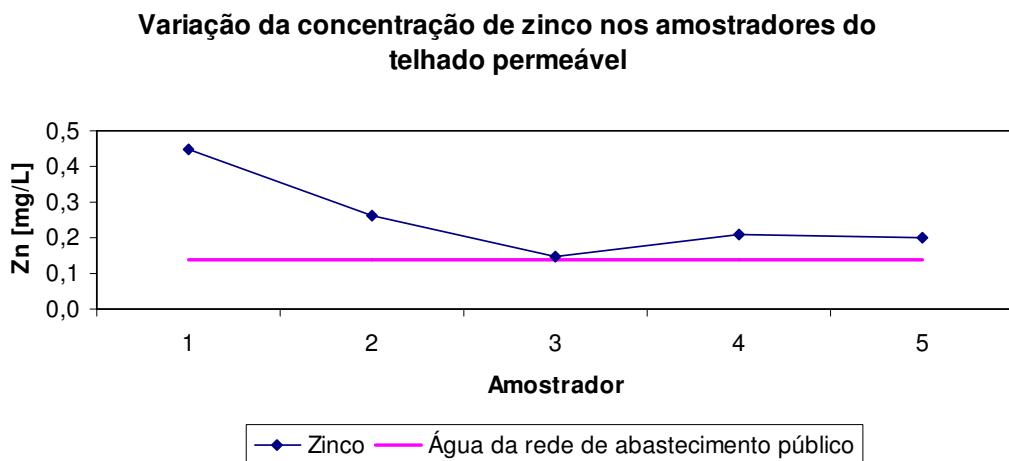


Figura 32. Alteração da concentração de zinco após passagem por CVL.

Assim como o zinco, a concentração de ferro aumentou com a passagem na CVL (Figura 33), no entanto não é possível estabelecer uma relação desta variação com o experimento. O valor médio da concentração de ferro observado por May (2004) para a água de chuva em São Paulo/SP é maior que o verificado na água de abastecimento público, o que faria com que a concentração efluente de ferro da CVL fosse sensivelmente maior que o observado nesse experimento.

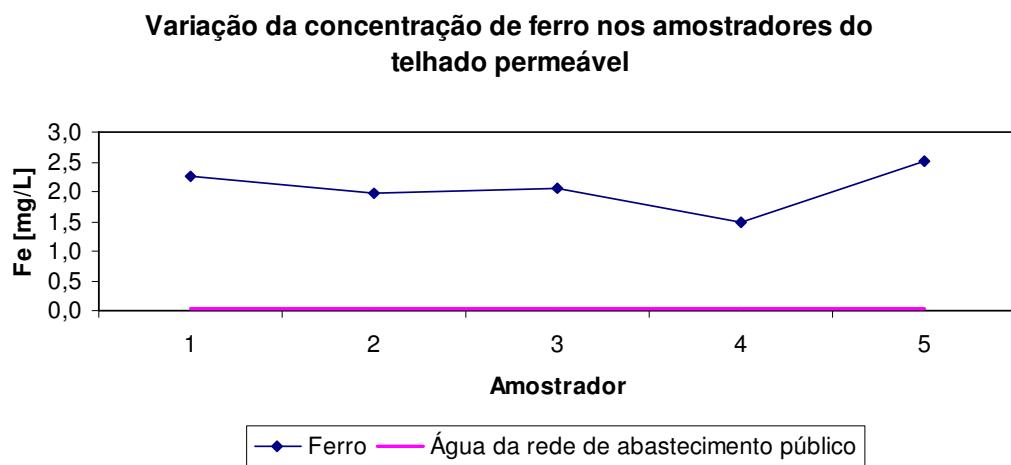


Figura 33. Alteração da concentração de ferro após passagem por CVL.

Na Figura 34 pode-se observar um pequeno aumento na concentração de cobre no amostrador #1, no entanto, nos outros amostradores não houve aumento com relação a água de abastecimento, ou seja, não houve contribuição de cobre da CVL, confirmando o encontrado na literatura.

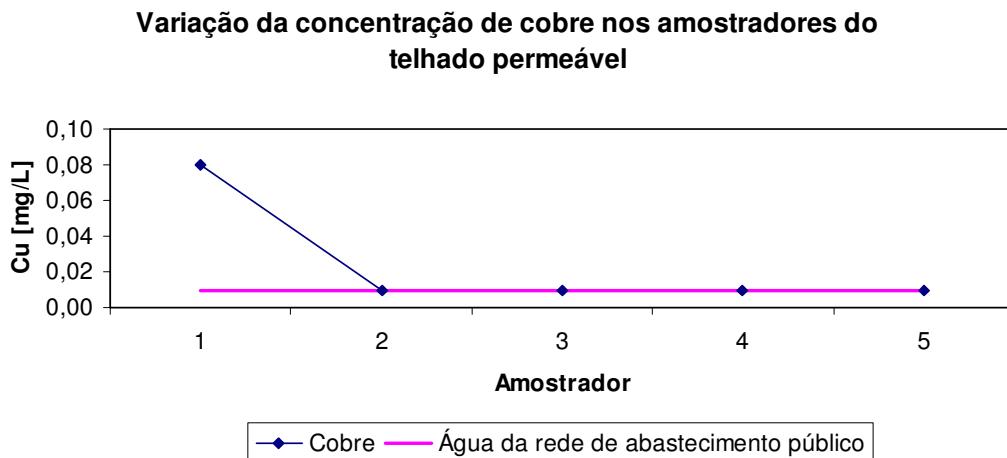


Figura 34. Alteração da concentração de cobre após passagem por CVL.

De modo geral, pôde-se observar que a CVL contribui com a piora da qualidade da água por ela escoada, com exceção dos parâmetros nitrato e fósforo solúvel, onde foi observada uma diminuição de suas concentrações.

5.2. CARACTERIZAÇÃO DOS EVENTOS

Foram selecionados 6 eventos de precipitação intensa no período de fevereiro a abril de 2008, os quais ocasionaram escoamento da CVL. As características gerais desses eventos são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Características gerais dos eventos analisados.

Evento	Data da chuva	Hora de início	Duração [min]	Data da coleta	Lâmina total precipitada [mm]	Intensidade máxima [mm/h]	Radiação média incidente [kW/m ²]	Período de insolação [h]	IPA 7 dias [mm]	IPA 28 dias [mm]	Padrão temporal	Temperatura média [°C]	Velocidade média do vento [m/s]
1	19/02/08	21:30	480	20/02/08	16	6	0,4799	13,0	8	33	2	22,6	0,356
2	11/03/08	18:00	1140	12/03/08	36	30	0,2381	12,5	227	292	4	21,9	0,137
3	08/04/08	17:00	510	09/04/08	22	38	0,2684	12,5	64	533	1	21,9	0,322
4	14/04/08	12:00	90	14/04/08	44	54	0,1830	11,5	34	208	2	20,7	0,268
5	22/04/08	18:30	510	23/04/08	19	24	0,3381	11,5	107	271	1	20,7	0,277
6	29/04/08	18:00	570	30/04/08	169	170	0,3055	11,0	19	270	1	22,3	0,623

Um gráfico que correlaciona a lâmina diária precipitada com a radiação solar média incidente durante o período de insolação é apresentado na Figura 35. Este gráfico possibilita-nos analisar de forma simplificada as condições de umidade do substrato da CVL nos momentos dos eventos analisados. Tal correlação pode ser realizada devido à relação da radiação solar com a evapotranspiração e considerando-se que a aplicação de água no sistema ocorreu apenas pela precipitação.

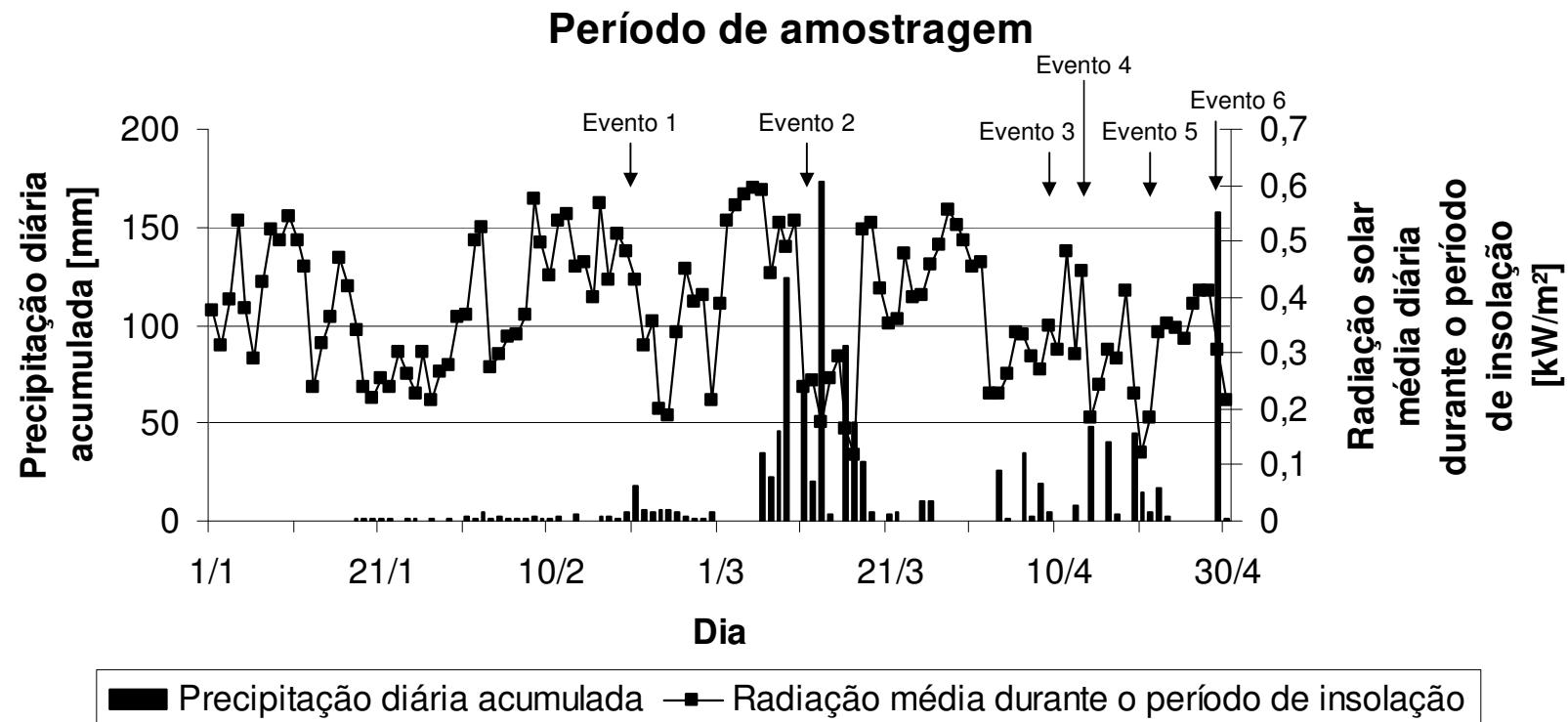


Figura 35. Lâmina diária precipitada e radiação solar média incidente durante o período de insolação.

As Tabelas 9 e 10 contêm os valores médios dos três amostradores para cada evento. Dessa forma, pode-se verificar a variação destes valores no decorrer do ano.

Tabela 9 – Valores médios, máximos e mínimos observados nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado impermeável dos parâmetros analisados para cada evento.

TELHADO IMPERMEÁVEL														
Evento	Data da chuva	pH a 25°C	Turbidez [NTU]	Cor [PtCo]	Conduktividade a 25°C [µS/cm]	DQO média [mg/L]	N total [mgN/L]	N amoniacal [mgNO ³⁻ /L]	Fosfato total [mgPO ₄ ³⁻ /L]	Dureza [mgCaCO ₃ /L]	Coliformes totais [100 mL ⁻¹]	E. coli [100 mL ⁻¹]	Sólidos totais [mg/L]	
		Médio	6,06	1,28	11,3	7,7	8,5	0,56	0,68	0,04	2,6	55833	20	304,54
1	19/02/08	Máximo	6,13	1,69	14,0	8,9	13,0	0,64	0,88	0,65	2,8	71500	21	524,39
		Mínimo	6,02	1,00	8,0	6,8	5,0	0,49	0,29	0,28	2,4	32000	19	201,39
		Médio	5,97	1,73	10,3	6,3	6,7	SD	SD	SD	2,8	23000	6800	196,83
2	11/03/08	Máximo	6,13	2,02	11,0	6,6	9,0	SD	SD	SD	3,4	47000	15500	251,43
		Mínimo	5,76	1,51	10,0	5,8	5,0	SD	SD	SD	2,0	10000	2100	165,71
		Médio	6,35	2,70	29,0	21,4	7,7	SD	SD	SD	5,1	104466	8633	99,05
3	08/04/08	Máximo	6,63	4,86	42,0	23,8	11,5	SD	SD	SD	5,3	124600	10500	182,86
		Mínimo	6,06	1,34	21,0	19,0	2,0	SD	SD	SD	5,0	82800	7300	52,86
		Médio	6,12	2,17	7,7	4,7	11,7	SD	SD	SD	2,0	94666	246	8,33
4	14/04/08	Máximo	6,19	3,86	9,0	5,2	13,5	SD	SD	SD	2,0	127000	270	14,00
		Mínimo	6,07	1,31	7,0	4,3	8,5	SD	SD	SD	2,0	60000	220	0,00
		Médio	6,34	1,01	13,3	13,8	15,7	SD	SD	SD	3,6	72666	506	68,67
5	22/04/08	Máximo	6,40	1,14	15,0	15,6	18,0	SD	SD	SD	3,8	131000	700	87,00
		Mínimo	6,29	0,92	12,0	12,9	14,0	SD	SD	SD	3,2	37000	330	45,00
		Médio	4,71	2,00	31,0	21,2	15,8	SD	SD	SD	6,8	SD	SD	24,07
6	29/04/08	Máximo	5,10	2,56	56,0	32,2	30,5	SD	SD	SD	11,1	SD	SD	46,67
		Mínimo	4,43	1,31	16,0	13,2	8,0	SD	SD	SD	3,8	SD	SD	1,11

Tabela 10 – Valores médios, máximos e mínimos observados nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado permeável dos parâmetros analisados para cada evento.

TELHADO PERMEÁVEL														
Evento	Data da chuva	pH a 25 °C	Turbidez [NTU]	Cor [PtCo]	Condutividade a 25 °C [μS/cm]	DQO média [mg/L]	N total [mgN/L]	N amoniacal [mgNO ³⁻ /L]	Fosfato total [mgPO ₄ ³⁻ /L]	Dureza [mgCaCO ₃ /L]	Coliformes totais [100 mL ⁻¹]	E. coli [100 mL ⁻¹]	Sólidos totais [mg/L]	
		Médio	6,94	7,20	96,3	69,3	20,8	0,29	0,49	0,07	23,4	23233	366	482,38
1	19/02/08	Máximo	6,97	7,32	97,0	72,2	22,0	0,34	0,59	0,07	25,3	28400	400	657,14
		Mínimo	6,93	7,13	95,0	66,5	20,0	0,24	0,29	0,07	21,8	17800	300	135,71
		Médio	7,26	2,40	40,0	102,5	19,5	SD	SD	SD	43,8	5533	766	240,95
2	11/03/08	Máximo	7,32	2,87	46,0	110,5	21,0	SD	SD	SD	47,3	5900	900	382,86
		Mínimo	7,17	2,00	37,0	91,5	18,5	SD	SD	SD	38,8	5000	500	160,00
3	08/04/08	Médio	6,59	3,50	162,3	43,9	35,8	SD	SD	SD	13,1	82800	8600	104,24
		Máximo	6,68	4,03	174,0	50,2	49,1	SD	SD	SD	15,8	91600	12500	131,00
		Mínimo	6,51	2,77	149,0	39,9	24,8	SD	SD	SD	11,7	73600	3700	76,00
4	14/04/08	Médio	6,54	3,07	102,3	41,2	93,4	SD	SD	SD	14,1	324333	18966	118,89
		Máximo	6,58	3,45	113,0	45,5	100,8	SD	SD	SD	16,4	500000	24000	165,56
		Mínimo	6,49	2,52	87,0	37,7	81,6	SD	SD	SD	11,3	76000	11900	90,00
5	22/04/08	Médio	6,56	4,03	207,3	42,9	73,5	SD	SD	SD	13,9	446333	1433	148,89
		Máximo	6,63	4,10	234,0	44,5	83,3	SD	SD	SD	14,5	482000	2600	177,78
		Mínimo	6,49	3,93	169,0	41,6	66,4	SD	SD	SD	13,3	417000	600	134,44
6	29/04/08	Médio	6,73	39,43	390,3	60,3	57,9	SD	SD	SD	20,5	SD	SD	110,00
		Máximo	6,82	40,50	405,0	61,4	60,3	SD	SD	SD	23,0	SD	SD	137,50
		Mínimo	6,66	38,00	376,0	59,4	54,2	SD	SD	SD	18,6	SD	SD	82,50

Para facilitar a visualização deste comportamento são apresentados, também, gráficos correlacionando a data do evento com o valor médio para cada parâmetro e os respectivos valores de máximo e mínimo observados no evento em questão (Figuras 36 a 44). No mesmo gráfico, foram plotados os totais de precipitação acumulados a cada dia, para que se possa verificar os índices de precipitação antecedentes e os tempos de estiagem para cada evento.

O pH permanece relativamente constante no decorrer do ano (Figura 36), o que significa que as variações das características das precipitações pouco interferem neste parâmetro. Apenas no último evento analisado, onde a intensidade foi maior, observou-se uma pequena diminuição no valor do pH do telhado de embalagens longa-vida (telhado impermeável).

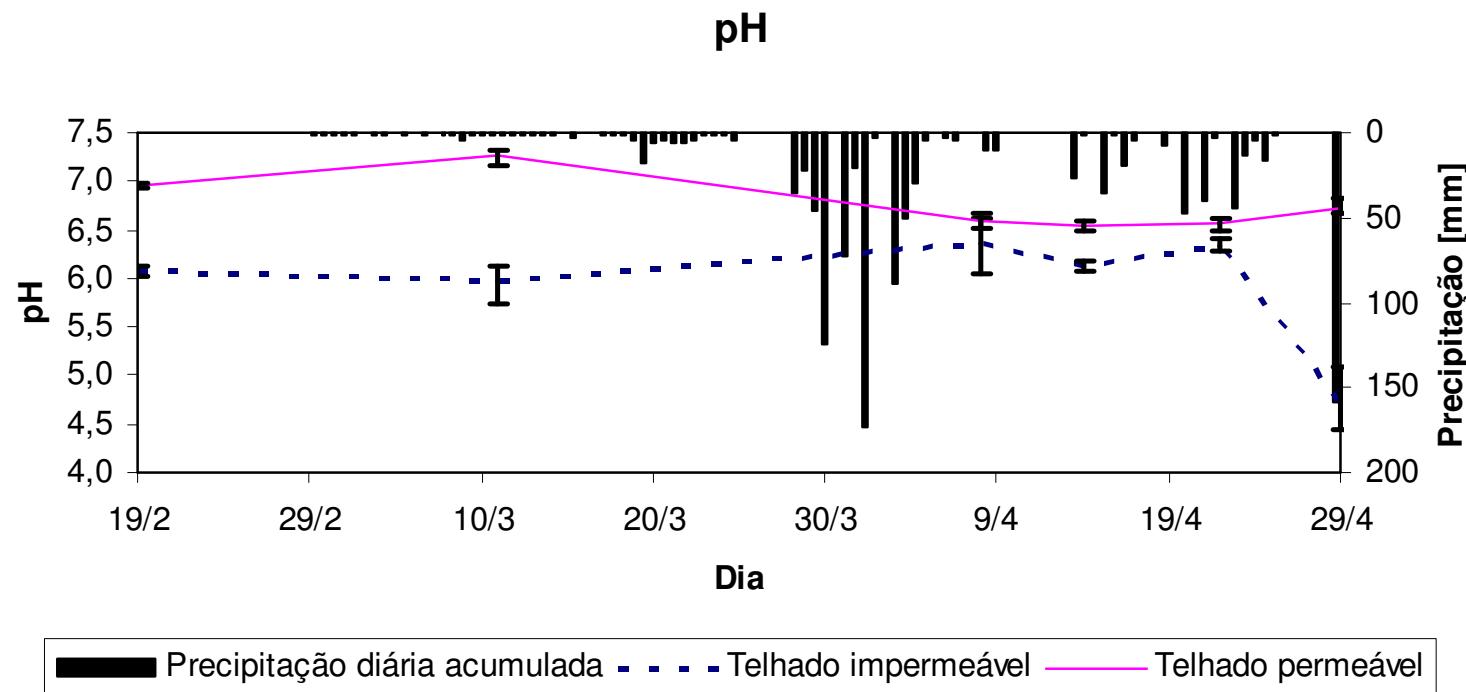


Figura 36. Variação do pH no decorrer do período de amostragem.

Assim, como o pH, a turbidez apenas sofreu uma alteração considerável no evento #6, onde a intensidade da precipitação foi maior (Figura 37).

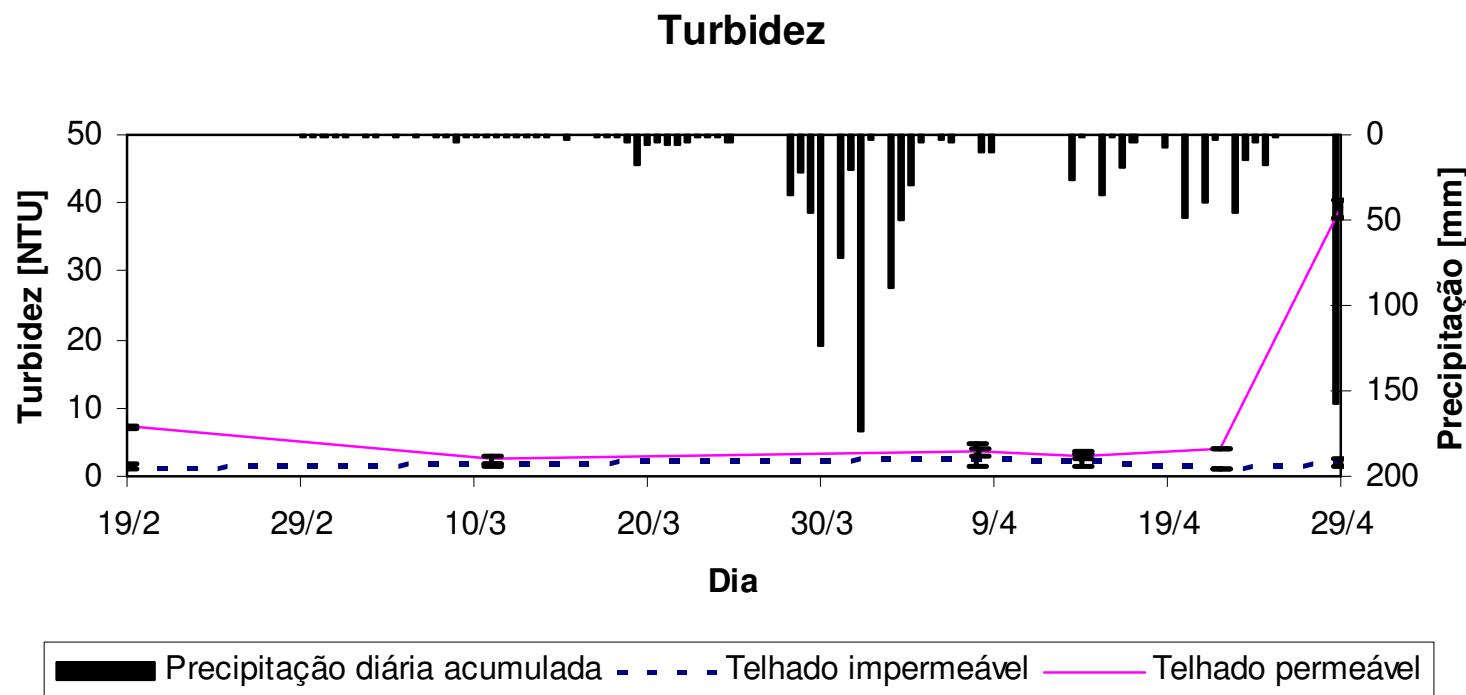


Figura 37. Variação da turbidez no decorrer do período de amostragem.

A cor efluente também foi maior com o aumento da intensidade da chuva. No entanto, como verifica-se na Figura 38, no evento #3 também houve uma variação positiva deste parâmetro. Uma possibilidade de justificativa é a baixa freqüência de chuvas intensas por um longo período antes do evento #3, o que ocasionou em um acúmulo de matéria orgânica na CVL e, consequentemente, em seu carreamento e contribuição com o aumento da cor efluente.

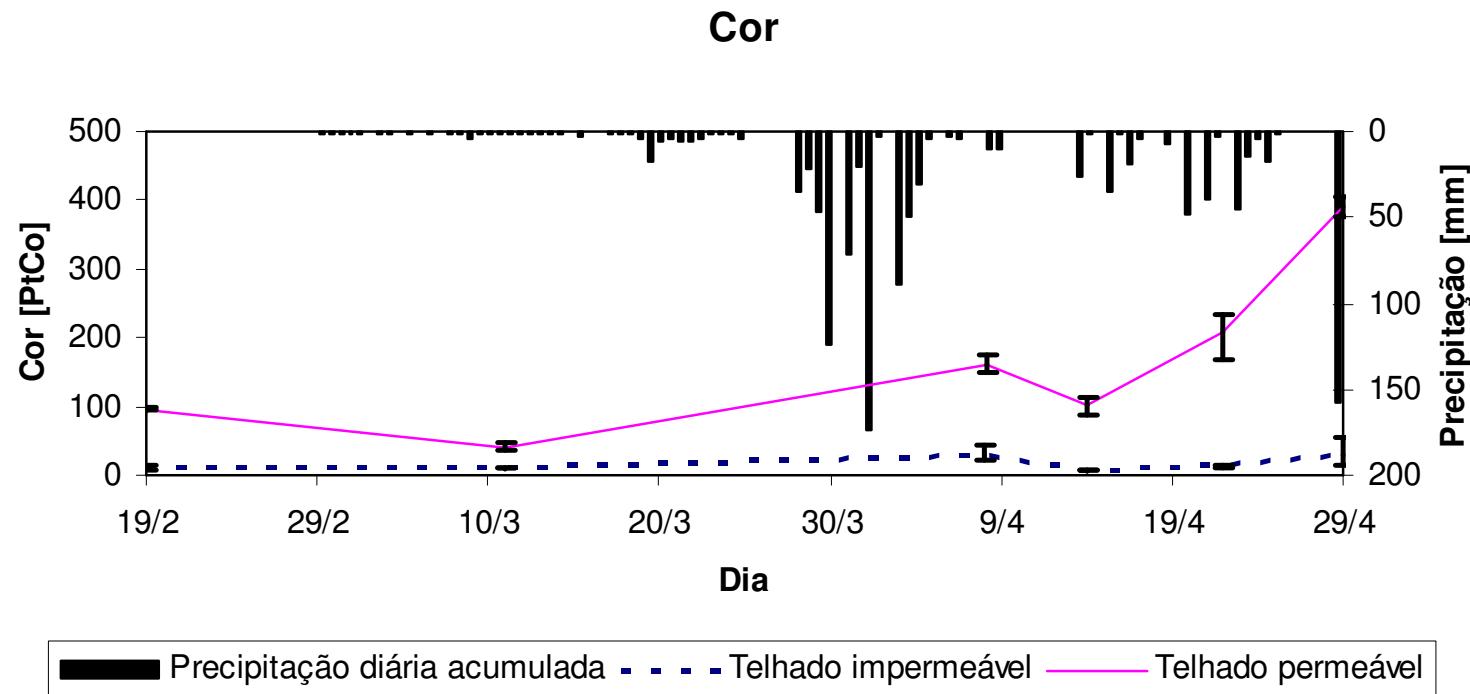


Figura 38. Variação da cor no decorrer do período de amostragem.

Conforme a Figura 39, a condutividade variou no decorrer dos eventos sem obedecer a alguma lógica ou relação com as características dos eventos.

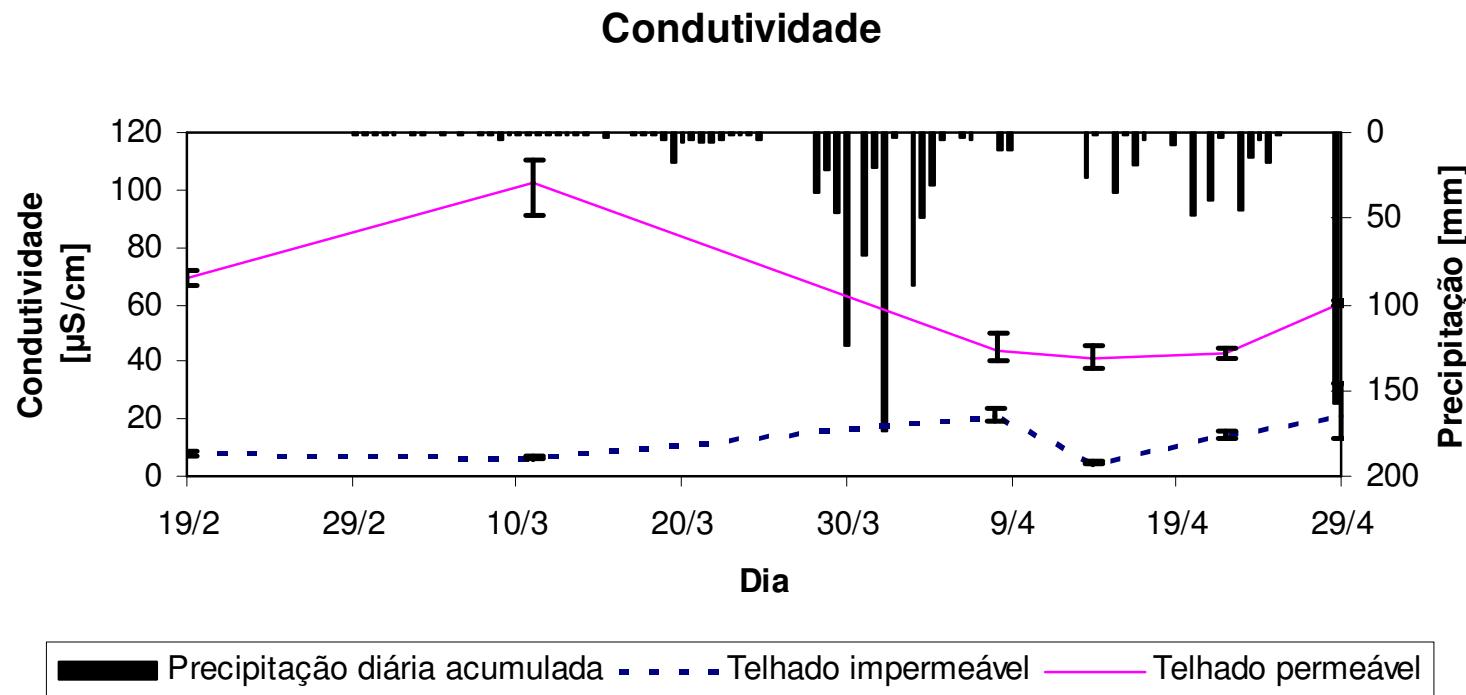


Figura 39. Variação da condutividade no decorrer do período de amostragem.

A DQO não apresentou alterações significativas até o evento #4 (Figura 40), o qual foi a primeira chuva mais intensa analisada no ano, o que pode ter carreado o material acumulado na CVL por meses e resultado neste valor mais alto observado. Verifica-se uma correlação entre os valores obtidos nos dois tipos de superfície de captação, de forma que os efluentes da CVL sempre apresentam-se maiores. Pode-se deduzir desses resultados, também, que nas duas superfícies de captação analisadas

uma chuva de intensidade maior é capaz de carrear poluentes acumulados, de forma que nos eventos de precipitação seguintes, como há menos material acumulado, a qualidade da água efluente, será maior.

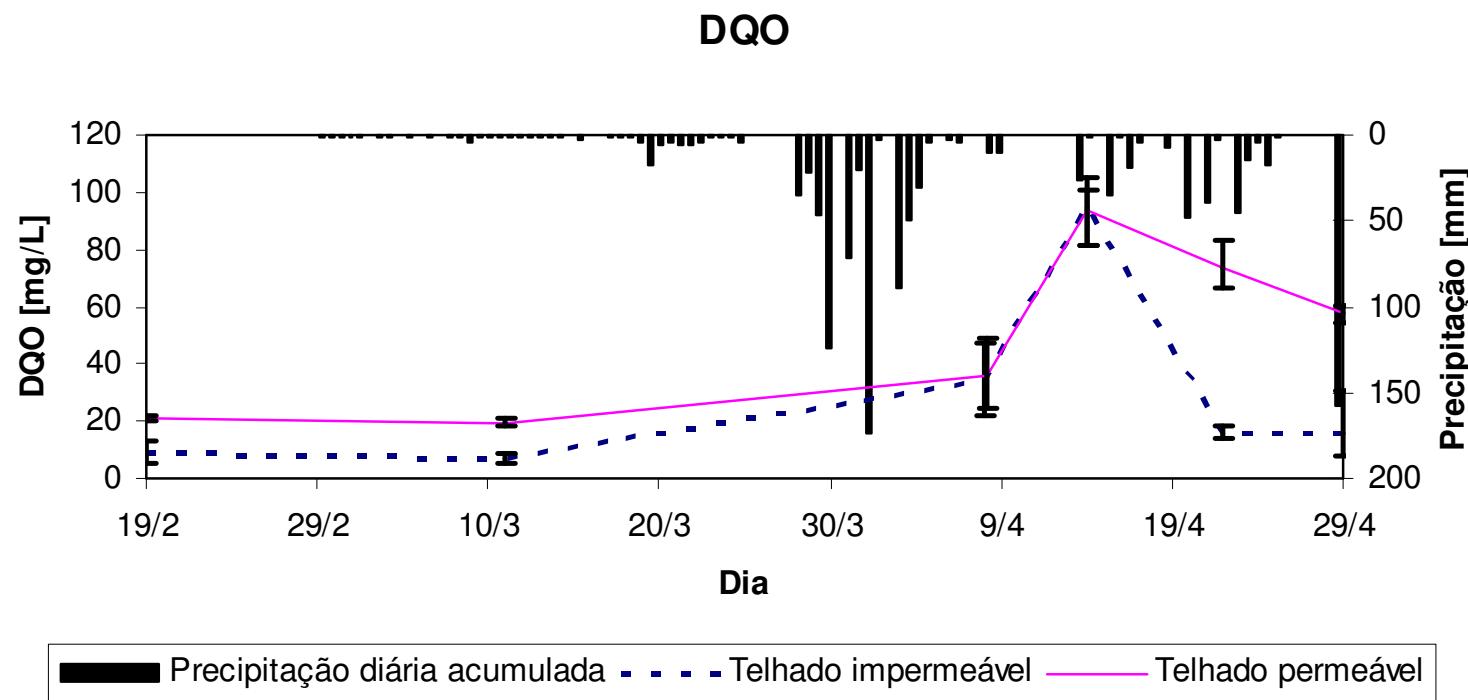


Figura 40. Variação da DQO no decorrer do período de amostragem.

Como pode ser visto na Figura 41, a dureza variou no decorrer dos eventos sem obedecer a alguma lógica ou relação com as características dos eventos. É interessante verificar apenas que quando a dureza do efluente da CVL aumenta, a do efluente das telhas de embalagens longa vida diminui, exceto no evento #6.

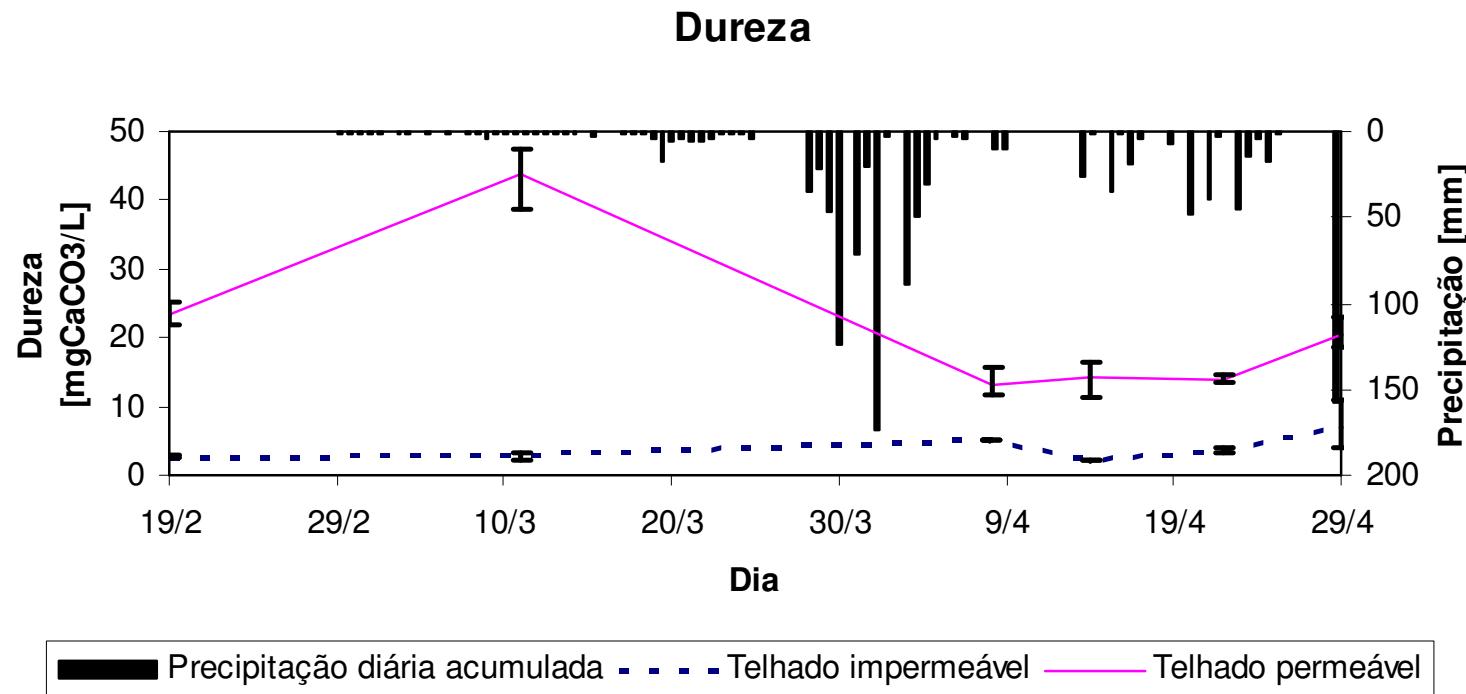


Figura 41. Variação da dureza no decorrer do período de amostragem.

Na Figura 42 nota-se que até o evento #3, onde as precipitações intensas eram mais escassas houve uma semelhança no padrão de variação da presença de coliformes totais nas duas coberturas, apesar de no efluente do telhado impermeável estes valores se encontrarem sempre muito maiores. No entanto, com o aumento da freqüência das chuvas intensas, este padrão deixou de ser obedecido e o quadro se inverteu, de forma que os maiores valores foram observados no efluente da CVL. Isso pode ser

explicado devido à retenção de microrganismos pelo substrato da CVL, os quais foram carreados com as chuvas mais intensas. Devido a problemas técnicos, não foi possível a realização da análise de coliformes totais para o evento #6.

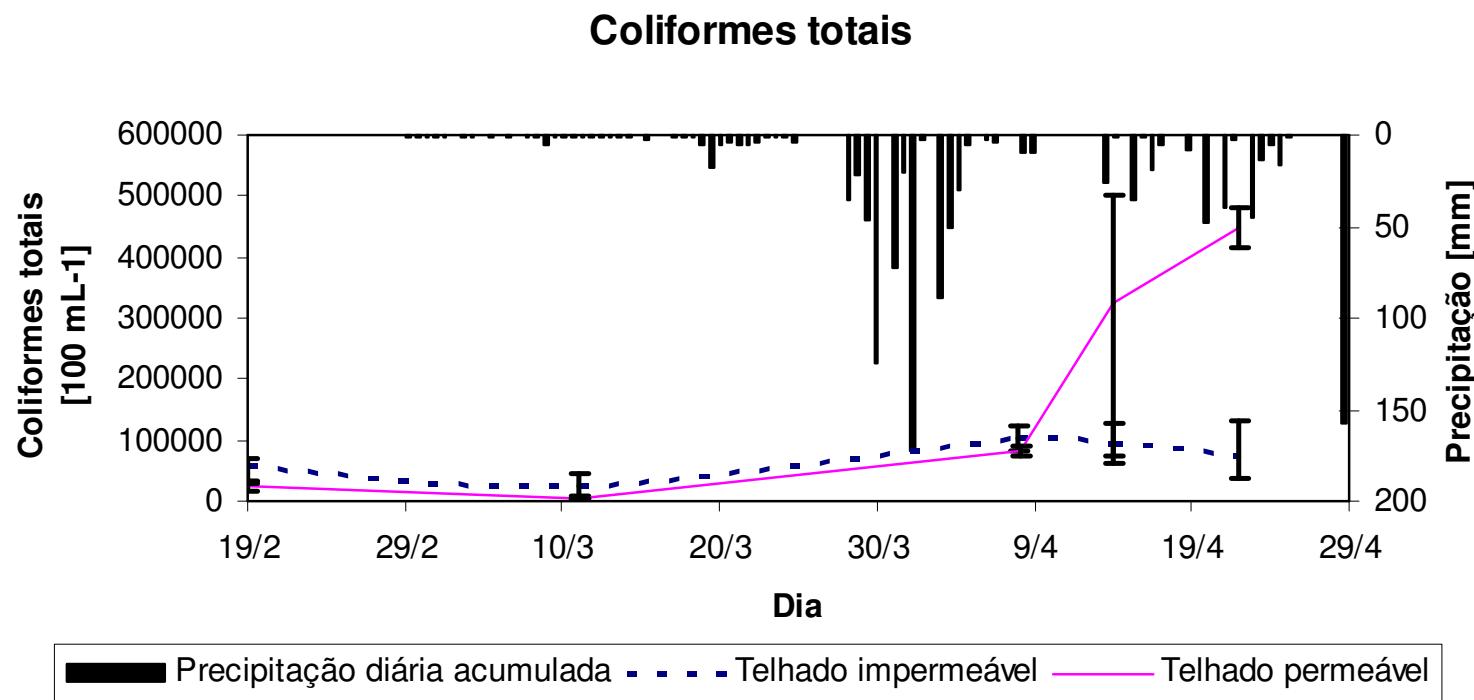


Figura 42. Variação dos coliformes totais no decorrer do período de amostragem.

O padrão de comportamento observado para o parâmetro “coliformes fecais” (Figura 43) é semelhante ao dos coliformes totais (Figura 42), no entanto, pode-se verificar uma correlação mais direta da intensidade da chuva com a quantidade de coliformes fecais no efluente da superfície de captação. É interessante ressaltar que, a partir do evento #3, o efluente do telhado impermeável apresentou menores valores de coliformes fecais conforme maior fosse a intensidade da chuva. Devido a problemas técnicos, não foi possível a realização da análise de coliformes totais para o evento #6.

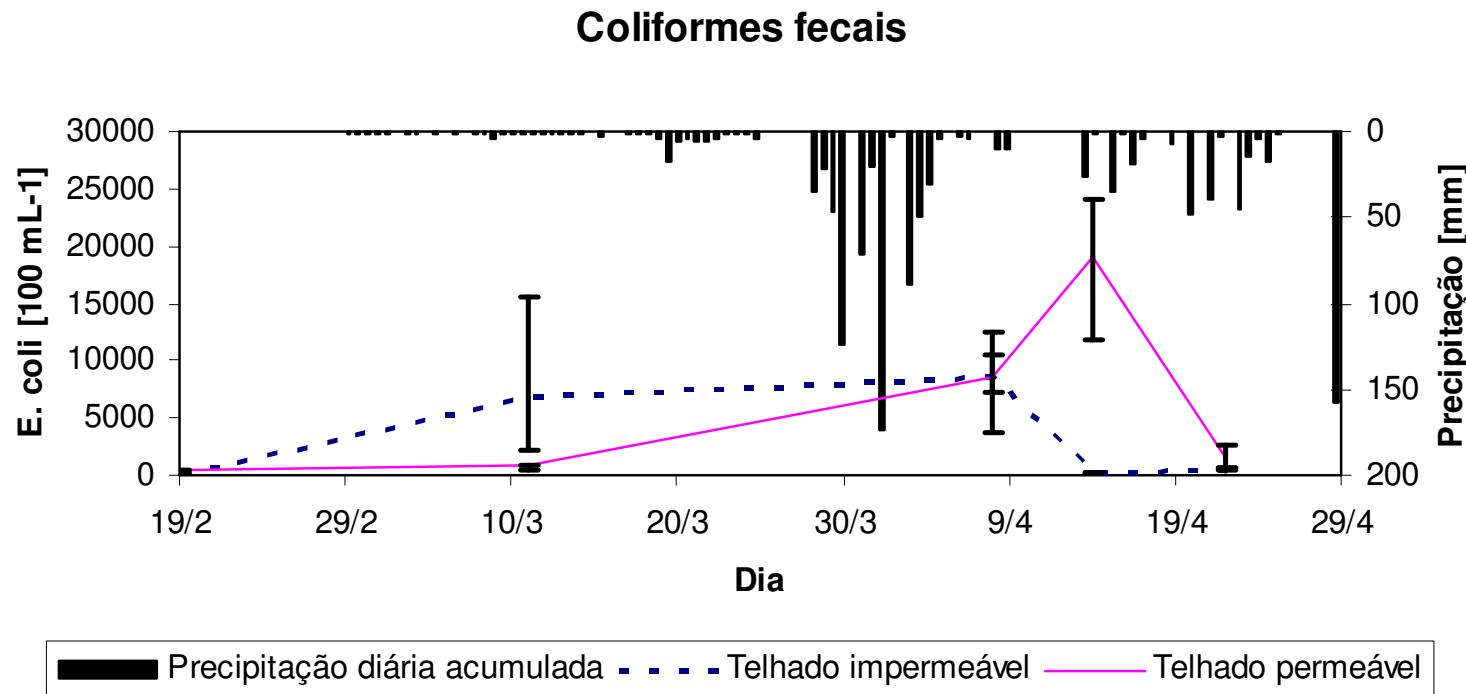


Figura 43. Variação dos coliformes fecais no decorrer do período de amostragem.

De modo geral, nos dois sistemas, foi verificado um decaimento das concentrações de sólidos totais no decorrer do ano, como pode ser visto na Figura 44. Isto se deu de forma independente das características dos eventos, no entanto verifica-se uma correlação no comportamento desse parâmetro para os dois tipos de superfícies de captação.

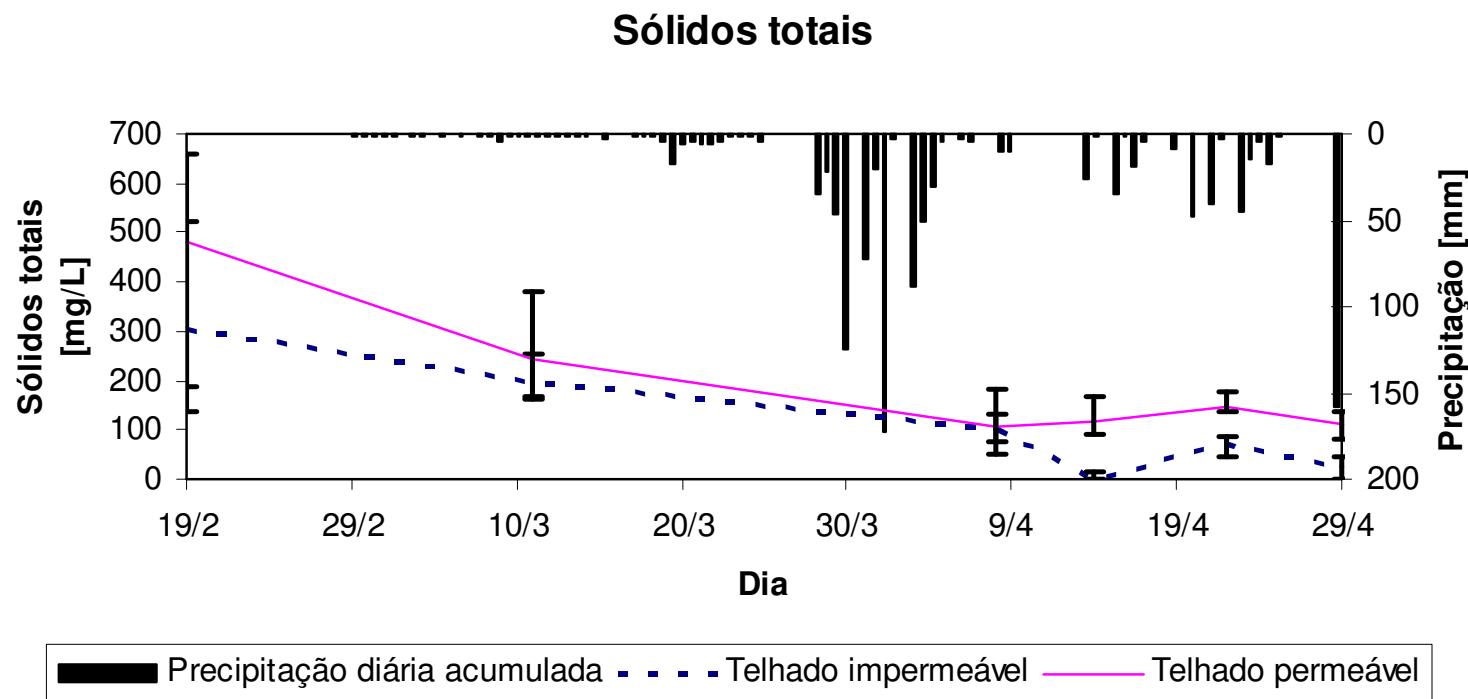


Figura 44. Variação dos sólidos totais no decorrer do período de amostragem.

5.3. COMPARAÇÃO DA QUALIDADE NOS AMOSTRADORES DO TELHADO IMPERMEÁVEL E DO TELHADO PERMEÁVEL

Para a análise da qualidade em cada um dos dois sistemas no decorrer da precipitação (amostradores #1, #3 e #5) foram plotados gráficos com os valores observados de cada parâmetro em cada um dos amostradores para cada evento e com sua respectiva intensidade máxima. Dessa forma, serão apresentados a seguir os gráficos referentes aos dois sistemas para cada parâmetro analisado.

Utilizando-se o evento de maior intensidade como referencial, na Figura 45 verifica-se que quanto maior a intensidade, menor o valor do pH efluente. Esta relação não é direta, no entanto a diferença de intensidade é significativa. Com relação à variação no decorrer da precipitação, esta ocorre de forma pouco significativa, não obedecendo a um padrão rígido de variação.

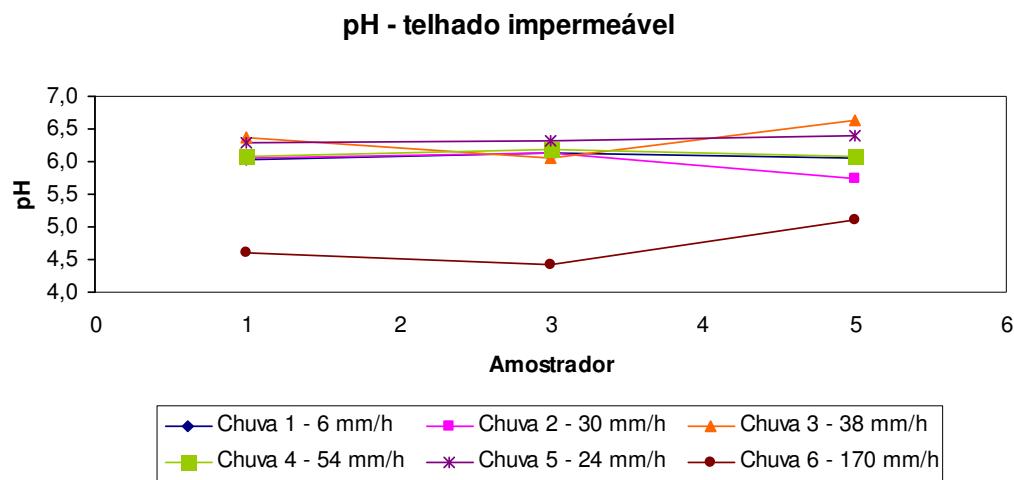


Figura 45. pH nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado impermeável dos seis eventos.

De forma diferente do observado no efluente do telhado impermeável, a Figura 46 mostra que na CVL a intensidade não é um fator que influencia diretamente no valor do pH. Neste tipo de superfície de captação, verifica-se, também, uma menor variação do valor de pH entre um amostrador e outro para o mesmo evento. De modo geral, foram observados valores de pH ligeiramente maiores no efluente da CVL, mas na maioria dos casos os valores se

encontram dentro dos parâmetros indicados para reuso pela ANA (2005) (exceto no efluente do evento #6 do telhado impermeável).

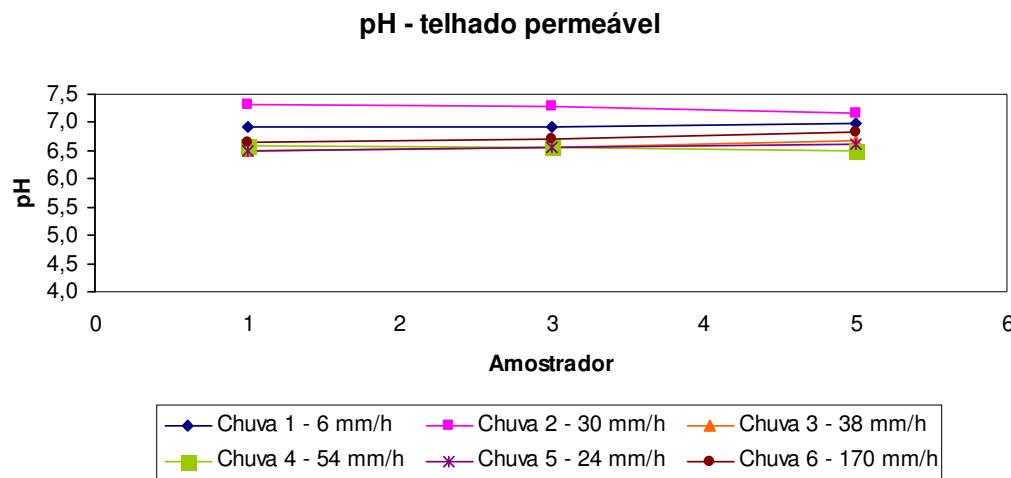


Figura 46. pH nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado permeável dos seis eventos.

No efluente do telhado impermeável, como pode-se observar na Figura 47, foram verificados baixos valores de turbidez, e, entretanto, estes variaram de forma pouco significativa, no decorrer dos amostradores. Não foi possível estabelecer uma relação lógica da intensidade com a turbidez efluente. No entanto, parece haver uma relação da turbidez efluente com as características das precipitações anteriores. Isto pode ser observado nos resultados dos eventos #3 e #4, os quais apresentaram os maiores valores de turbidez e são caracterizados por serem os primeiros eventos de alta intensidade do período avaliado. De modo geral, o efluente desse sistema se encaixa nos parâmetros propostos pela ANA (2005) para reuso de classes 2, 3 e 4, ou seja, não seria adequado para o uso em bacias sanitárias, lavagem de pisos e para fins ornamentais.

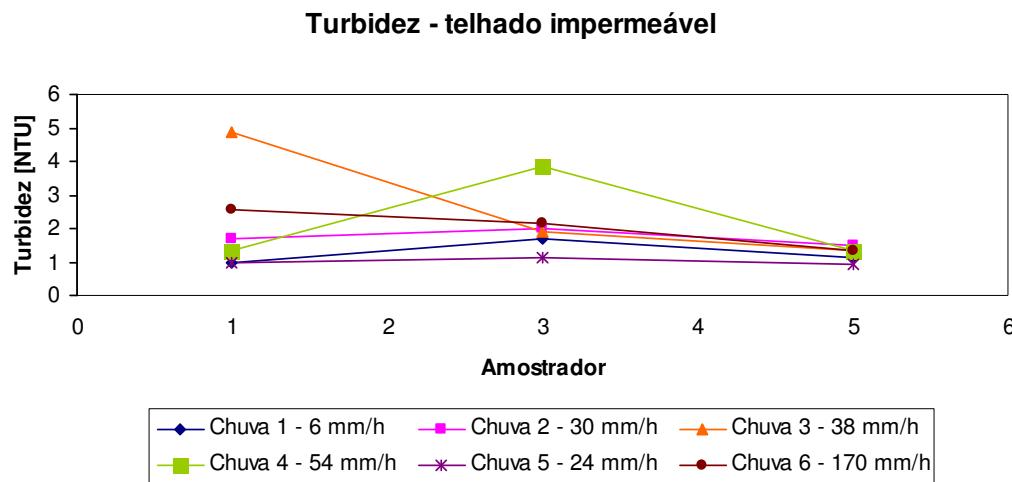


Figura 47.Turbidez nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado impermeável dos seis eventos.

Na Figura 48 observa-se que os valores de turbidez efluentes à CVL foram relativamente baixos, com exceção do evento #6, onde a intensidade da precipitação foi muito elevada. Tal fato confirma a hipótese de que a intensidade da precipitação está diretamente relacionada à quantidade de material particulado carreado do substrato. Com relação à possibilidade de aproveitamento dessa água, assim como o efluente do telhado impermeável, esta é propícia aos usos de classes 2, 3 e 4. O evento #1 pode ter apresentado valores maiores de turbidez devido ao início do período de chuvas, onde verifica-se acúmulo de materiais particulados na CVL. Com relação ao evento #6, normalmente as chuvas mais intensas ocorrem com curta duração, o que implica em volumes não muito grandes de água acumulada proveniente das mesmas. Deve-se considerar, ainda, que após o *first-flush*, certamente o valor de turbidez diminui, melhorando, assim a qualidade da água e diminuindo a interferência na água armazenada. Comparando-se os dois sistemas, de modo geral, os resultados são semelhantes, de modo que com a CVL deve-se atentar mais para a intensidade da precipitação, a qual interfere diretamente no valor da turbidez efluente.

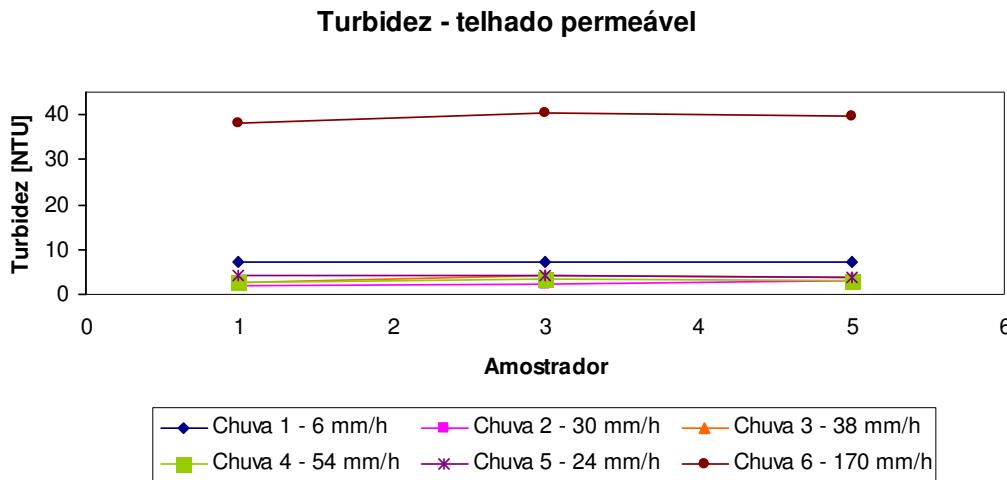


Figura 48.Turbidez nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado permeável dos seis eventos.

Na Figura 49 percebe-se que não há um padrão de variação da cor entre os amostradores, no entanto, quando este decai, a variação é significativa, enquanto que quando aumenta, esta variação é bem pequena. Isto pode ser analisado como uma eficiente atuação da remoção de cor pelo *first-flush*, de forma que quando a cor encontra-se alta no efluente, logo ela diminui, ou seja, seus causadores são de fácil remoção pela precipitação da superfície de captação. Verifica-se ainda que esta remoção é realizada com chuvas de intensidade média a alta, como nos casos dos eventos #3 e #6. Dessa forma, com a remoção do *first-flush*, acredita-se que esta água poderia ser usada para os reusos de classe 2, 3 e 4 (ANA, 2005).

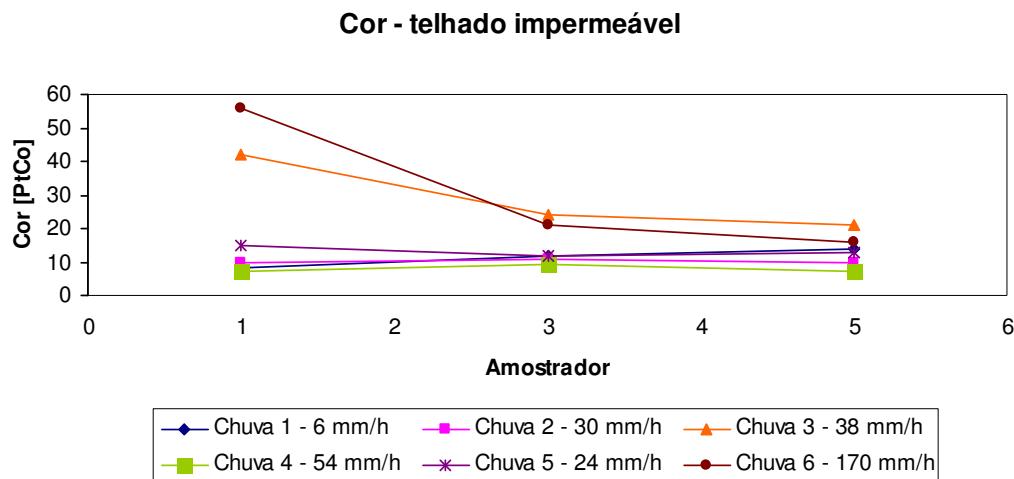


Figura 49. Cor nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado impermeável dos seis eventos.

No efluente do telhado permeável, como verificado na Figura 50, a variação de um amostrador para o outro não é insignificante. Isto pode ser explicado pelo baixo valor de *runoff* e elevado tempo de concentração da CVL. Isto faz com que o *first-flush* desse sistema seja mais demorado que o do telhado impermeável, ou seja, precisaria de um tempo maior de análises para verificação do decaimento do parâmetro cor. Entretanto, assim como no outro sistema, o evento #6 apresentou uma cor efluente significativamente mais elevada que os outros eventos, o que indica que com precipitações de alta intensidade, ocorre carreamento de substâncias que alteram a cor do efluente. Como apresentado nos resultados das análises do procedimento controlado, onde foi aplicada água da rede de abastecimento na CVL para verificar sua interferência no efluente, a CVL contribui com a concentração de ferro na água, o que pode interferir na cor. Com os resultados obtidos do telhado permeável para o parâmetro cor, seria possível utilizar a água para as classes 2 e 4 de reuso, onde não há exigências de limites máximos deste parâmetro. Comparando-se os dois sistemas é notória a contribuição maior para a cor da CVL que da telha de embalagens longa vida.

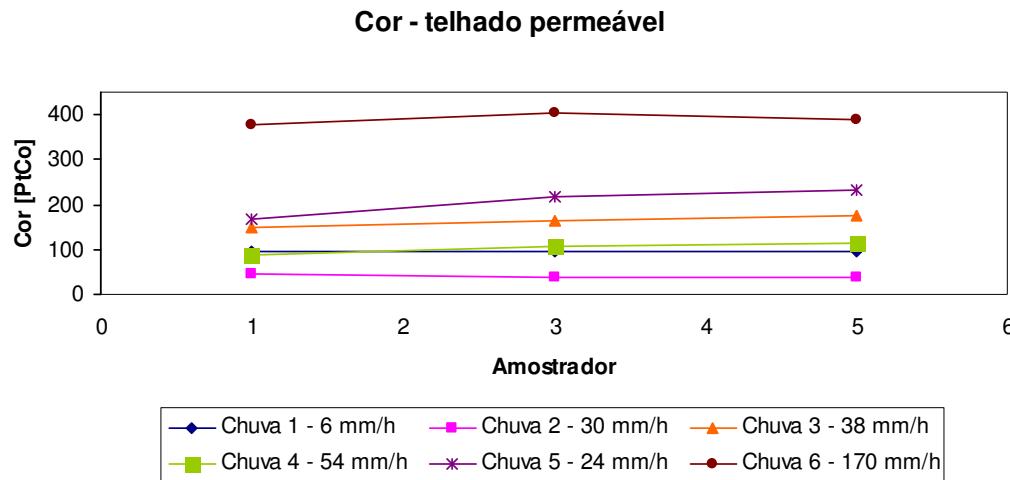


Figura 50. Cor nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado permeável dos seis eventos.

Em todos os eventos, foi verificado na Figura 51 decaimento da condutividade com o tempo, apesar da aparente tendência a estabilização. Houve significativa variação do valor de condutividade de um evento para o outro, sendo que o maior observado foi no evento #6 (de maior intensidade máxima). Não verifica-se uma correlação direta da condutividade com a intensidade da precipitação. Segundo a ANA (2005) não há limites máximos de condutividade para aproveitamento de água.

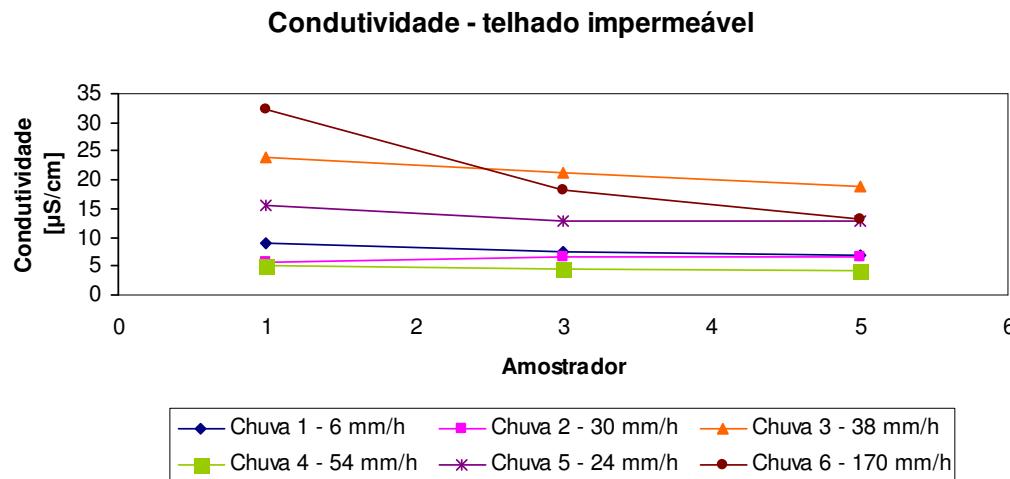


Figura 51. Condutividade nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado impermeável dos seis eventos.

De forma diferente do telhado impermeável, a Figura 52 não apresenta decaimento da condutividade com o tempo, além de mostrar valores bem maiores deste parâmetro. Um comportamento diferenciado no telhado permeável com relação à condutividade foi observado no evento #2, o qual caracteriza-se por ser um dos primeiros de maior intensidade do período de chuvas no ano.

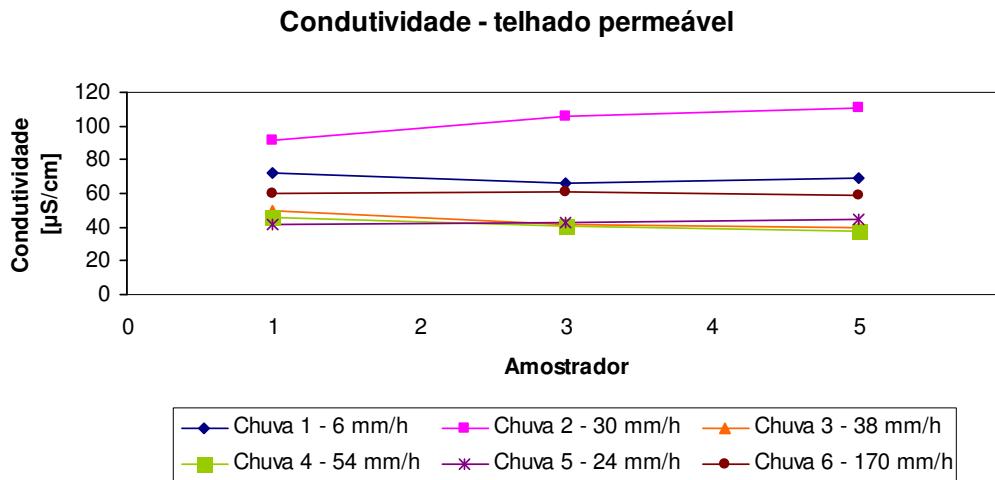


Figura 52. Condutividade nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado permeável dos seis eventos.

Na Figura 53 pode-se observar que os valores de DQO para o telhado impermeável se mantiveram em uma faixa relativamente pequena, sendo que, em alguns casos, houve decaimento no decorrer do tempo. Um comportamento diferente foi observado no evento #4, o qual caracteriza-se por ser um vento de alta intensidade após um grande período sem chuvas fortes. Depois disso, houve eventos mais intensos, no entanto estes foram precedidos de precipitações também intensas, com um tempo de recorrência menor. Com relação à possibilidade de aproveitamento dessa água, a ANA (2005) apenas estabelece valor máximo de DQO para a classe 4, que é de 75 mg/L. No entanto, para as outras classes, são propostos valores máximos de DBO e, com base nesses propõe-se que este efluente poderia ser usado para todas as classes de reuso, com exceção do evento #4. Nesse caso, estudos mais aprofundados acerca do tempo de *first-flush*, da intensidade e das

precipitações antecedentes teriam que ser realizados para que se avalie seu potencial e uso.

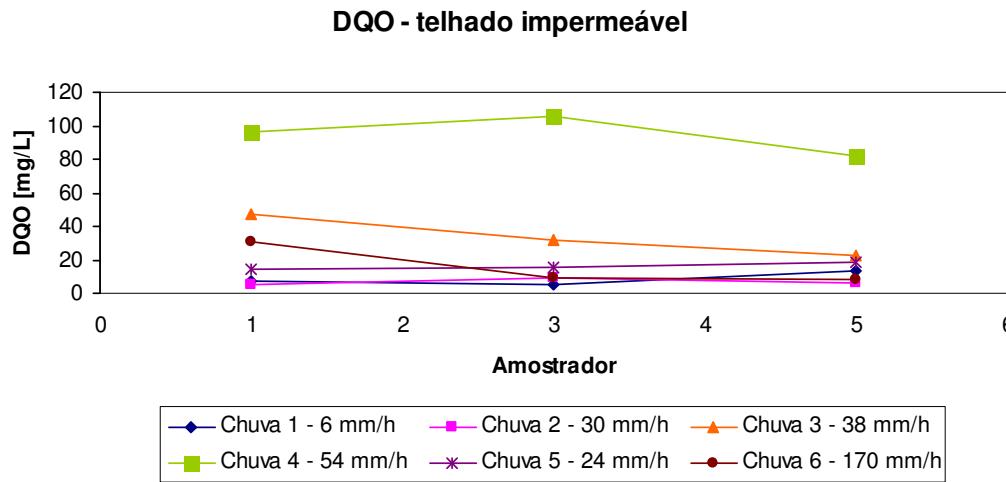


Figura 53. DQO nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado impermeável dos seis eventos.

Na Figura 54 pode-se observar que o evento que apresentou maiores valores de DQO é o mesmo que no telhado impermeável, no entanto, os eventos seguintes a esse foram os eventos em que se verificaram os valores consecutivos, em ordem decrescente. Comparando-se os resultados obtidos nos dois sistemas, verifica-se que os valores máximos são próximos, no entanto, no telhado permeável, os valores intermediários são maiores. Dessa forma, conclui-se que a CVL deve contribuir com o aumento da DQO na água efluente. É necessário um acompanhamento da qualidade do efluente da CVL durante toda a precipitação para que se verifique se há decaimento dos valores observados de DQO com o tempo. Com os valores obtidos pode-se indicar o uso da água captada nesse sistema apenas para reuso classe 3 (ANA, 2005) e, ainda sim, com restrições, devido aos resultados do evento #4.

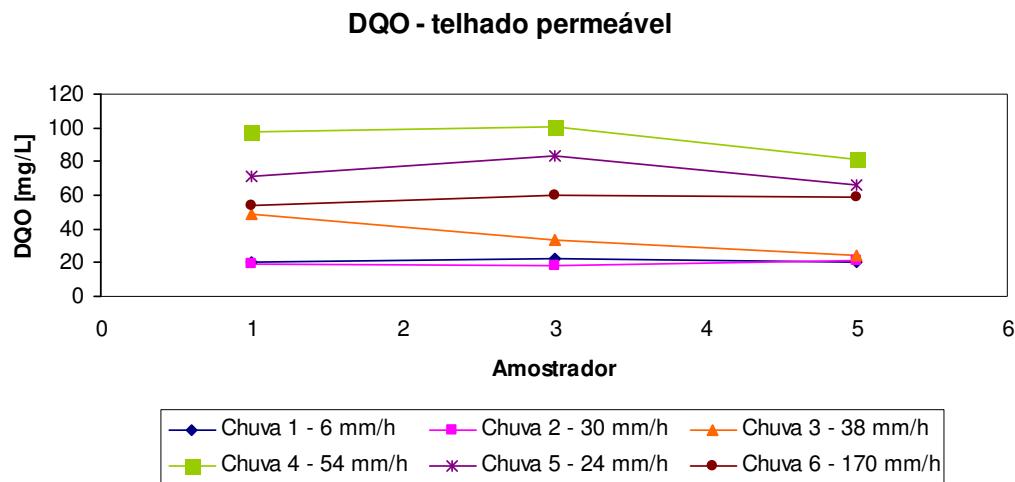


Figura 54. DQO nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado permeável dos seis eventos.

Os valores verificados na Figura 55 demonstram que os resultados de dureza efluente do telhado impermeável se encontram em uma faixa estreita de valores. A única exceção ocorre com o primeiro valor do evento #6, o qual decai rapidamente, já nos amostradores seguintes. Não se verifica uma relação direta da intensidade máxima da precipitação com os valores observados de dureza efluente. Com os resultados obtidos, a água captada se encaixa nos parâmetros especificados para todas as classes de reuso, segundo a ANA (2005).

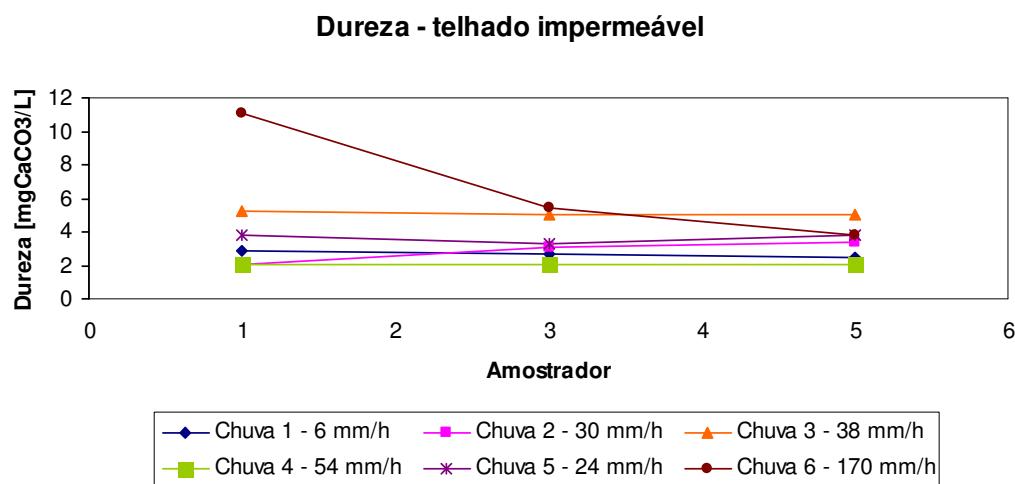


Figura 55. Dureza nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado impermeável dos seis eventos.

De forma diferente do telhado impermeável, a Figura 56 mostra que os maiores valores efluentes de dureza do telhado permeável foram resultantes do evento #2. Isto pode ocorrer devido a este ser um evento de maior intensidade após um período sem precipitações intensas. No entanto, no evento #2 não verifica-se decaimento do valor de dureza no decorrer dos amostradores. Assim, como o efluente do telhado impermeável, as características desse com relação a dureza se encaixam nos parâmetros de todas as classes de reuso (ANA, 2005).

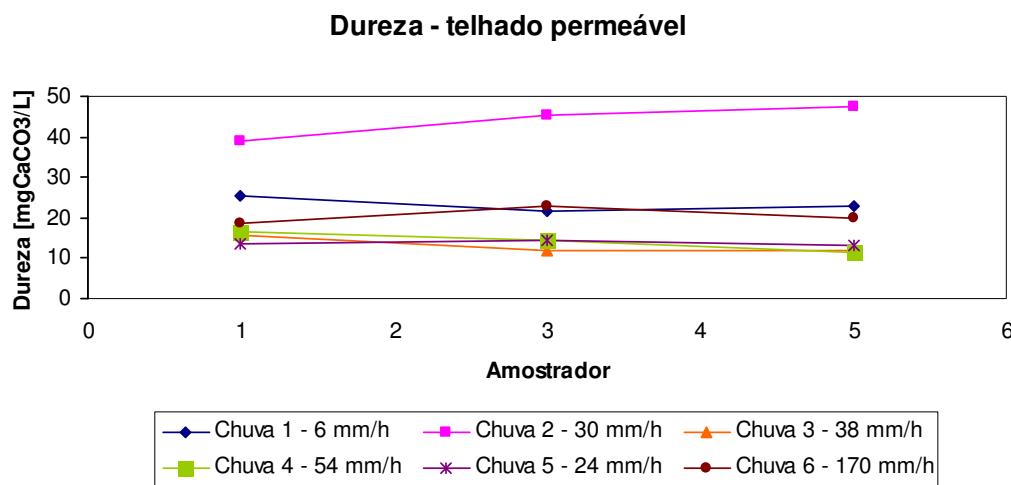


Figura 56. Dureza nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado permeável dos seis eventos.

Na Figura 57 observa-se que em todos os eventos a quantidade de coliformes totais caiu com o decorrer do tempo no telhado impermeável. No entanto, não há relação desta quantidade com a intensidade máxima da precipitação. A ANA (2005) não apresenta propostas de valores máximos de coliformes totais para as classes de reuso, apenas para a classe 4 com recirculação. E nesta, a água com esta qualidade não poderia ser utilizada.

Coliformes totais - telhado impermeável

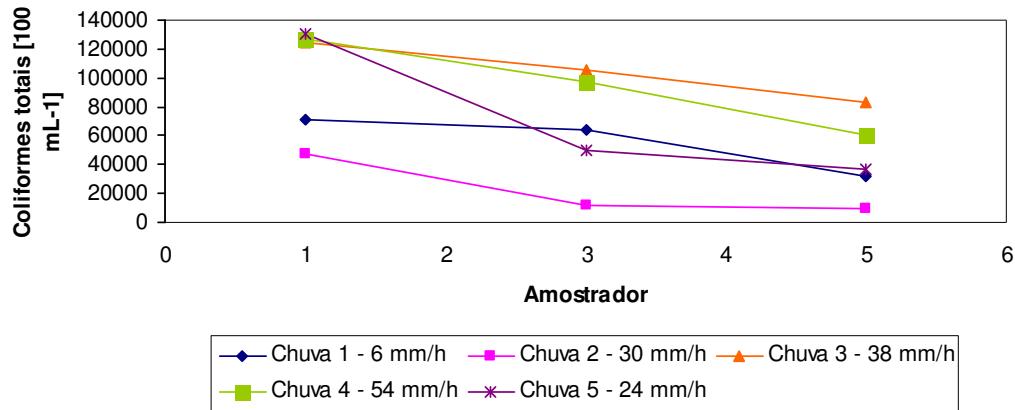


Figura 57. Coliformes totais nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado impermeável dos cinco eventos.

Da mesma forma que o telhado impermeável, a Figura 58 mostra que o efluente do telhado permeável não poderia ser utilizado em torres de resfriamento com recirculação. No entanto, o evento #4, neste caso, apresenta um comportamento diferenciado, de forma a quantidade de coliformes totais no primeiro amostrador é bem menor que nos outros.

Coliformes totais - telhado permeável

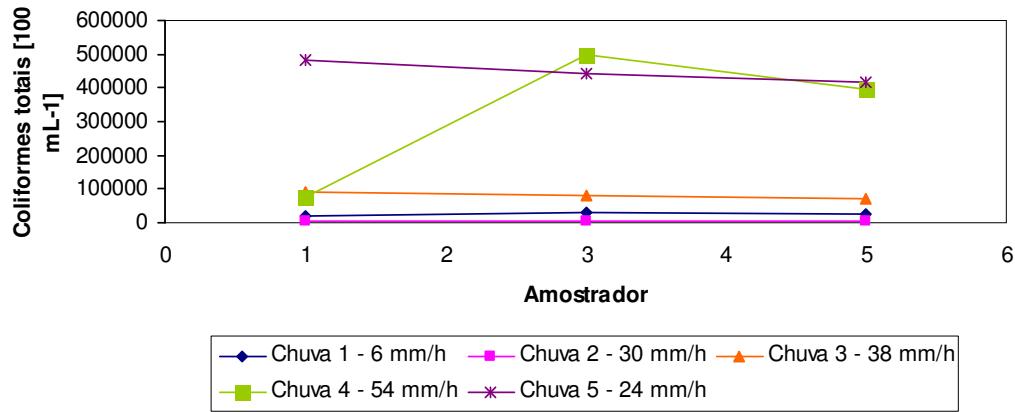


Figura 58. Coliformes totais nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado permeável dos cinco eventos.

Os valores encontrados de coliformes fecais no efluente do telhado impermeável (Figura 59) são relativamente baixos, com exceção dos eventos #2 e #3. Estes apresentam resultados bastante diferentes dos demais eventos.

No entanto, deve-se cuidar, visto que a quantidade de coliformes fecais varia drasticamente com eventos episódicos, como a presença de fezes de animais de sangue quente sobre o telhado no período de estiagem. Considerando-se os parâmetros propostos pela ANA (2005) para reuso, os dois eventos que apresentam padrões diferentes impediriam que esta água fosse utilizada para aproveitamento, no entanto, fazendo o controle de coliformes fecais antes do armazenamento, acredita-se que este fator possa ser contornado e a água aproveitada para as classes 2, 3 e 4.

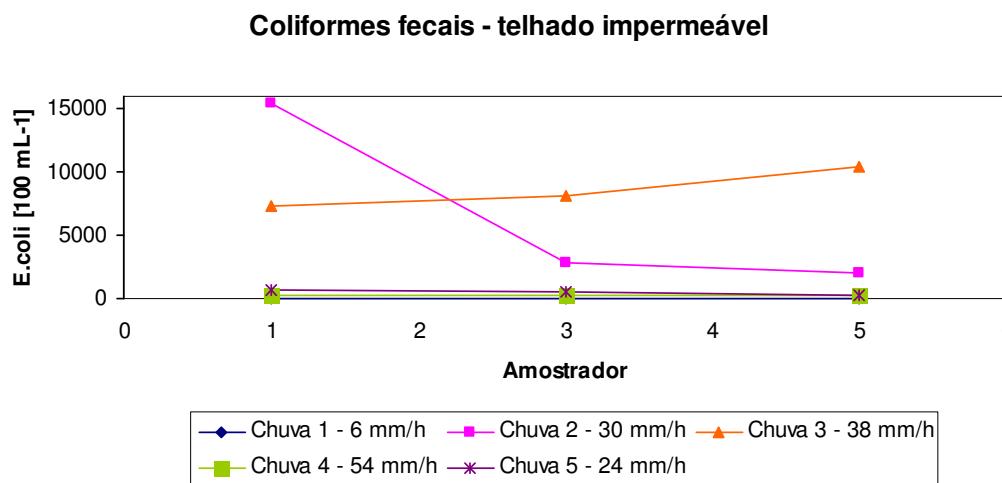


Figura 59. Coliformes fecais nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado impermeável dos cinco eventos.

Já na Figura 60 observa-se uma correlação significativa da intensidade com a quantidade de coliformes fecais efluente da CVL. Pode-se verificar também a evolução da área de contribuição com o efluente, de forma que a concentrações efluentes, com eventos de maior intensidade, apresentam um crescimento no decorrer do evento. Para que esta água sirva para aproveitamento, devem ser realizados estudos do decaimento no decorrer da precipitação da concentração de coliformes fecais em função da intensidade da precipitação, para que estas águas iniciais mais contaminadas possam ser devidamente descartadas. A correlação com a intensidade da liberação de coliformes fecais no efluente da CVL deve-se, provavelmente, ao fato de este tipo de superfície de captação reter os materiais nela depositados, como as fezes de animais, sendo estes apenas liberados quando com um estímulo

maior, como precipitações de alta intensidade, e não apenas com qualquer evento de precipitação que venha a ocorrer logo após o depósito desses materiais.

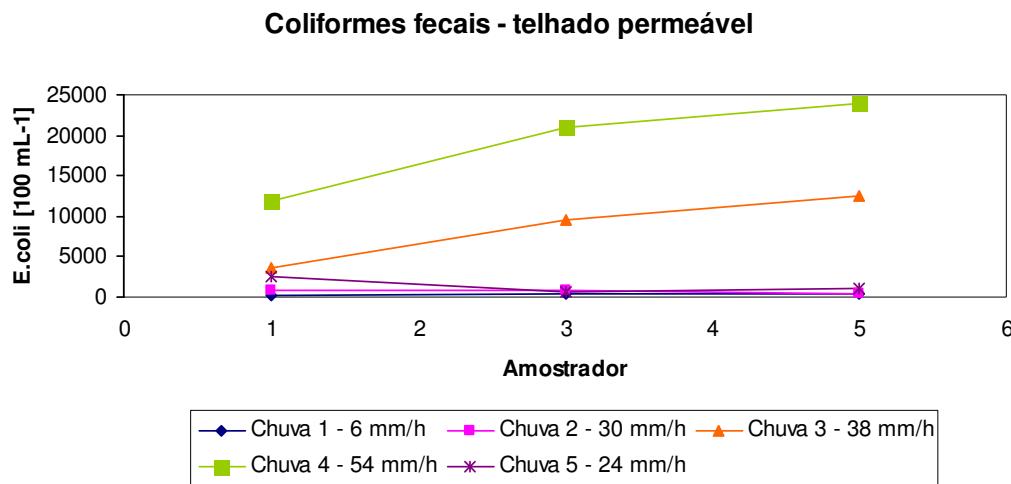


Figura 60. Coliformes fecais nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado permeável dos cinco eventos.

Na Figura 61 não se pode observar um padrão de crescimento ou decaimento dos sólidos totais nos amostradores e, nem mesmo, uma relação de suas concentrações com as intensidades máximas de cada evento. A ANA (2005) apresenta recomendações de valores apenas para os sólidos suspensos, por estes intervirem mais nas funções da água de aproveitamento. Considerando-se os resultados obtidos por May (2004) para água de chuva em São Paulo/SP e pelas análises do experimento controlado com a CVL, propõe-se uma proporção de que os sólidos suspensos equivalham a 50% dos sólidos totais. Esta proporção não deve ser utilizada como base para outros estudos, visto que é resultado de uma verificação simplificada de apenas dois resultados. Dessa forma, recomenda-se que esta água seja utilizada na classe 4 de reuso.

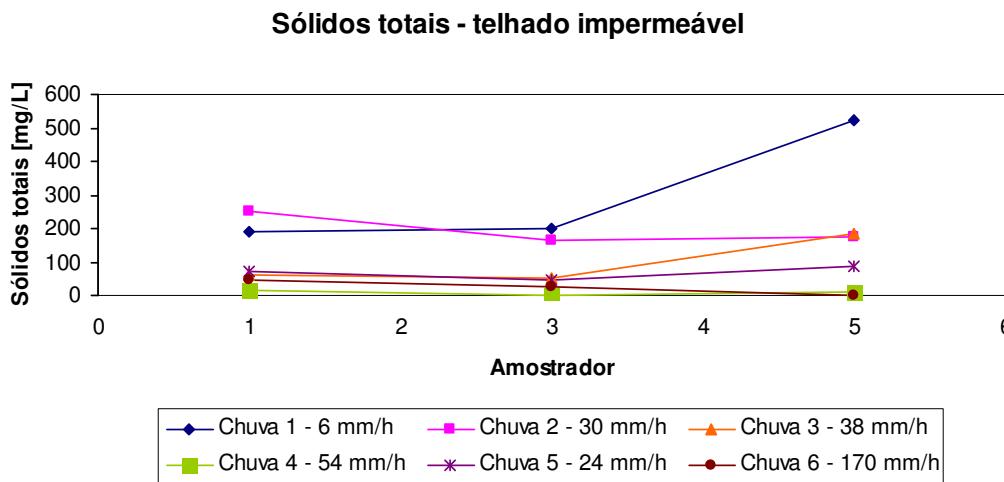


Figura 61. Sólidos totais nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado impermeável dos seis eventos.

No telhado permeável, assim como no telhado impermeável, não é verificado nenhum comportamento padrão da concentração de sólidos totais nos amostradores, como também nenhuma relação com a intensidade máxima da precipitação (Figura 62). Considerando-se a proporção de sólidos em suspensão com relação aos sólidos totais já proposta, esta água seria adequada para o reuso de classe 4 sem recirculação e, com recirculação se observado o descarte das águas com valores de sólidos totais superiores a 200 mg/L, como ocorreu nos eventos #1 e #2. Comparando-se os dois sistemas, verifica-se que os resultados obtidos são semelhantes, sendo a ordem de grandeza dos resultados a mesma e os eventos que apresentaram maiores concentrações efluentes os mesmos. No entanto, no decorrer dos amostradores o comportamento desses dois eventos foi diferente em cada um dos sistemas. Isso se deve, provavelmente, aos tempos de concentração e coeficientes de *runoff* diferenciados. Porém, os resultados demonstram que a CVL não retém e nem lixivia sólidos em/de seu substrato.

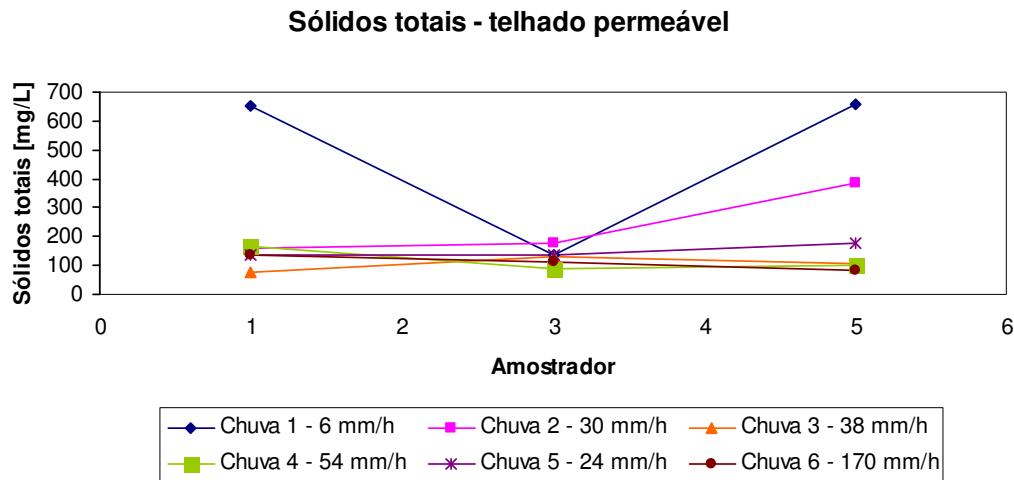


Figura 62. Sólidos totais nos amostradores #1, #3 e #5 do telhado permeável dos seis eventos.

5.4. POTENCIALIDADE DE USO DA ÁGUA CAPTADA

Com base nos resultados das análises apresentados foi composta a Tabela 11, onde são indicadas as potencialidades de uso segundo os padrões de qualidade para as classes de reuso propostos pela ANA (2005). Em quase todos os parâmetros há especificidades que devem ser verificadas na discussão dos resultados já apresentadas.

Tabela 11 – Potencialidade de aproveitamento da água captada nos sistemas estudados.

Parâmetro	Classe 1: Bacias sanitárias, lavagem de pisos e veículos		Classe 2: Construção civil		Classe 3: Irrigação e rega de jardins		Classe 4: Resfriamento de equipamentos	
	Telhado impermeável	Telhado permeável	Telhado impermeável	Telhado permeável	Telhado impermeável	Telhado permeável	Telhado impermeável	Telhado permeável
	X	X	X	X	X	X	X	X
pH								
Turbidez			X	X	X	X	X	X
Cor			X	X	X		X	X
Condutividade	X	X	X	X	X	X	X	X
DQO	X		**	**	X	X	**	**
Dureza	X	X	X	X	X	X	X	X
Coliformes totais	X	X	X	X	X	X	X*	X*
Coliformes fecais			X		X		**	**
Sólidos totais							X	X*

* Pode ser utilizado em torres de resfriamento sem recirculação.

** A ANA (2005) não propõe valores restritivos para estes parâmetros e usos específicos.

É interessante verificar que alguns parâmetros apresentaram correlação direta com a intensidade máxima observada no evento, como a turbidez nos dois sistemas e os coliformes fecais no telhado permeável. Isto possibilita que uma verificação da intensidade da chuva dê indícios da qualidade da água e, com um mecanismo automático, direcione a água efluente da superfície de captação para o armazenamento ou descarte.

Para este sistema de armazenamento automático seletivo é necessário que alguns indicadores da qualidade da água sejam estudados mais a fundo, principalmente com relação à calibração dos indicadores.

É importante, ainda, ressaltar que pode haver erros nas análises laboratoriais, de forma que um resultado isolado não deve ser considerado como um problema de fato, mas como um indicativo de problema e orientação para que esta parte do estudo seja novamente realizada, antes de se tomar como base para projetos ou novos experimentos.

Com base na Tabela 11, foi feita a Tabela 12, a qual indica os fatores limitantes para cada sistema e classe de reuso, segundo a ANA (2005). Como as classes mais exigentes com a qualidade da água são as classes 1 e 3 de reuso, e como o enfoque desse estudo é em aproveitamento de água de chuva em lotes residenciais, onde seria necessário atender a estes padrões, os resultados são focados nessas duas classes de reuso.

Tabela 12 – Parâmetros limitantes para cada sistema e classe de reuso.

Parâmetro limitante	Telhado impermeável		Telhado permeável	
	Classe 1: Bacias sanitárias, lavagem de pisos e veículos	Classe 3: Irrigação e rega de jardins	Classe 1: Bacias sanitárias, lavagem de pisos e veículos	Classe 3: Irrigação e rega de jardins
Turbidez	X		X	
Cor	X		X	X
DQO			X	
Coliformes fecais	X		X	
Sólidos totais	X	X	X	X

Dessa forma, os parâmetros relacionados na Tabela 12 são os mais importantes de serem monitorados para um estudo da possibilidade de aproveitamento da água efluente dos dois sistemas propostos.

5.5. INDICADORES

Como apresentado na Tabela 12 e na discussão dos resultados das análises, as três formas propostas de se avaliar a qualidade do efluente dos sistemas de captação que afluem ao sistema de aproveitamento são:

- Relação 1: verifica-se correlação da qualidade da água efluente ao sistema em determinado evento com a distribuição e características das precipitações antecedentes;
- Relação 2: verifica-se correlação da qualidade da água efluente ao sistema com a intensidade da precipitação no evento em questão;
- Relação 3: verifica-se variação temporal da qualidade da água efluente ao sistema com tendências ao decaimento até atingir os padrões de qualidade para aproveitamento, no entanto seus limites não foram estabelecidos nesse estudo, de forma que para implantação do sistema estes parâmetros deveriam ser monitorados em tempo real, só sendo armazenada a água quando estes apresentassem valores dentro da faixa proposta pela ANA (2005).

Confrontando os resultados desse estudo com as relações de avaliação da qualidade da água efluente, foi composta a Tabela 13, onde se correlacionam os parâmetros analisados com as relações aplicáveis para cada um e em cada sistema.

Tabela 13 – Relações de avaliação da qualidade da água efluente aplicáveis para cada parâmetro e em cada sistema proposto.

Parâmetro	Relação 1: qualidade da água com características das chuvas		Relação 2: qualidade da água com a intensidade da precipitação em tempo real		Relação 3: qualidade da água captada em tempo real	
	Telhado impermeável	Telhado permeável	Telhado impermeável	Telhado permeável	Telhado impermeável	Telhado permeável
pH						
Turbidez	X	X		X		X
Cor			X	X	X	X
Condutividade		X				
DQO	X	X	X		X	X
Dureza		X		X		
Coliformes totais						
Coliformes fecais				X	X	X
Sólidos totais	X					X

Dessa forma, são propostos quatro métodos a serem aplicados na seleção automática das águas a serem armazenadas. Cada um desses métodos, aplicado a um sistema gera um indicador de qualidade da água.

- Método 1: considera as características das precipitações antecedentes. Dessa forma, cada parâmetro considerado limitante para determinado sistema que sofra influência das características das precipitações antecedentes deve ser considerado nesse método. Para isso um sistema que contenha um banco de dados das precipitações antecedentes é necessário. Nele, os principais fatores a serem considerados são: o período de escassez, a intensidade das precipitações e a periodicidade das mesmas. Com base em estudos mais aprofundados que correlacionem estes fatores à qualidade da água podem ser

propostas relações numéricas de cada um desses parâmetros com a qualidade da água efluente;

- Método 2: considera a intensidade em tempo real da precipitação e sua correlação com cada parâmetro que sofre influência direta da mesma. Dessa forma, quando a intensidade observada for maior que o limite que gera uma determinada qualidade de um dado parâmetro maior que o padrão estabelecido pela ANA (2005), a água efluente da superfície de captação deve ser descartada. Para tanto, estudos mais aprofundados das respostas de cada parâmetro que sofre interferência da intensidade da precipitação devem ser realizados, de forma que as relações numéricas entre intensidade e qualidade de água sejam obtidas;
- Método 3: utiliza-se do acompanhamento em tempo real da qualidade da água para determinados parâmetros. Este acompanhamento pode ser realizado com sistemas automáticos acoplados a sondas que medem constantemente os valores dos parâmetros estabelecidos na saída da superfície de captação. Assim, verifica-se de forma direta se a qualidade da água afluente ao sistema condiz com os parâmetros exigidos para o uso pretendido, descartando-as caso contrário;
- Método 4: este método propõe um sistema que utilize os três métodos anteriores de forma a contemplar os parâmetros mais importantes para cada sistema. Assim, este seria o método onde se obteriam os melhores resultados, no entanto, seria também o mais dispendioso, visto que utiliza diversas tecnologias integradas.

Aliando-se os métodos de seleção automática aos sistemas estudados (dados da Tabela 13), são propostos oito indicadores de qualidade da água afluente ao sistema de armazenamento, apresentados nos itens a seguir e compilados na Tabela 14:

- Indicador 1 – Telhado impermeável e método 1: os parâmetros a serem considerados são turbidez e sólidos totais;
- Indicador 2 – Telhado impermeável e método 2: o parâmetro a ser considerado é a cor;
- Indicador 3 – Telhado impermeável e método 3: os parâmetros a serem considerados são cor e coliformes fecais;

- Indicador 4 – Telhado impermeável e método 4: composto pela melhor combinação entre os indicadores 1, 2 e 3, visando minimizar custos e otimizar os resultados da seleção para o uso pretendido;
- Indicador 5 – Telhado permeável e método 1: os parâmetros a serem considerados são turbidez e DQO;
- Indicador 6 – Telhado permeável e método 2: os parâmetros a serem considerados são turbidez, cor e coliformes fecais;
- Indicador 7 – Telhado permeável e método 3: os parâmetros a serem considerados são turbidez, cor, DQO, coliformes fecais e sólidos totais;
- Indicador 8 – Telhado permeável e método 4: composto pela melhor combinação entre os indicadores 5, 6 e 7, visando minimizar custos e otimizar os resultados da seleção para o uso pretendido. Neste caso, o indicador 7 abrange todos os parâmetros considerados limitantes, no entanto, isso não significa que adotar puramente o método 3 de seleção seja a tecnologia mais conveniente.

Tabela 14 – Indicadores de qualidade da água captada em sistemas de aproveitamento de água de chuva.

Sistema de separação	Superfície de captação	Variável de observação e decisão	Parâmetros limitantes a serem considerados
Indicador 1	Telhado impermeável	Método 1 – chuvas antecedentes	Turbidez e sólidos totais
Indicador 2	Telhado impermeável	Método 2 – intensidade da precipitação em tempo real	Cor
Indicador 3	Telhado impermeável	Método 3 – qualidade da água captada em tempo real	Cor e coliformes fecais
Indicador 4	Telhado impermeável	Método 4 – utiliza os métodos 1, 2 e 3	Custos e otimização dos resultados
Indicador 5	Telhado permeável	Método 1 – chuvas antecedentes	Turbidez e DQO
Indicador 6	Telhado permeável	Método 2 – intensidade da precipitação em tempo real	Turbidez, cor e coliformes fecais

Continua...

Continuação:

Sistema de separação	Superfície de captação	Variável de observação e decisão	Parâmetros limitantes a serem considerados
Indicador 7	Telhado permeável	Método 3 – qualidade da água captada em tempo real	Turbidez, cor, DQO, coliformes fecais e sólidos totais
Indicador 8	Telhado permeável	Método 4 – utiliza os métodos 1, 2 e 3	Custos e otimização dos resultados

Os últimos resultados apresentados são uma avaliação da potencialidade de uso para as classes 1 e 3 da (ANA, 2005). Para as classes 2 e 4, que são menos restritivas, foram verificadas baixas restrições para uso com base nos critérios de qualidade propostos pela ANA (2005). Ou seja, para uso em torres de resfriamento e na construção civil a água captada pelos sistemas propostos possui a qualidade requerida sem necessidade de tratamento ou com a aplicação de tratamento simplificado e direcionado, como a remoção de sólidos para uso na construção civil.

6. CONCLUSÕES

De modo geral, o trabalho obteve resultados positivos de acordo com o proposto e deixou muitas outras questões a serem respondidas. Nesse capítulo será apresentado um resumo das conclusões obtidas nesse trabalho. Estas conclusões serão ordenadas com base nos objetivos propostos.

Como resposta ao objetivo específico #1, onde se propunha a instalação dos sistemas de captação e aproveitamento de água de chuva para fins não-potáveis pode-se verificar que foram instalados dois sistemas simples de captação de água, um com superfície de captação permeável e outro impermeável. O ponto crítico verificado nessas instalações foi a entrada do reservatório de auto-limpeza, a qual foi realizada pela parte inferior do reservatório e apresentaria melhores resultados, promovendo menor revolvimento do material sedimentado, se fosse feita pela parte superior do mesmo. Para este trabalho, este fato não é relevante, visto que não altera os resultados, já que as amostras foram coletadas antes do reservatório de auto-limpeza, sem qualquer tratamento.

O objetivo específico #2 visava estudar a qualidade da água escoada por superfícies de captação permeáveis e impermeáveis. Para tanto, foram realizadas análises laboratoriais do efluente das duas superfícies experimentais após cada um dos seis eventos de precipitação avaliados. Foi também realizada uma aplicação da água da rede de abastecimento na CVL para verificar a sua influência na qualidade da água efluente. Desta avaliação verificou-se que a CVL contribui para o aumento dos valores da grande maioria dos parâmetros analisados, piorando a qualidade da água que eflui, com exceção do nitrato e do fósforo solúvel, que tiveram sua concentração diminuída com a passagem pela superfície permeável. Dessa forma, devem ser tomados cuidados especiais com relação à qualidade da água captada em superfícies permeáveis e aos usos pretendidos. Já na comparação entre a qualidade da água efluente das superfícies de captação permeáveis e impermeáveis, verifica-se que, para quase todos os parâmetros, a qualidade da água escoada na superfície impermeável é melhor, com exceção dos coliformes totais e fecais, onde está relação não ocorre em todos os eventos

analizados. Posteriormente é verificada ainda a relação dessa variação com as características dos eventos do regime natural de precipitações.

Para concretização do objetivo específico #3 foram selecionados seis eventos do regime natural de precipitações com intensidade elevada e estes foram caracterizados quali-quantitativamente. Dos efluentes do escoamento pelas superfícies de captação resultantes desses seis eventos foram coletadas as amostras utilizadas para as análises de qualidade da água. Uma amostragem de um número maior de eventos seria importante para validar os resultados, inclusive englobando dados de vários anos pluviométricos. É interessante verificar que, dentre os eventos analisados, cinco dos seis apresentam padrão temporal 1 ou 2, ou seja, a mais alta intensidade de chuva ocorreu antes da metade do tempo total de precipitação.

Correlacionando-se a qualidade da água captada (média dos resultados das análises) com as características dos eventos de precipitação (objetivo específico #4), pode-se verificar que a qualidade da água observada nas amostras responde a diversas das características dos eventos de precipitação, como intensidade da chuva e características e condições das precipitações antecedentes. Considerando-se o ano pluviométrico pôde-se, ainda, verificar que a qualidade da água coletada, em geral, melhora com o aumento das chuvas intensas, devendo, no entanto, ser verificadas as peculiaridades de cada parâmetro. Os parâmetros importantes a serem verificados dependem dos usos pretendidos para a água coletada. Cada parâmetro em cada uma das coberturas responde de forma diferente às características dos eventos de precipitação. Um outro enfoque foi na qualidade da água no início da chuva, para diferentes momentos. Para tanto, foram coletadas amostras em três amostradores por evento para cada superfície de captação e foram analisadas suas características qualitativas. Em alguns parâmetros pôde-se verificar um decaimento significativo dos valores no início da precipitação, levantando a possibilidade de um aproveitamento da água captada para fins mais nobres sem um pré-tratamento da água. Em outros casos, principalmente para a água efluente da CVL, constatou-se que mais estudos acerca da qualidade da água no decorrer precipitação precisam ser realizados, de forma a se verificar a possibilidade de aproveitamento dessa água para fins não potáveis em residências sem tratamento. De toda forma, deve-se ainda considerar a

possibilidade de tratamento simplificado da água captada, o que certamente amplia significativamente as potencialidades de uso.

Com os resultados acima apresentados conclui-se o objetivo geral #1, o qual previa a análise dos parâmetros de qualidade para diferentes superfícies de captação no decorrer de eventos episódicos do regime natural de precipitações. Este embasa ainda a avaliação das potencialidades de uso da água captada, o que é o objetivo específico #5.

Para o objetivo específico #5, verificou-se que a água captada e sem qualquer tratamento, ou com um tratamento simplificado, poderia ser utilizada sem maiores problemas para as classes 2 e 4, propostas pela ANA (2005). Já para as classes 1 e 3, que referem-se a usos domésticos, como em bacias sanitárias, lavagem de pisos e veículos e rega de jardins, são necessários maiores estudos para otimização do descarte automático da parcela não aproveitável da água captada e acerca dos tratamentos necessários para atingir a qualidade requerida. No entanto, este trabalho contribui com os estudos iniciais para a seleção automática da água a ser aproveitada.

Visando a seleção automática da água afluente ao sistema de captação e aproveitamento de água de chuva e respondendo ao objetivo geral #2, foram propostos indicadores para seleção automática da água a ser armazenada, com base nos usos pretendidos, na qualidade da água requerida, nas características das precipitações, situadas no regime natural de precipitações, considerando-se as precipitações antecedentes e as características físico-químicas em tempo real e nas combinações entre esses dados. As características químicas avaliadas em tempo real devem-se ao fato de haver parâmetros de qualidade que não respondem diretamente a nenhuma das características dos eventos a serem avaliadas. Dessa forma, propõe-se, também, o uso de sondas acopladas ao próprio sistema que façam medições em tempo real da qualidade da água afluente ao sistema as quais, aliadas às propostas anteriores, embasariam o sistema para o direcionamento da água captada para armazenamento ou descarte, conforme sua qualidade e usos pretendidos, otimizando ao máximo o volume e a qualidade da água armazenada. Estes indicadores devem ser melhor estudados e testados para provar sua real eficácia, visto que a avaliação neste trabalho apresentada é unicamente teórica e baseada em uma pequena amostragem de dados. No

entanto este tipo de indicadores pode ser bastante útil para a automatização e otimização dos sistemas de captação e aproveitamento de água de chuva.

7. RECOMENDAÇÕES

Para aprimoramento dos estudos realizados neste trabalho propõe-se:

- novos estudos da qualidade da água durante os eventos de precipitação, com o uso de um amostrador seqüencial automático;
- fazer a entrada de água no reservatório de auto-limpeza pela parte superior do mesmo;
- realizar periodicamente a limpeza dos amostradores e fazê-los de forma que permitam a realização de tal operação;
- a estimativa das vazões escoadas de cada superfície de captação para intervalos de discretização menores (de 1 a 10 minutos) e, a partir delas, os respectivos polutogramas temporais e sua variação temporal;
- análise da possibilidade da realização de tratamento simplificado da água para melhoria de sua qualidade até atingir a qualidade requerida para determinados usos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3P TECHNIK. **Informações sobre o aproveitamento das águas de chuva.** Disponível em: <<http://www.agua-de-chuva.com/>> Acesso em 16 jan. 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conservação e Reúso da Água em Edificações.** São Paulo: Prol Editora Gráfica, jun. 2005.

APHA, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 20^a ed. USA, 1998.

CUNHA, A. P. S. R. **Experimento Hidrológico para Aproveitamento de Águas de Chuva Usando Coberturas Verdes Leves (CVL).** Processo FAPESP: 03/06580-7. Universidade de São Paulo (USP). Escola de Engenharia de São Carlos – EESC. Departamento de Hidráulica e Saneamento - SHS. Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas. São Carlos, 2004. Disponível em: <<http://www.shs.eesc.usp.br/laboratorios/hidraulica/..%5C..%5Cpessoal%5Cdocentes%5Ctechnotes%5C31%5CAra-FAPESP-2004-Relat-final.pdf>> Acesso em 10 jul. 2008.

FERREIRA, C.A. E MORUZZI, R. B. **Considerações sobre a aplicação do telhado verde para captação de água de chuva em sistemas de aproveitamento para fins não potáveis.** In: IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. 2007.

GALAVOTI, R. C.; VASCONCELOS, A. F.; OHNUMA JR., A. A.; ANDRADE, J. P. M.; ALMEIDA NETO, P.; BOTTINO, F.; MENDIONDO, E. M. **Sustainable handling of the river basin/river/floodplain system for the conservation of water resources in urban areas.** International Conference on Technologies for Waste and Wastewater Treatment, Energy from Waste, Remediation of Contaminated Sites and Emissions Related to Climate. Kalmar, 2007.

HEYWORTH, J. S.; ROWE, T. **Consumption Of Tank Rainwater And Influence Of Recent Rainfall On The Risk Of Gastroenteritis Among Young Children In Rural South Australia.** 12th International Rainwater Catchment Systems Conference. New Delhi, 2005.

KÖHLER, M. et al. **Urban Water Retention by Greened Roofs in Temperate and Tropical Climate.** Technology Ressource Management & Development – Scientific

Contributions for Sustainable Development, vol.2. p.151 - 162. In: 38th IFLA (Internacional Federation of Landscape Architects) World Congress. Singapore 2001. Disponível em: <http://www.tt.fh-koeln.de/publications/ittpub301202_10.pdf> Acesso em 10 jul. 2008.

KÖHLER, M., SCHMIDT, M. Study of a Extensive “Green Roofs” in Berlin. Part III: Retention of Contaminants. Berlin, 2003. Disponível em: <http://www.roofmeadow.com/technical/publications/SWQuality_Berlin_MSchmidt.pdf> Acesso em 10 jul. 2008.

KÖHLER, M., SCHMIDT, M., SICKERMANN, J. Greened Roofs and the Technique of Water Harvesting; a Synergistic Combination, [2001?]. Disponível em: <<http://www.aguadechuva.hpg.ig.com.br/3simposio/pdf/062-2001%20.pdf>> Acesso em 14 out. 2006.

MacMILLAN, M. York University Rooftop Garden Stormwater Quantity and Quality Performance Monitoring Report, 2004. Disponível em: <http://www.epa.gov/region8/greenroof/documents/3.4_Macmillan-monitoring.pdf> Acesso em 10 jul. 2008.

MARTISON, B. e THOMAS, T. Quantifying the First-flush Phenomenon. Development Technology Unit. School of Engineering, University of Warwick, [200_?]. Disponível em: <<http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/dtu/rain/martinson-ff.pdf>> Acesso em 10 jul. 2008.

MAY, S. Estudo da Viabilidade do Aproveitamento de Água de Chuva para Consumo Não Potável em Edificações. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado. São Paulo – SP, 2004.

MENTENS, J. et al. Green Roofs as a Tool for Solving the Rainwater Runoff Problem in the Urbanized 21st Century? Departament of Land Management, Laboratory for Forest, Nature & Landscape Research. Leuven, Belgium, 2005. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V91-4G5BJ9W-2&_user=5674931&_coverDate=08%2F30%2F2006&_alid=766154891&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_cdi=5885&_sort=d&_docanchor=&view=c&_ct=1&_acct=C000049650&_version=1&_urlVersion=0&_userid=5674931&md5=47e5a1b5f665e20c414cc699583124a8> Acesso em 10 jul. 2008.

MORAIS, C. S. **Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlos – SP.** Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de São Carlos. 2004. 20 p.

MORAN, A., HUNT, B., JENNINGS, G. **A North Carolina Field Study to Evaluate Greenroof Runoff Quantity, Runoff Quality and Plant Growth,** 2004. Disponível em: <http://www.epa.gov/region8/greenroof/documents/3.4_Hunt-Moran_monitoring.pdf> Acesso em 10 jun. 2008.

MORUZZI, R. B.; CARVALHO, G. S. E OLIVEIRA, S. C. **Aplicação do conceito de balanço de vazões no dimensionamento de reservatório de armazenamento de água pluvial para residências unifamiliares: viabilidade e proposta de aprimoramento.** In: Ambiente construído (aguardando resposta). Rio Claro – SP, 2008.

OHNUMA, A. A. **Medidas não-convencionais de reservação d'água para o controle da poluição em lote domiciliar.** Ciências da Engenharia Ambiental - SHS/EESC/USP. Qualificação de doutorado. São Carlos – SP. Mar/2006.

ONU – FAO – Organização das Nações Unidas - Food and Agriculture Organization. Relatório **Água: uma Responsabilidade Compartilhada.** Roma, 2007. UN-WATER/WWAP/2007/02, 568 p. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/ulis/cgi-bin/ExtractPDF.pl?catno=149519&look=new_sp&ll=3> Acesso em: 15 jan. 2008.

Página oficial na internet da Escola de Engenharia de São Carlos: **Mapa do Campus**
1. Disponível em: www.eesc.usp.br. Acesso em 12 mar. 2008.

PECK, S. W. et al. **Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada.** Peck and associates. Disponível em: <<http://greenroofs.ca/grhcc/Greenbacks.pdf>> Acesso em: 10 jul. 2008.

PLANNING GUIDE. **The gренn roof.** 1 fotografia. p&b 6. ed. Zinco © GmbH. Grabenstraße, 33, D – 72669. Alemanha: Unterensingen: 2000.

ROBERTSON, S. et al. **Stanford University's Green Dorm Water System Management Project.** Stanford, Califórnia, 2005. Disponível em: <http://sustainability.stanford.edu/greendorm/involvement/coursework/CEE179_exterior_LEPfinalReport.doc> Acesso em 10 jul. 2008.

TEEMUSK, A., MANDER, U., **Rainwater Runoff Quantity and Quality Performance from a Greenroof: The Effects of Short-Term Events**, Ecol. Eng. (2007), doi:10.1016/j.ecoleng. 2007.01.009. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VFB-4N6NHG4-1&_user=5674931&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000049650&_version=1&_urlVersion=0&_userid=5674931&md5=9b461e2b9409963b279b4c3a17a7cf91> Acesso em 10 jul. 2008.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água de Chuva: Para áreas urbanas e fins não potáveis**. 2. ed. São Paulo: Navegar Editora, 2003. 180p.

TUCCI, C. E. M. et al. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995. 428p.

VASCONCELOS, A. F. **Micro-sistema de alerta antecipado na prevenção de desastres hidrológicos junto à defesa civil**. Relatório final de iniciação científica. Processo CNPq: 503719/2004-8. Universidade de São Paulo (USP). Escola de Engenharia de São Carlos – EESC. Departamento de Hidráulica e Saneamento - SHS. Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas. São Carlos, 2007. 50 p.

VECCCHIA, F.; NOLASCO, G. C. **Cubierta Verde Ligera (CVL): un ensayo experimental**. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, v. 1, p. 1-14. Argentina, 2006.