

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA A CORREÇÃO DO COEFICIENTE DE
RETORNO DE ESGOTO SANITÁRIO EM UNIDADES COM SISTEMAS DE
APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL**

Diogo Leal Bombarda

Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi

Rio Claro (SP)

2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

DIOGO LEAL BOMBARDA

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA A CORREÇÃO
DO COEFICIENTE DE RETORNO DE ESGOTO
SANITÁRIO EM UNIDADES COM SISTEMAS DE
APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Trabalho de Formatura
apresentado ao Instituto de Geociências e
Ciências Exatas - Campus de Rio Claro,
da Universidade Estadual Paulista Júlio
de Mesquita Filho, para obtenção do grau
de Engenheiro Ambiental.

Rio Claro - SP
2013

628.1 Bombarda, Diogo Leal
B695p Proposta metodológica para a correção do coeficiente de
retorno de esgoto sanitário em unidades com sistemas de
aproveitamento de água pluvial / Diogo Leal Bombarda. - Rio
Claro, 2013
79 f. : il., figs., gráfs., tabs., plant.

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) -
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
Ciências Exatas
Orientador: Rodrigo Braga Moruzzi

1. Abastecimento de água. 2. Água de chuva. 3. Relação
esgoto/água. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

DIOGO LEAL BOMBARDA

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA A CORREÇÃO
DO COEFICIENTE DE RETORNO DE ESGOTO
SANITÁRIO EM UNIDADES COM SISTEMAS DE
APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL**

Trabalho de Formatura
apresentado ao Instituto de Geociências e
Ciências Exatas - Campus de Rio Claro,
da Universidade Estadual Paulista Júlio
de Mesquita Filho, para obtenção do grau
de Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora

Rodrigo Braga Moruzzi

Samuel Conceição de Oliveira

Lívia Savioli Manetta

Rio Claro, 18 de Novembro de 2013.

Assinatura do aluno

Assinatura do orientador

RESUMO

O aproveitamento da água pluvial para fins não potáveis gera uma redução no consumo de água tratada, porém, essa redução não é observada na geração de esgoto sanitário, pois essa independe da fonte de água. No Brasil, a tarifação sobre os serviços de coleta e tratamento de esgoto sanitário, em geral, é baseada no coeficiente de retorno da rede coletora de esgoto, que apresenta uma relação esgoto/ água proporcional ao consumo de água tratada medida no hidrômetro da unidade consumidora. A utilização de água pluvial proveniente de sistemas de aproveitamento infere nesse coeficiente, subestimando os volumes de esgoto gerados. Sendo assim, o presente estudo apresenta uma proposta metodológica para o ajuste do coeficiente de retorno. Foram simuladas diferentes situações de áreas de telhado, volumes de reservatórios e índices de consumo de água. Analisou-se, também, o comportamento do ajuste do coeficiente de retorno para a área média de telhado *per capita* (m²/hab) do município de Rio Claro – SP. Como resultado, pode-se observar que o ajuste do coeficiente de retorno é diretamente proporcional ao acréscimo das áreas de telhado e dos volumes de reservatórios, e inversamente proporcional à demanda de água total. O coeficiente de retorno corrigido apresentou o valor mínimo de 0,83 e um valor máximo de 1,45, essa variação corresponde à máxima relação entre as demandas de água pluvial e água total, uma vez que o aproveitamento de água pluvial deve ser destinado somente aos usos não potáveis, conforme estabelecido pela NBR 15527/07. Para o município de Rio Claro – SP notou-se um ajuste no coeficiente de retorno variando de 0,99 a 6,61.

Palavras – chave: Água pluvial. Coeficiente de retorno. Relação esgoto/água. Aproveitamento de água de chuva.

ABSTRACT

The use of rainwater for non-potable purposes generates a reduction in the consumption of treated water, however, this reduction is not observed in the generation of wastewater, as this is independent of the water source. In Brazil, the pricing on the services of collection and treatment of sewage, in general, is based on the coefficient of return of the sewage disposal system, which has a relation sewer / water proportional to the consumption of treated water measured at the consumer unit. The use of rainwater originating from utilization systems infer on the coefficient, underestimating the volume of wastewater generated. Therefore, this study presents a methodology for setting the coefficient of return. Different roof areas, reservoir volumes and rates of water consumption situations were simulated. The behavior of adjustment of the coefficient of return were also analyzed for the average area per capita roof (m^2 / inhabitant) of Rio Claro - SP. As a result, it can be seen that the adjustment of the coefficient of return is directly proportional to the increase of the roof areas and the volumes of reservoirs, and inversely proportional to the total water demand. The corrected coefficient of return showed the minimum value of 0.83 and a maximum value of 1.45, this variation corresponds to the maximum ratio between the demands of total water and rainwater, since the exploitation of rain water should be used only for non-potable uses, according to NBR 15527 / 07. To the municipality of Rio Claro - SP was noted an adjustment of the coefficient of return ranging from 0.99 to 6.61.

Key - words: Rainwater. Coefficient of return. The sewer/ water. Utilization of rainwater.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição territorial, disponibilidade hídrica e distribuição populacional para as regiões do Brasil. Fonte: Ghisi (2006).	16
Figura 2: Eficiências de atendimento e aproveitamento para diferentes áreas de telhado específicas, volumes de reservatórios específicos, e suas relações com a demanda máxima aproveitável. Extraído de Moruzzi (2014, no prelo).	36
Figura 3: Volume médio diário disponível em relação à área de telhado e ao volume de reservatório. Extraído de Moruzzi (2014, no prelo).	37
Figura 4: Relações entre os volumes de esgoto e água tratada; água de chuva e água tratada; e entre o coeficiente de retorno corrigido e o coeficiente de retorno de 0,8 (NBR 9.649/86).	38
Figura 5: Relações entre os volumes de esgoto e água tratada; água de chuva e água tratada; e entre o coeficiente de retorno corrigido e o coeficiente de retorno de 0,8 (NBR 9.649/86).	39
Figura 6: Relações entre os volumes de esgoto e água tratada; água de chuva e água tratada; e entre o coeficiente de retorno corrigido e o coeficiente de retorno de 0,85 (SABESP - 1990).	39
Figura 7: Relações entre os volumes de esgoto e água tratada; água de chuva e água tratada; e entre o coeficiente de retorno corrigido e o coeficiente de retorno de 0,85 (SABESP - 1990).	40
Figura 8: Relações entre os volumes de esgoto e água tratada; água de chuva e água tratada; e entre o coeficiente de retorno corrigido e o coeficiente de retorno de 0,7 (Metcalf & Eddy Inc - 1990).	40
Figura 9: Relações entre os volumes de esgoto e água tratada; água de chuva e água tratada; e entre o coeficiente de retorno corrigido e o coeficiente de retorno de 0,7 (Metcalf & Eddy Inc - 1990).	41
Figura 10: Relação entre o coeficiente de retorno corrigido e a eficiência (D_{AC} / D_T) para diversos valores de coeficiente de retorno.	41
Figura 11: Relação entre o coeficiente de retorno corrigido e a eficiência (D_{AC} / D_T) para diversos valores de coeficiente de retorno.	42
Figura 12: Eficiências, áreas específicas de telhado, demandas específicas de água e suas relações para volume de reservatório de 0,5 m ³ /hab.	43

Figura 13: Eficiências, áreas específicas de telhado, demandas específicas de água e suas relações para volume de reservatório de 1 m ³ /hab.	43
Figura 14: Eficiências, áreas específicas de telhado, demandas específicas de água e suas relações para volume de reservatório de 2 m ³ /hab.	44
Figura 15: Eficiências, áreas específicas de telhado, demandas específicas de água e suas relações para volume de reservatório de 3 m ³ /hab.	44
Figura 16: Coeficiente de retorno corrigido, áreas de telhado e suas relações com os diferentes índices de consumo <i>per capita</i> para 0,5 m ³ de reservatório por habitante.	45
Figura 17: Coeficiente de retorno corrigido, áreas de telhado e suas relações com os diferentes índices de consumo <i>per capita</i> para 0,5 m ³ de reservatório por habitante.	46
Figura 18: Coeficiente de retorno corrigido, áreas de telhado e suas relações com os diferentes índices de consumo <i>per capita</i> para 1 m ³ de reservatório por habitante	46
Figura 19: Coeficiente de retorno corrigido, áreas de telhado e suas relações com os diferentes índices de consumo <i>per capita</i> para 1 m ³ de reservatório por habitante	47
Figura 20: Coeficiente de retorno corrigido, áreas de telhado e suas relações com os diferentes índices de consumo <i>per capita</i> para 2 m ³ de reservatório por habitante.	47
Figura 21: Coeficiente de retorno corrigido, áreas de telhado e suas relações com os diferentes índices de consumo <i>per capita</i> para 2 m ³ de reservatório por habitante.	48
Figura 22: Coeficiente de retorno corrigido, áreas de telhado e suas relações com os diferentes índices de consumo <i>per capita</i> para 3 m ³ de reservatório por habitante.	48
Figura 23: Coeficiente de retorno corrigido, áreas de telhado e suas relações com os diferentes índices de consumo <i>per capita</i> para 3 m ³ de reservatório por habitante.	49
Figura 24: Eficiência, volumes de reservatórios e suas relações com as demandas de água total para a área média de telhado <i>per capita</i> de Rio Claro - SP.	51
Figura 25: Coeficiente de retorno corrigido, volumes de reservatório e suas relações com as demandas de água total para a área média de telhado <i>per capita</i> de Rio Claro – SP...	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Consumo médio <i>per capita</i> de água no Brasil, segundo os prestadores de serviços participantes do SNIS. Fonte: SNIS, 2010.	16
Tabela 2: Distribuição do consumo de água nas residências em São Paulo. Fonte: Adaptado de Uso Racional da Água USP, 1995 <i>apud</i> Gonçalves (2006).	17
Tabela 3: Uso final de água tratada para consumo doméstico em condomínio residencial localizado no bairro Trindade, Florianópolis – SC. Fonte: Ghisi e Ferreira (2006).	18
Tabela 4: Uso final de água tratada para o consumo doméstico em duas residências unifamiliares localizadas no município de Palhoça-SC. Fonte: Ghisi e Oliveira (2007).	18
Tabela 5: Coeficientes de Retorno. Fonte: Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário, Tsutiya e Sobrinho (1999).	22
Tabela 6: Bairros ¹ de Rio Claro com suas respectivas populações ¹ , número de domicílios ¹ , número de amostras e média de área de telhado. Fonte: 1- Censo 2010 (IBGE).	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVO	14
2.1. Objetivos Específicos	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1. A Escassez De Água	15
3.2. Usos Finais De Água Potável Em Residências	17
3.3. Potencial De Aproveitamento De Água Pluvial	19
3.4. Sistemas De Aproveitamento De Água Pluvial	20
3.5. Coeficiente De Retorno	21
4. METODOLOGIA	24
4.1. Levantamento De Dados	24
4.1.1. Coleta de informações populacionais e domiciliares	24
4.1.2. Coleta de dados com a Prefeitura Municipal de Rio Claro	24
4.1.3. Coeficiente de escoamento superficial	24
4.1.4. Dados pluviométricos	25
4.1.5. Demanda de água potável	25
4.2. Área De Telhado	25
4.2.1. Área de telhado para casas	25
4.2.2. Área de telhado para apartamentos	27
4.2.3. Área de telhado total	28
4.2.4. Área de telhado por habitante	28
4.3. Metodologia De Correção Do Coeficiente De Retorno	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1. Área De Telhado	33
5.1.1. Área de telhado para casas	33
5.1.2. Área de telhado para apartamentos	35
5.1.3. Área de telhado total	35
5.1.4. Área de telhado por habitante	35

5.2. Coeficiente De Retorno Corrigido	36
6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
APÊNDICES	59
Apêndice A	60
Apêndice B	65
ANEXO	75
Anexo A	76

1. INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais mais abundantes da superfície terrestre, sendo um elemento de fundamental importância para a manutenção de praticamente todas as formas de vida na Terra. Muitas vezes, a água é considerada pelo homem como um recurso inesgotável, utilizando-a de maneira não sustentável e/ou não racional.

A irregularidade de sua distribuição, assim como as pequenas parcelas acessíveis aos usos do homem, acaba tornando esse recurso muito escasso em algumas partes do mundo. O crescimento desordenado da população também contribui para a redução da disponibilidade desse recurso, pois além de promover o aumento da demanda, provoca a redução de sua qualidade. Esse cenário de redução de disponibilidade hídrica tem instigado o homem a reduzir o seu consumo, bem como buscar fontes alternativas de água para usos menos nobres.

Estudos realizados comprovam que de 30 a 40 % do total de água consumida, em uma residência, é destinado para fins não potáveis (The Rainwater Technology Handbook, 2001 *apud* MORUZZI *et al*, 2009) como lavagens de automóveis, irrigação de jardins, descargas de vasos sanitários, entre outros, podendo nestes casos serem utilizadas fontes alternativas, como o reuso de águas servidas e o aproveitamento de água de chuva.

O aproveitamento de água pluvial é uma técnica adotada por diversas civilizações a milhares de anos. No entanto, é no contexto atual da redução da disponibilidade hídrica que os sistemas de captação e aproveitamento de água pluvial têm se sobressaído. Esses sistemas constituem-se, basicamente, da coleta e armazenamento das precipitações para usos futuros. As precipitações são coletadas em superfícies impermeáveis que, geralmente, são as áreas de cobertura das residências, e então são direcionadas às cisternas, onde ficam conservadas para usos posteriores.

De acordo com Amorim e Pereira (2008), o aproveitamento de água pluvial tem se apresentando como uma ótima fonte alternativa de água, pois além de permitir a redução do consumo de água potável, apresenta-se como uma medida não estrutural nos sistemas de drenagem urbana, contribuindo para a redução e o controle das enchentes.

A utilização de água pluvial proveniente de sistemas de aproveitamento, assim como qualquer outra fonte de água, promove a geração de efluentes que retornam à rede coletora de esgoto, fazendo-se necessária a estimação do volume desses efluentes gerados para a realização da coleta, transporte e tratamento. No Brasil, as companhias de saneamento, em geral, utilizam a relação existente entre esgoto/ água, que é proporcional ao consumo de água tratada medida no hidrômetro da unidade consumidora, para a determinação do volume de

efluente gerado. Essa relação é estabelecida pelo coeficiente de retorno que determina a relação do volume de esgoto sanitário pelo consumo de água tratada. Determinado o volume de esgoto gerado, as empresas de saneamento podem estabelecer as tarifas relacionadas aos serviços de coleta, transporte e tratamento do efluente, destinando estes custos aos consumidores.

Os sistemas de aproveitamento de água pluvial proporcionam a redução do consumo de água tratada e, conseqüentemente implicam em uma alteração no valor do coeficiente de retorno da rede coletora de esgoto, quando esse é medido indiretamente pelo consumo de água proveniente do sistema público de abastecimento. Embora ocorra a diminuição do consumo de água tratada, a geração de esgoto permanece constante, uma vez que esta independe da origem da água. A preservação do valor do coeficiente de retorno comumente utilizado, implicaria na subestimação do volume de esgoto para residências que apresentam esses sistemas de aproveitamento.

Sendo assim, o presente trabalho visa analisar o efeito do lançamento de água pluvial proveniente de sistemas de aproveitamento no coeficiente de retorno da rede coletora de esgoto sanitário, com base nas próprias características do sistema de aproveitamento de água pluvial. Aplicou-se a metodologia proposta para diferentes cenários de aproveitamento de água de chuva, podendo observar o comportamento do ajuste do coeficiente de retorno para essas situações.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo propor uma metodologia de correção do coeficiente de retorno da rede coletora de esgoto sanitário para unidades com sistemas de aproveitamento de água pluvial.

2.1. Objetivos Específicos

- Analisar a área de telhado para casas e apartamentos, e determinar a área total e por habitante de telhado da região urbana do município de Rio Claro – SP;
- Propor metodologia de correção do coeficiente de retorno da rede coletora de esgoto;
- Analisar o comportamento do coeficiente de retorno corrigido para variadas situações de áreas de telhado específicas e volumes de reservatório específicos;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. A Escassez De Água

A água é um dos recursos mais abundantes encontrando na Terra, ocupando cerca de 70% de sua superfície. Grande percentual desse recurso, 97,5%, encontra-se nos mares e oceanos, na forma de água salgada, e apenas 2,5% corresponde à parcela de água doce; sua grande maioria está distribuída nas calotas polares do Ártico, do Antártico e das regiões polares, e nos reservatórios subterrâneos, correspondendo a, respectivamente, 68,9% e 29,9% do total (SCHIKLOMANOV, 1998 *apud* MAY, 2004).

Estima-se que somente 0,266% dos 2,5% totais de água doce disponíveis na superfície terrestre se encontram na forma de rios, lagos e reservatórios, e que apenas 0,007% estão localizados em áreas de fácil acesso para o uso humano (UNIÁGUA, 2006 *apud* MARINOSKI, 2007).

O Brasil apresenta um dos maiores potenciais hídricos do planeta, representando 12% de toda a água doce mundial, entretanto, os recursos hídricos brasileiros não possuem uma distribuição homogênea ao longo de seu território. A Região Norte do Brasil, com apenas 8% da população nacional, possui a maior disponibilidade hídrica do país, 69%, enquanto o Sudeste, que detém 43% da população, dispõe de apenas 6% de toda a água brasileira. Essa má distribuição proporciona uma diminuição da disponibilidade de água potável em algumas regiões, visto que, há uma desigualdade entre oferta e demanda (TOMAZ, 2001 *apud* MAY, 2004; GHISI, 2006). Na Figura 1 observa-se a distribuição do território, da disponibilidade hídrica e da população das regiões brasileiras.

Além da desigual distribuição hídrica brasileira, o aumento da demanda por água, ocasionada pelo rápido e desordenado crescimento da população brasileira, contribui de modo significativo para a redução de sua disponibilidade. O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) estima que o consumo médio nacional de água, no ano de 2010, foi de 159,0 litros por habitante ao dia, sofrendo um acréscimo de 7,1% em relação ao ano de 2009, quando o valor foi de 148,5. Na Tabela 1 são apresentados os índices de consumo para as Regiões Brasileiras, destacando-se os Estados da Região Sudeste, que respondem pelas maiores médias nacionais.

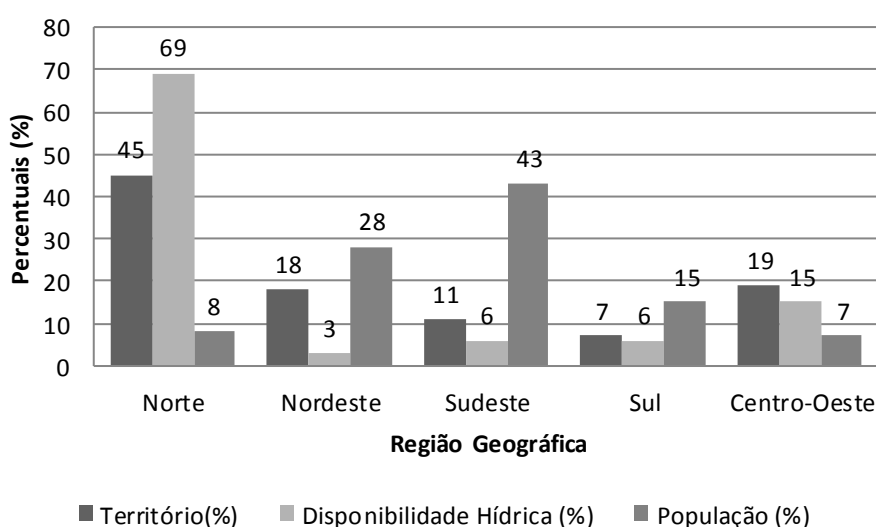


Figura 1: Distribuição territorial, disponibilidade hídrica e distribuição populacional para as regiões do Brasil. Fonte: Ghisi (2006).

Tabela 1: Consumo médio *per capita* de água no Brasil, segundo os prestadores de serviços participantes do SNIS. Fonte: SNIS, 2010.

Região do Brasil	Consumo de Água L.hab ⁻¹ .dia ⁻¹		Estados do Sudeste	Consumo de Água L.hab ⁻¹ .dia ⁻¹	
	Ano de 2009	Ano de 2010		Ano de 2009	Ano de 2010
Norte	139,5	143,5	Espirito Santo	182,6	193,3
Nordeste	114,4	117,3	Minas Gerais	137,4	147,0
Sudeste	170,4	185,9	Rio de Janeiro	189,1	236,3
Sul	138,1	145,4	São Paulo	177,8	184,7
Centro-Oeste	143,7	154,9	-	-	-
Brasil	159,0	148,5	-	-	-

O crescimento desordenado da população também propicia o aumento dos problemas relacionados à drenagem urbana, a deterioração dos corpos d'água e aos elevados índices de desperdício (ANNECCHINI, 2005). Outro fator que contribui para a situação de carência de água doce é a redução de sua qualidade ocasionada pelo lançamento de efluentes domésticos e industriais, sem os devidos tratamentos, nos corpos hídricos, assim como a má disposição dos resíduos sólidos (FERNANDEZ E GARRIDOS, 2002 *apud* MURAKAMI, 2011).

Diante desse quadro de escassez de água disponível para uso humano, buscaram-se fontes alternativas, com o objetivo de estabilizar as desigualdades entre oferta e demanda de água, destacando-se o aproveitamento de água pluvial, a dessalinização de água do mar e o reuso de águas servidas.

3.2. Usos Finais De Água Potável Em Residências

A água utilizada para as atividades humanas, em uma residência possui basicamente duas finalidades distintas, sendo que uma parcela da água consumida se destina as funções denominadas potáveis, como a higiene pessoal, a ingestão e a preparação de alimentos. A outra parcela é destinada aos chamados usos não potáveis, como irrigação de jardins, lavagens de carros e quintais, e as descargas nas bacias sanitárias (ANNECHINI, 2005).

Estima-se que, em média, 40% do consumo de água tratada em uma residência é destinada a fins não potáveis (GONÇALVES, 2006). Em pesquisas realizadas pela Universidade de São Paulo (USP) em residências da cidade de São Paulo, avaliou-se que esse consumo é de 44%, como pode-se observar na Tabela 2.

Tabela 2: Distribuição do consumo de água nas residências em São Paulo. Fonte: Adaptado de Uso Racional da Água USP, 1995 *apud* Gonçalves (2006).

Ponto de Consumo	Uso Final (%)
Bacia Sanitária*	29
Chuveiro	28
Pia da Cozinha	17
Máquina de Lavar Roupa*	9
Lavatório	6
Tanque	6
Máquina de Lavar Louça	5
Total	100
Total não Potável*	44

Em estudos realizados por Ghisi e Ferreira (2006) em um condomínio residencial de Florianópolis – SC estimou-se que o consumo de água destinado às atividades não potáveis varia de 39,2% a 42,7%. No município de Palhoça – SC, um estudo em duas casas

unifamiliars, apontou que esse consumo foi de 33,8% e 36,6% (GHISI & OLIVEIRA, 2007). Nas Tabelas 3 e 4 estão apresentados, respectivamente, os resultados obtidos nesses estudos.

Tabela 3: Uso final de água tratada para consumo doméstico em condomínio residencial localizado no bairro Trindade, Florianópolis – SC. Fonte: Ghisi e Ferreira (2006).

Ponto de Consumo	Uso Final (%)		
	Bloco A	Bloco B	Bloco C
Bacia Sanitária*	35,1	29,7	34,8
Lavagem de Louça	33,6	12,1	14
Chuveiro	16,2	23,2	28,6
Lavatório	14	23,4	14
Lavagem de Roupa*	2	5,9	6
Limpeza*	2,1	4,5	1,9
Cocção	0,4	1,2	0,7
Total	100	100	100
Total não Potável*	39,2	40,1	42,7

Tabela 4: Uso final de água tratada para o consumo doméstico em duas residências unifamiliars localizadas no município de Palhoça-SC. Fonte: Ghisi e Oliveira (2007).

Ponto de Consumo	Uso Final (%)	
	Residência A	Residência B
Bacia Sanitária*	30,4	25,6
Pia da Cozinha	28	13,5
Chuveiro	32,8	45,6
Lavatório	1,9	2,6
Barba	0,8	4,4
Lavagem de Roupa*	6,2	8,2
Total	100	100
Total não Potável*	36,6	33,8

Conforme as Tabelas 2 a 4, os usos não potáveis de água em uma residência variam entre 33,8 % e 44%. Deste modo, a utilização de fontes alternativas de água, como aquela

proveniente do aproveitamento de água pluvial, poderia suprir a demanda para fins não potáveis, possibilitando a economia de água tratada.

3.3. Potencial De Aproveitamento De Água Pluvial

O aproveitamento de água pluvial é uma técnica adotada há milhares de anos, com registros de sistemas sofisticados de coleta e aproveitamento de água de chuva na Era Romana. Constatam-se, também, sistemas construídos há mais de 4.000 anos para coleta e aproveitamento de água de chuva no deserto de Negev. Atualmente, o aproveitamento de água pluvial tem se destacado mundialmente por se apresentar como uma simples e eficaz alternativa para atenuação da crescente escassez de água potável (MAY, 2004).

Diversos países, como Japão e Alemanha, estão determinados a realizar esse tipo de aproveitamento para usos não potáveis. Outros países, como Estados Unidos e Singapura, desenvolvem diversos estudos nessa temática (MAY, 2004). Pesquisas apontam que 35% dos edifícios construídos na Alemanha, no ano de 2005, foram equipados com sistemas de coleta e aproveitamento de água de chuva (CANNON, 2010 *apud* TASSI *et al*, 2012). No Japão, os edifícios que apresentam área superior a 30.000 m², ou que consumam mais de 100 m³ diários de água para fins não potáveis, devem, obrigatoriamente, possuir esse tipo de sistema (YAMAGATA *et al*, 2003 *apud* TASSI *et al*, 2012).

No Brasil, existem diversos estudos que assinalam o potencial de aproveitamento de água pluvial e, conseqüente, economia de água potável. Um estudo elaborado por Ghisi (2006), no setor residencial do Brasil, estimou que o aproveitamento de água pluvial é capaz de gerar uma economia de 48% a 100% de água tratada, dependendo da região geográfica analisada, sendo que para a região Sudeste esta economia é de 48%.

Ghisi *et al* (2006) realizaram, também, um levantamento para 62 cidades do Estado de Santa Catarina, verificando o potencial de economia de água potável pelo uso da água de chuva no setor residencial. Observou-se uma variação neste potencial de 34% a 92%, dependendo da demanda de água potável verificada em cada um dos 62 municípios, a economia média de água potável foi de 69%.

Em estudo semelhante em 40 cidades da Amazônia, Lima *et al* (2011) notaram um potencial de economia de água tratada variando entre 21% e 100%, com um potencial médio de 76%. Moruzzi *et al* (2009), em pesquisa realizada no setor residencial de quatro cidades médias do Estado de São Paulo, observaram um potencial médio de economia de 39,4%, com variação de 7% a 92,7%, dependendo da cidade e do mês analisado.

Marinoski (2007) avaliou o potencial de economia de água potável no SENAI – Florianópolis, Centro de Tecnologia em Automação e Informática do SENAI - SC, caso fosse implantado um sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva para usos não potáveis, e chegou a um valor de economia de 45,8%. Maia *et al* (2011) verificaram uma economia média de 44,92% , em um estudo realizado nas residências do município de Irati – PR.

3.4. Sistemas De Aproveitamento De Água Pluvial

Os sistemas de captação e aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis são, basicamente, constituídos pelas seguintes partes: área de captação; telas ou filtros para remoção de materiais grosseiros; condutores; reservatório de armazenamento e reservatório para descarte (MURAKAMI, 2011). A captação de água pluvial ocorre, geralmente, pela área do telhado das edificações e é direcionada pelos condutores para o reservatório de descarte e posteriormente para o reservatório de armazenamento.

A viabilidade de implantação desse sistema depende, basicamente, da área de captação, dos índices pluviométricos e da demanda de água para fins não potáveis, pois esses fatores são fundamentais para a determinação do volume dos reservatórios. A determinação de um volume adequado de reservatório é fundamental para o aproveitamento de água pluvial, visto que, os reservatórios compreendem a parte mais dispendiosa do sistema (TOMAZ, 2003).

Diversos métodos para cálculo de volumes de reservatórios são apresentados na NBR 15527/07. Alguns deles são essencialmente empíricos e baseados na experiência internacional, e outros, fundamentados em suprir a demanda total, implicando em altos custos de implementação devido aos altos volumes necessários para os reservatórios (MORUZZI *et al*, 2012).

De acordo com Amorim e Pereira (2008), os métodos práticos são mais aconselhados para residências unifamiliares ou pequenos estabelecimento devido às suas menores complexidades e maiores facilidades de aplicação. Os métodos mais complexos, como o Método de Rippl, são mais indicados para projetos maiores. Porém, não há nenhuma restrição quanto à utilização dos métodos para diferentes edificações.

Moruzzi *et al* (2012) verificaram que, para o cálculo de volume de reservatório para sistemas de aproveitamento de água pluvial baseado na demanda de água, na eficiência do sistema e no tempo de amortização do investimento, existe uma situação de maximização do

sistema, na qual, além do aumento da disponibilidade de água pluvial, há a minimização do período de amortização do investimento.

3.5. Coeficiente De Retorno

Um sistema de esgoto sanitário é definido como um conjunto de instalações destinadas a promover a coleta e o afastamento contínuo do esgoto, reduzindo assim o potencial dos riscos à saúde.

Existem três tipos de sistemas de esgoto sanitário, o sistema unitário, o sistema misto ou separador parcial e o sistema separador absoluto, diferenciados pela coleta separada de esgoto e água pluvial. No Brasil, adota-se o sistema separador absoluto, o qual é concebido, exclusivamente, para coleta e transporte de esgoto sanitário, havendo total separação dos sistemas de drenagens urbanas e de esgotamento sanitário (TSUTIYA & SOBRINHO, 1999).

O dimensionamento dos sistemas de esgoto sanitário depende fundamentalmente da vazão de esgoto. Como mencionado, no Brasil, utiliza-se o sistema separador absoluto, sendo então vazão de esgoto composta pelas vazões de esgoto doméstico, de efluentes industriais e de águas de infiltração.

O esgoto doméstico é considerado, normalmente, o que possui a vazão de maior influência no dimensionamento do sistema, por representar os maiores volumes gerados. Essa vazão pode ser estimada com base no consumo de água tratada, tendo em vista que o esgoto se origina pelo uso da água proveniente de sistemas de abastecimento. Pode-se então, estabelecer uma correlação entre as vazões de esgoto e de água tratada, que se denomina coeficiente de retorno ($f = \text{vazão de esgoto} / \text{vazão de água tratada}$) (TSUTIYA & SOBRINHO, 1999).

Embora seja evidente a relação existente entre o consumo de água tratada e a geração de esgoto, esse coeficiente pode ser alterado por diversos fatores como, por exemplo, as taxas de urbanização, o padrão das residências e o clima (HOROCHOSKI *et al*, 2011). A NBR 9649/86 recomenda a utilização de um coeficiente de retorno no valor de 0,8 para a elaboração de projetos, caso inexistam dados locais. A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) sugere a utilização do coeficiente de 0,85 para projetos na Região Metropolitana de São Paulo. Na Tabela 5 estão apresentados diversos valores do coeficiente de retorno.

Tabela 5: Coeficientes de Retorno. Fonte: Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário, Tsutiya e Sobrinho (1999).

Autor	Local	Ano	Coeficiente de Retorno	Condição de Obtenção dos Valores
José A. Martins	São Paulo	1977	0,7 a 0,9	Recomendações de projeto
Azevedo Neto	São Paulo	1981	0,7 a 0,8	Recomendações de projeto
NBR 9649 - ABNT	Brasil	1986	0,8	Recomendações de projeto
Luis P. Almeida Neto, Gilberto O. Gaspar, João B. Comparini & Nelson L. Silva	Cardoso, Guarani D'Oeste e Valentim Gentil (Estado de São Paulo)	1989	0,35 a 0,68	Medições em sistema operando há vários anos
SABESP	São Paulo	1990	0,85	Recomendações para projeto— Plano Diretor de Esgotos da Região Metropolitana de São Paulo
João B. Comparini	Cardoso, Pedranópolis, Guarani D'Oeste e Indiaporã (Estado de São Paulo)	1990	0,42 a 0,73	Medições em sistema operando há vários anos
Milton T. Tsutiya & Orlando Z. Cassettari	Tatui (Estado de São Paulo)	1995	0,52 a 0,84	Medições em sistema operando há vários anos
Steel	EUA	1960	0,7 a 1,3	Para as condições norte-americanas
Fair, Geyer & Okun	EUA	1968	0,6 a 0,7	Recomendações de projeto
Metcalf & Eddy Inc.	EUA	1981	0,7	Recomendações de projeto

No Brasil, o critério adotado para a realização da cobrança pela coleta e tratamento de esgoto, baseia-se na correlação esgoto/ água, sendo a vazão de esgoto proporcional à vazão de consumo de água tratada, medida no hidrômetro de cada unidade consumidora. Essa relação é definida pela concessionária de saneamento, sendo que, no Brasil, os valores adotados variam de 0,6 a 1,0 (TASSI *et al*, 2012).

Entretanto, o uso de água pluvial proveniente de sistemas de captação e aproveitamento provoca um desequilíbrio nessa relação uma vez que a utilização desses sistemas de aproveitamento promove a redução do consumo de água tratada fornecida pela companhia de saneamento. Embora o consumo de água tratada sofra um decréscimo, o mesmo não ocorre para os volumes de esgoto gerados que, independentemente da origem da água, permanecem constantes, sendo devidamente coletados e tratados.

O desequilíbrio dessa relação faz com que, em geral, as empresas de saneamento não estimulem a utilização desses sistemas de aproveitamento, pois além de promoverem a redução do consumo de água tratada e consequente redução de arrecadação, promovem um acréscimo relativo do volume de efluentes a serem tratados (TASSI *et al*, 2012). Assim, faz-se necessário uma correção da metodologia de cobrança desses serviços prestados.

Em estudo, Tassi *et al* (2012) verificaram uma diferença de arrecadação entre 1,42% a 11,53 %, dependendo da situação analisada. Verificaram também que a metodologia proposta apresenta coerência na estimativa dos efluentes originados pelos sistemas de captação e aproveitamento de água de chuva, e é de fácil aplicabilidade, uma vez que considera as próprias características do próprio sistema de captação e aproveitamento de água de chuva e o volume de água tratada medida no hidrômetro da unidade consumidora. Todavia, a determinação do valor corrigido do coeficiente de retorno fica condicionada à estimação da eficiência do sistema de aproveitamento de água pluvial, o que é de difícil determinação.

Durante a realização do presente estudo não foram encontradas outras metodologias que propusessem a correção da relação vazão de esgoto/ vazão de água dentre as referências pesquisadas.

4. METODOLOGIA

4.1. Levantamento De Dados

4.1.1. *Coleta de informações populacionais e domiciliares*

Foram realizados levantamentos no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) sobre o município de Rio Claro – SP e de acordo com este Instituto, esse município é constituído pelos distritos de Rio Claro, Assistência e Ajapi. Para o presente estudo foram coletados, exclusivamente, os dados do distrito de Rio Claro, excetuando-se os distritos de Ajapi e Assistência. Os levantamentos consistiram em coletar informações sobre o tamanho populacional e o número de domicílios da cidade, sendo coletados os dados sobre a população total urbana (tamanho populacional) e os domicílios particulares permanentes urbanos (número de domicílios). Todas as informações coletadas correspondem ao Censo Brasileiro de 2010.

4.1.2. *Coleta de dados com a Prefeitura Municipal de Rio Claro*

Foram realizados contatos com a Prefeitura Municipal de Rio Claro, especificamente com a Secretaria Municipal de Planejamento, Desenvolvimento e Meio Ambiente (SEPLADEMA) buscando informações sobre o número de domicílios e suas respectivas áreas de telhado. A SEPLADEMA, especificamente o Departamento de Sistema e Análise da Informação, forneceu uma planta baixa do município, na extensão dwg, contendo a disposição dos bairros, das quadras e dos lotes da cidade, assim como a área construída em cada lote, sendo possível a verificação da área de telhado para cada lote. A planta baixa da cidade pode ser observada no Anexo A.

4.1.3. *Coeficiente de escoamento superficial*

O coeficiente de escoamento superficial (C), também conhecido como coeficiente *runoff*, é função do tipo de cobertura utilizada nos telhados dos domicílios, ou seja, depende do tipo de material utilizado na cobertura dos telhados. Macintyre (1990) recomenda, para telhados em geral, uma faixa entre 0,75 e 0,95 para esse coeficiente. Para esse estudo, adotou-se o mesmo valor utilizado por Moruzzi (2014, no prelo), de 0,80.

4.1.4. Dados pluviométricos

Os dados pluviométricos utilizados foram obtidos a partir do Sistema de Informações de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH) para a cidade de Rio Claro – SP, do posto de coleta denominado Rio Claro (Prefixo - D4-012; Latitude – 22°15'; Longitude – 47°33'; Altitude – 600m; Prefixo ANA - 02247020). Tais dados referem-se a 40 anos de medições e foram processados para a obtenção da média diária multianual.

4.1.5. Demanda de água potável

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o consumo médio de água potável no município de Rio Claro – SP foi de 235,6 L.hab⁻¹.dia⁻¹ para o ano de 2010. Foi considerado um consumo de água potável uniforme durante o ano, e calculou-se a demanda de água potável mensal (DAP) m³/mês.

4.2. Área De Telhado

Para determinar a área de telhado total e por habitante para o município, utilizou-se uma adaptação da metodologia utilizada por Ghisi *et al* (2006), pode-se observar tal metodologia no item 4.2.3. Estimou-se a área de telhados para casas por meio da realização de uma amostragem aleatória, item 4.2.1., e, para apartamentos, foram utilizados dados baseados no estudo de Ghisi (2006), item 4.2.2.

4.2.1. Área de telhado para casas

Para a determinação da área média de telhado por lote, para casas, realizou-se um procedimento estatístico de amostragem, sendo necessária a definição do elemento morfológico, a realização de um estudo piloto e a amostragem definitiva. Para a realização da amostragem, a cidade de Rio Claro foi subdivida em 27 bairros, sendo eles: Alto do Santana, Arco-íris, Bela Vista, Centenário, Centro, Cidade Jardim, Cidade Nova, Consolação, Distrito Industrial, Grande Cervezão, Inocoop, Jardim América, Jardim das Palmeiras, Jardim Floridiana, Jardim Guanabara, Jardim Nova Rio Claro, Jardim Novo Wenzel, Jardim Novo, Jardim São Paulo, Mãe Preta, Recanto Paraíso, Recanto Florença, Santa Maria, Santana, Vila Nova, Vila Paulista e Wenzel. Esta divisão obedeceu à divisão proposta pelo IBGE 2010, e foi realizada na planta baixa da cidade fornecida pela SEPLADEMA.

Definiu-se como elemento morfológico o lote, já a variável principal ficou definida como sendo a área de telhado de cada lote. Foi necessária a realização de um estudo piloto para a determinação da variância da variável principal, ou seja, a variância das áreas de telhado.

O estudo piloto consistiu de uma breve amostragem com o intuito de determinar a variância da variável principal, utilizada no cálculo da determinação do tamanho da amostra total. Para tal estudo, utilizou-se a divisão em bairros mencionada anteriormente, amostrando 10 áreas de telhado por bairro, perfazendo um total de 270 amostras. A coleta foi realizada por meio de medições realizadas na planta baixa da cidade, utilizando-se a função “medir área” do *software* AutoCAD 2012 para verificar tais informações.

Para determinar o tamanho da amostra aleatória, utilizou-se a metodologia de Fontes e Barbassa (2003). Definiu-se o número de lotes a serem sorteados pela Equação 1:

$$n = \frac{N * \sigma^2}{\sigma^2 + (N - 1) * \left(\frac{E}{z}\right)^2}$$

Eq. 1

onde: n representa o número de amostras total para coleta; σ^2 a variância da variável principal – área de telhado; N o tamanho de população – número de domicílios particulares permanentes urbanos; E o erro máximo admitido na estimativa da média, adotado 5%; z o quantil da distribuição normal correspondente a 95% de confiabilidade na estimativa da média.

Com o intuito de garantir a proporcionalidade na coleta das amostras, utilizou-se a divisão do município em bairros e o número de domicílios particulares permanentes urbanos, sendo realizada a amostragem de acordo com a proporção entre o número de domicílios particulares urbanos em cada bairro e o número total de domicílios particulares urbanos da cidade. O cálculo dessa proporção foi definido conforme a Equação 2 a seguir:

$$NB = \frac{NLB}{NLT} * n$$

Eq. 2

onde: NB representa o número de amostras por bairro para coleta; NLB o número de lotes por bairro – número de domicílios particulares permanentes urbanos por bairro; NLT o número de lotes total da cidade – número de domicílios particulares permanentes urbanos da cidade; n o número de amostras total para coleta.

A fim de garantir a aleatoriedade da amostragem, definiu-se uma quadrícula em cada bairro, com o auxílio do *software* AutoCAD 2012. Essa quadrícula possuía uma variação nos eixos das abscissas (x) e das ordenadas (y), com valor mínimo igual a zero e valor máximo

limitado pelas fronteiras de cada bairro. Para garantir a imparcialidade na escolha dos lotes, utilizou-se a função “aleatório” do *software* Microsoft Excel 2010, criando-se duas rotinas independentes responsáveis pela geração de coordenadas nos eixos x e y, com limites alinhados aos limites das quadículas de cada bairro. As Equações 3, 4, 5 e 6 apresentam as rotinas utilizadas para o sorteio.

$$x = Fa * (\Delta x) + x_{min} \quad \text{Eq.3}$$

$$y = Fa * (\Delta y) + y_{min} \quad \text{Eq.4}$$

$$\Delta x = x_{max} - x_{min} \quad \text{Eq.5}$$

$$\Delta y = y_{max} - y_{min} \quad \text{Eq. 6}$$

onde: Fa representa o fator aleatório ($0 < Fa \leq 1$); x a variação no eixo das abscissas; y a variação no eixo das ordenadas.

O lote amostrado era aquele inserido totalmente dentro da quadrícula sorteada, em casos nas quais a quadrícula sorteada não possuía lote com área de telhado, realizava-se novamente o sorteio. Com o auxílio do *software* AutoCAD 2012, efetuavam-se as medições das áreas de telhado, assim como a demarcação dos lotes sorteados.

4.2.2. Área de telhado para apartamentos

Para determinar a área de telhado para apartamentos, utilizou-se a metodologia de Ghisi (2006), que adota uma área de telhado de 15m² por apartamento. Determinou-se, com base na Equação 7, a área de telhado por habitante para apartamentos no município estudado. O número de habitantes por domicílio pode ser determinado com base nos dados do Censo 2010 do IBGE.

$$AAH = \frac{AA}{HD} \quad \text{Eq. 7}$$

onde: AAH representa a área de telhado por habitante para apartamentos (m²/hab.); AA a área de telhado por apartamento (15m²); HD o número de habitantes por domicílio.

4.2.3. Área de telhado total

Para a determinação da área total de telhado utilizou-se uma adaptação da metodologia utilizada por Ghisi (2006), e, inicialmente, calculou-se o número de habitantes por domicílio, conforme a Equação 8.

$$HD = \frac{HM}{NDM}$$

Eq. 8

onde: HD representa o número de habitantes por domicílio; HM o número de habitantes do município – população total urbana; NDM o número de domicílios do município – domicílios particulares permanentes urbanos.

Determinou-se também o número de domicílios abastecidos com água potável (NDA) com base no Censo 2010 do IBGE. Os dados utilizados fazem referência ao número de domicílios particulares permanentes urbanos que tem como forma de abastecimento de água potável a rede geral.

Calculou-se também uma média ponderada da área de telhado por domicílio, essa média engloba as áreas de telhado para casas e para apartamentos, e foi calculada com a Equação 9.

$$AT = C * AC + A * AAH * HD$$

Eq. 9

onde: AT representa a média ponderada da área de telhado por domicílio (m²); C a porcentagem de casas; AC a área de telhado para casas (m²); A a porcentagem de apartamentos; AAH a área de telhado para apartamentos por habitante (m²/hab.); HD o número de habitantes por domicílio.

A área total de telhado para o município foi calculado conforme a Equação 10.

$$ATM = AT * NDA$$

Eq.10

onde: ATM representa a área total de telhado para o município (m²); AT a média ponderada da área de telhado por domicílio (m²); NDA o número de domicílios abastecidos com água potável – domicílios particulares permanentes urbanos abastecidos pela rede geral.

4.2.4. Área de telhado por habitante

Determinou-se a área de telhado por habitante com base na área total de telhado e no número de habitantes urbanos do município, de acordo com a Equação 11.

$$AH = \frac{ATM}{HM}$$

Eq.11

onde: AH representa a área de telhado por habitante (m²/hab.); ATM a área total de telhado para o município (m²); HM o número de habitantes no município – população urbana total.

4.3. Metodologia De Correção Do Coeficiente De Retorno

Apresenta-se uma metodologia de ajuste do coeficiente de retorno baseada nas eficiências (*e*) resultantes das frações que as demandas de água de chuva representam em relação às demandas totais, e do coeficiente de retorno da rede coletora de esgoto (*f*) aplicado pelas companhias de saneamento, conforme proposto em Moruzzi (2014, no prelo). Para tanto, foram necessárias as avaliações de aproveitamento de água pluvial para diferentes cenários de áreas de telhado e volumes de reservatórios.

Para a avaliação do aproveitamento de água pluvial foram utilizados os conceitos de eficiência de aproveitamento e atendimento apresentados por Moruzzi *et al* (2012), que se baseiam na maximização do uso do sistema implantado, proporcionando a minimização do tempo de amortização do investimento, o aumento da disponibilidade de água pluvial no reservatório e a redução do volume excedente. As simulações foram realizadas considerando o balanço de massa diário para o período de um ano. As Equações 12, 13, 14 e 15 apresentam as relações utilizadas.

$$S_{(i)} = Vp_{(i)} + S_{(i-1)} - D_{(i)}; i = 1, 2 \dots 365 \text{ dias}$$

Eq.12

onde: $Vp_{(i)}$ representa o volume de água pluvial (m³); $S_{(i)}$, $S_{(i-1)}$ representa o volume de água no reservatório (m³); $D_{(i)}$ a demanda diária de água pluvial (m³).

$$Vp_{(i)} = c * A * \eta * (P_{(i)} - ff)$$

Eq.13

onde: $Vp_{(i)}$ representa o volume de água pluvial (m³); $P_{(i)}$ o volume precipitado (mm); *C* o coeficiente de escoamento superficial (0,8); *A* a área para captação de água pluvial (m²); η a eficiência do sistema de captação (1,0); *ff* a *first-flush* (0 mm).

$$Ea = \frac{\sum_{i=1}^{365} Va(i)}{\sum_{i=1}^{365} D(i)} \quad Va(i) = \begin{cases} D(i) & \text{if } Vp(i) + S(i-1) \geq D(i) \\ S(i-1) + Vp(i) & \text{if } 0 < S(i-1) + Vp(i) < D(i) \end{cases}$$

Eq.14

onde: *Ea* é a eficiência de atendimento (0 < *Ea* < 1); $Va(i)$ representa o volume de água pluvial aproveitado (m³); $D(i)$ a demanda de água pluvial (m³).

$$Eh = \frac{\sum_{i=1}^{365} Va(i)}{\sum_{i=1}^{365} Vp(i)} \quad \text{for } ff = 0$$
Eq.15

onde: Eh é a eficiência de aproveitamento ($0 < Eh < 1$); $Va(i)$ representa o volume de água pluvial aproveitado (m^3); $Vp(i)$ volume de água pluvial precipitado (m^3).

Considerou-se que a demanda máxima a ser atendida se iguala a disponibilidade de água de chuva, resultando na igualdade das eficiências definidas ($Ea=Eh$). Assim, pode-se avaliar o coeficiente de retorno nas condições de máximo aproveitamento de água pluvial.

Para a elaboração e a formulação do ajuste do coeficiente de retorno, determinaram-se as seguintes hipóteses, apresentadas por Moruzzi (2014, no prelo):

- A demanda total (D_T) refere-se à soma dos usos de água tratada e água pluvial, incidindo o mesmo fator f às parcelas;
- A água pluvial destina-se somente aos usos não potáveis;
- A água pluvial apresenta-se como fonte alternativa, havendo outras formas de abastecimento de água;
- Não há criação de nova demanda devido ao uso da água pluvial;
- A demanda de água da chuva (D_{AC}) permanece constante;
- As eficiências de aproveitamento e atendimento são iguais ($Ea=Eh$), implicando na igualdade entre a demanda de água de chuva (D_{AC}) e no volume de água de chuva utilizado (V_{AC}), ou seja, $D_{AC} = V_{AC}$ (MORUZZI *et al*, 2012).

As Equações 16, 17 e 18 apresentam as definições utilizadas para o equacionamento do ajuste do coeficiente de retorno.

$$V_T = V_{AT} + V_{AC}$$
Eq.16

onde: V_T representa o volume total de água (m^3); V_{AT} o volume de água tratada (m^3); V_{AC} o volume de água de chuva (m^3).

$$e = \sum_{i=1}^N \frac{D_{AC}}{D_T} \quad 0 \leq e < 1$$
Eq.17

onde: e representa a eficiência (%); D_{AC} a demanda de água de chuva (m^3); D_T , a demanda total (m^3).

$$V_{AC} = c * A * (P - ff)$$
Eq.18

Onde: V_{AC} representa o volume de água de chuva (m^3); C o coeficiente de escoamento superficial (0,8); A a área de captação de água pluvial (m^2); P a precipitação média (mm); ff a *first-flush* (0 mm).

Para a correção do coeficiente de retorno, além das definições apresentadas, é necessária a determinação do potencial de lançamento na rede coletora de esgoto proveniente do aproveitamento de água pluvial. Para tanto, é necessário estimar o volume médio de água pluvial ofertado diariamente. Esse volume pode ser determinado a partir da condição de igualdade das eficiências de atendimento e aproveitamento ($E_a=E_h$). As Equações 19 e 20 apresentam, respectivamente, o volume médio ofertado e o potencial de lançamento.

$$V_{mo} = E_{a/h} * V_a / 365 \quad \text{Eq.19}$$

onde: V_{mo} representa o volume médio diário de água pluvial ofertada (m^3/hab); $E_{a/h}$ a eficiência do sistema para a condição de igualdade das eficiências de atendimento e aproveitamento ($E_a=E_h$); V_a o volume de água pluvial ($m^3.hab^{-1}.ano^{-1}$).

$$P_L = \frac{V_{mo}}{C_{pa}} \quad \text{Eq.20}$$

onde: V_{mo} representa o volume médio diário de água pluvial ofertada ($m^3.hab^{-1}.dia^{-1}$); C_{pa} o consumo de água total *per capita* ($m^3.hab^{-1}.dia^{-1}$).

A determinação do volume médio de água pluvial ofertada foi fundamental para a avaliação do ajuste do coeficiente de retorno, uma vez que se pode determinar o potencial de lançamento, que infere no próprio valor da eficiência (D_{AC} / D_T), utilizada para o cálculo do coeficiente de retorno corrigido, como será apresentado a seguir. Com base nas relações apresentadas anteriormente, o volume de água de chuva (V_{AC}) pode ser expresso em função da eficiência (e) e do volume de água total (V_T), conforme a Equação 21.

$$V_{AC} = e * V_T \quad \text{Eq.21}$$

Assim, pode-se representar o volume de água de chuva (V_{AC}) em função da eficiência (e) e do volume de água tratada (V_{AT}), conforme a Equação 22.

$$V_{AC} = V_{AT} * \frac{e}{(1 - e)} \quad \text{Eq.22}$$

Sabe-se que o volume de esgoto (V_e) representa uma fração do volume de total de água consumido (V_T), sendo este fator de proporcionalidade representado pelo coeficiente de retorno da rede coletora de esgoto (f). A Equação 23 apresenta o volume de esgoto em função do coeficiente de retorno e do volume total de água

$$V_e = f * V_T$$

Eq.23

onde: V_e representa o volume de esgoto sanitário (m^3); f o coeficiente de retorno; V_T o volume total de água (m^3).

Assim, pode-se estabelecer uma relação entre o coeficiente de retorno corrigido ($f_{corrigido}$) e o coeficiente de retorno da rede coletora de esgoto (f), dada pela Equação 24.

$$\frac{f_{corrigido}}{f} = \left(1 + \frac{e}{(1-e)} \right)$$

Eq.24

Foram avaliados diversos coeficientes de retorno da rede coletora de esgoto apresentados na literatura, possibilitando a análise do comportamento deste coeficiente em relação à eficiência de aproveitamento, dada pela relação entre as demandas de água de chuva e total.

Avaliaram-se diversas situações de áreas específicas de telhado por habitante ($m^2/hab.$), volumes específicos de reservatórios ($m^3/hab.$) e demandas de água total *per capita* (120; 150; 180; 236,5 e 250 $l.hab^{-1}.dia^{-1}$) com o intuito de analisar o comportamento do coeficiente de retorno corrigido.

Analizou-se, também, o comportamento do coeficiente de retorno para as áreas médias de telhado estimadas pelo presente estudo, observando sua variação em função dos volumes de reservatórios e das demandas de água total.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Área De Telhado

5.1.1 Área de telhado para casas

O estudo preliminar possibilitou a estimativa da variância das áreas de telhado para casas ($\sigma^2 = (74,39)^2$). O número de amostras realizadas baseou-se nessa variância, nos 57548 domicílios particulares permanentes, no erro máximo de 5% e na confiabilidade de 95% na estimativa da média, obtendo-se um total de 436 amostras (Eq. 1). Baseado nas 436 amostras totais realizou-se a amostragem aleatória proporcional (Eq. 2), o número de amostras por bairro pode ser observada na Tabela 6, juntamente com suas respectivas populações, número de domicílios e médias de áreas de telhado. Os resultados do estudo preliminar e da amostragem definitiva podem ser observados no Apêndice A. A disposição espacial dos lotes amostrados pode ser observada no Anexo A.

A partir da amostragem aleatória proporcional, pode-se calcular a média das áreas de telhado para casas, obtendo-se o valor de $123,28 \pm 6,67 \text{ m}^2$.

Tabela 6: Bairros¹ de Rio Claro com suas respectivas populações¹, número de domicílios¹, número de amostras e média de área de telhado. Fonte: 1- Censo 2010 (IBGE).

Bairros ¹	População Residente ¹	Domicílios Particulares Permanentes ¹	Número de Amostras	Média da Área de Telhado (m ²)
Alto do Santana	8.138	2.712	21	127,70
Arco-Íris	10.462	3.118	24	88,75
Bela Vista	5.649	2.041	15	167,45
Centenário	2.177	648	5	159,66
Centro	10.455	4.206	32	149,93
Cidade Jardim	6.751	2.374	18	154,60
Cidade Nova	1.285	476	4	123,81
Consolação	11.023	3.823	29	115,92
Distrito Industrial	230	61	0	-
Grande Cervezão	15.103	4.526	34	99,93
Inocoop	4.010	1.450	11	121,32
J. América	5.772	1.903	14	156,36
J. das Palmeiras	7.648	2.391	18	92,78
J. Floridiana	4.382	1.375	10	177,76
J. Guanabara	4.578	1.321	10	91,66
J. Nova Rio Claro	848	229	2	116,39
J. Novo Wenzel	4.650	1.286	10	103,39
J. Novo/ Terra Nova	7.420	2.119	16	84,38
J. São Paulo	4.916	1.750	13	234,70
Mãe Preta	10.074	3.068	23	93,70
Recanto Paraíso	13.667	3.898	30	108,12
Residencial Florença	2.577	863	7	207,58
Santa Maria	11.249	3.070	23	85,80
Santana	7.737	2.832	21	148,91
Vila Nova	7.656	2.616	20	100,60
Vila Paulista	3.068	1.012	8	151,44
Wenzel	7.268	2.380	18	114,60
Total	178.793	57.548	436	-

5.1.2. Área de telhado para apartamentos

Com base na Equação 7 calculou-se a área de telhado para apartamentos, obtendo-se o valor de 4,83 m²/hab.

5.1.3. Área de telhado total

Dispondo dos dados do Censo 2010 (IBGE) pode-se estimar o número de habitantes por domicílio (Eq. 8), que para uma população de 178793 habitantes e 57548 domicílios, resultou em 3,11 habitantes por domicílio.

Calculadas as áreas de telhado para casas e apartamentos, pode-se obter os parâmetros da Equação 9, para determinação da média ponderada de área de telhado para o município de Rio Claro – SP.

$$AT = C * (123,28 \pm 6,67) + A * 4,83 * HD \quad \text{Eq. 9}$$

Baseando-se no percentual de casas (93,38 %) e apartamentos (6,62 %), determinou-se a média de telhado para os domicílios de Rio Claro – SP (Eq. 9), resultando em 116,11 m² por domicílio. A média ponderada de área de telhado para os domicílios de Rio Claro variaram em função da média das áreas de telhado para casas (123,28 ± 6,67), apresentando os valores de 109,88 e 122,34 m² por domicílio para os limites mínimo e máximo, respectivamente. Obteve-se uma área total de telhado para o município de, aproximadamente, 6,6 milhões de m² (Eq.10). Sendo a área de telhado total resultante da área de telhado por domicílio, esta também sofreu uma variação, resultando em 6,3 milhões de m² para o limite inferior e 7,01 milhões de m² para superior.

5.1.4. Área de telhado por habitante

Pela Equação 11, pode-se determinar a área média de telhado por habitante, que resultou em 37,25 m²/hab. Assim como a área total, a área *per capita* também variou, apresentando 35,26 m²/hab e 39,25 m²/hab para os limites inferior e superior, respectivamente.

5.2. Coeficiente De Retorno Corrigido

Nas Figuras 2 e 3 estão sintetizados os resultados obtidos para a avaliação do aproveitamento de água pluvial para áreas específicas de telhado e volumes específicos de reservatório. Na Figura 2 pode-se observar a demanda máxima aproveitável de água pluvial e as eficiências de atendimento (E_a) e de aproveitamento (E_h). Na Figura 3 são apresentados os volumes médios disponibilizados diariamente de água de chuva, ajustados para as eficiências de atendimento (E_a) específicas para as áreas de telhado e volumes de reservatório.

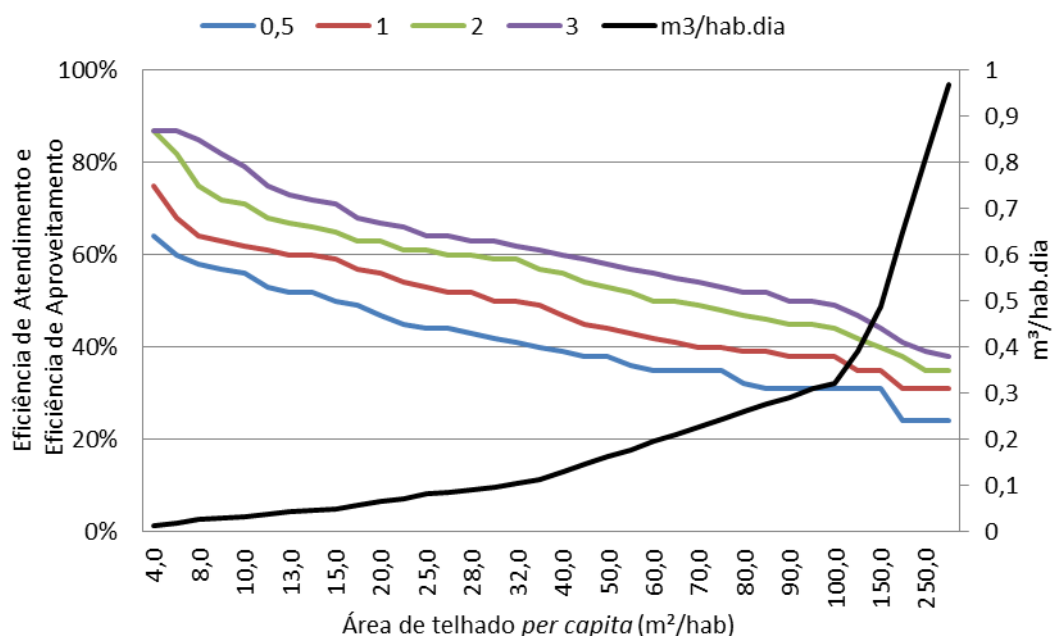


Figura 2: Eficiências de atendimento e aproveitamento para diferentes áreas de telhado específicas, volumes de reservatórios específicos, e suas relações com a demanda máxima aproveitável. Extraído de Moruzzi (2014, no prelo).

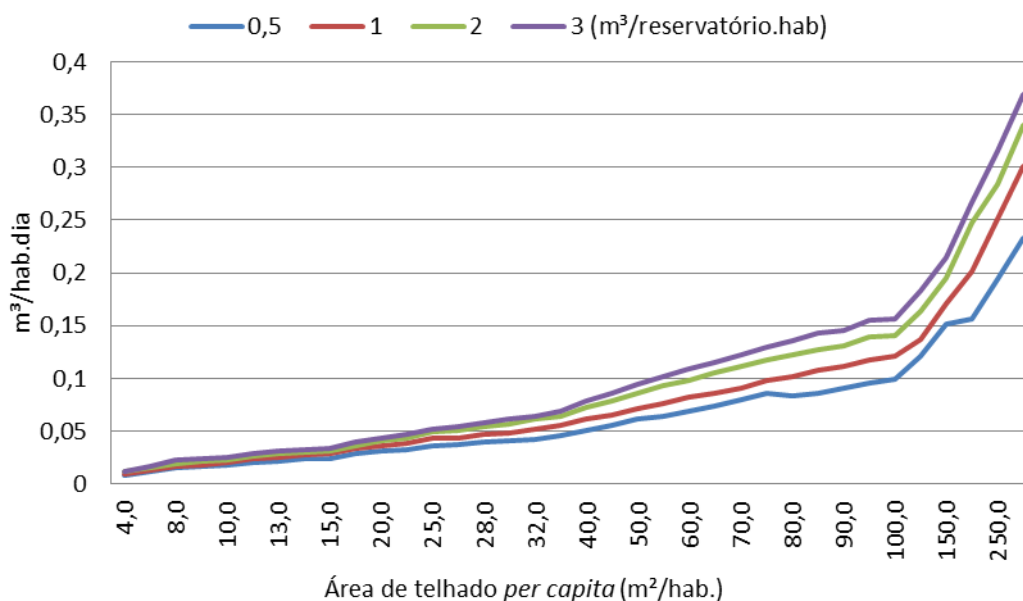


Figura 3: Volume médio diário disponível em relação à área de telhado e ao volume de reservatório. Extraído de Moruzzi (2014, no prelo).

Nota-se que o aumento da demanda máxima aproveitável de água de chuva é decorrente do aumento das áreas específicas de telhado, mesmo com a redução da eficiência (E_a e E_h), uma vez que essa é definida para cada demanda otimizada. Além disso, observa-se que o potencial de aproveitamento de água pluvial é decorrente das áreas específicas de telhado e dos volumes específicos de reservatório.

Nas Figuras 4 a 9 estão apresentadas as relações entre os volumes de água de chuva e água tratada (V_{AC} / V_{AT}), entre os volumes de esgoto e água tratada (V_e / V_{AT}) e entre o coeficiente de retorno corrigido e o coeficiente de retorno adotado pela concessionária de saneamento ($f_{corrigido} / f$). Pode-se observar essas relações para os coeficientes de retorno propostos pela NBR 9.649/86, pela SABESP (1990) e por Metcalf e Eddy Inc (1981), nos valores de 0,8; 0,85 e 0,7, respectivamente. As relações são apresentadas em função da eficiência (e), dada pela relação entre as demandas de água de chuva e total (D_{AC} / D_T). Observa-se também o comportamento do coeficiente de retorno corrigido, conforme as variações das relações entre as demandas de água de chuva e total, uma vez que, a relação entre o volume de esgoto e o volume de água tratada incide neste próprio coeficiente.

Verifica-se claramente que o aumento da relação entre as demandas de água de chuva e total (D_{AC} / D_T) incorre em uma correção maior do coeficiente de retorno da rede coletora de esgoto. O aproveitamento da água pluvial acarreta a diminuição do consumo de água tratada fornecida pela concessionária de saneamento. Ao se considerar uma demanda de água total

constante, o aumento dessa relação sugere um maior consumo de água de chuva em relação ao consumo de água tratada. Sabe-se, também, que uma constante demanda de água incide em uma geração de efluentes constante, ou seja, independentemente da origem da água consumida, seja do sistema de abastecimento público ou de sistemas de aproveitamento de água pluvial, o volume de esgoto sanitário gerado é inalterado.

Sendo assim, o aumento da relação entre as demandas, ocasiona a diminuição do volume água tratada medida no hidrômetro, fazendo-se necessário a aplicação de uma maior correção no coeficiente de retorno.

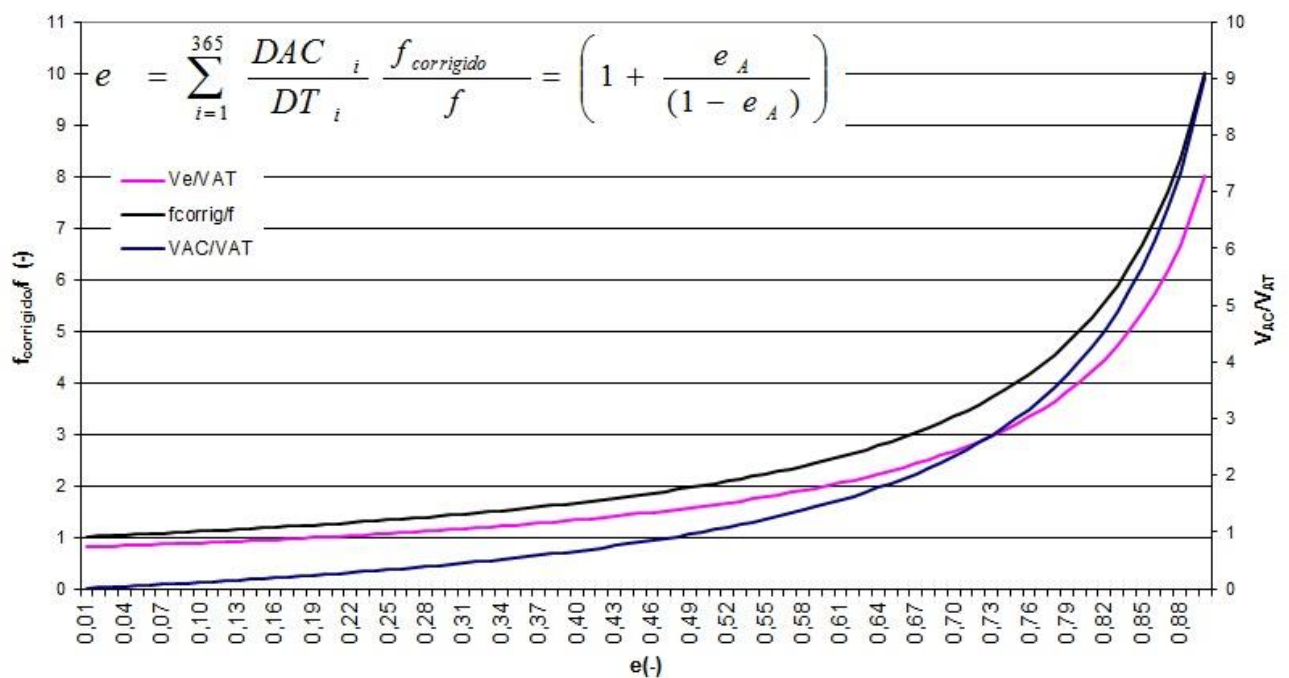


Figura 4: Relações entre os volumes de esgoto e água tratada; água de chuva e água tratada; e entre o coeficiente de retorno corrigido e o coeficiente de retorno de 0,8 (NBR 9.649/86).

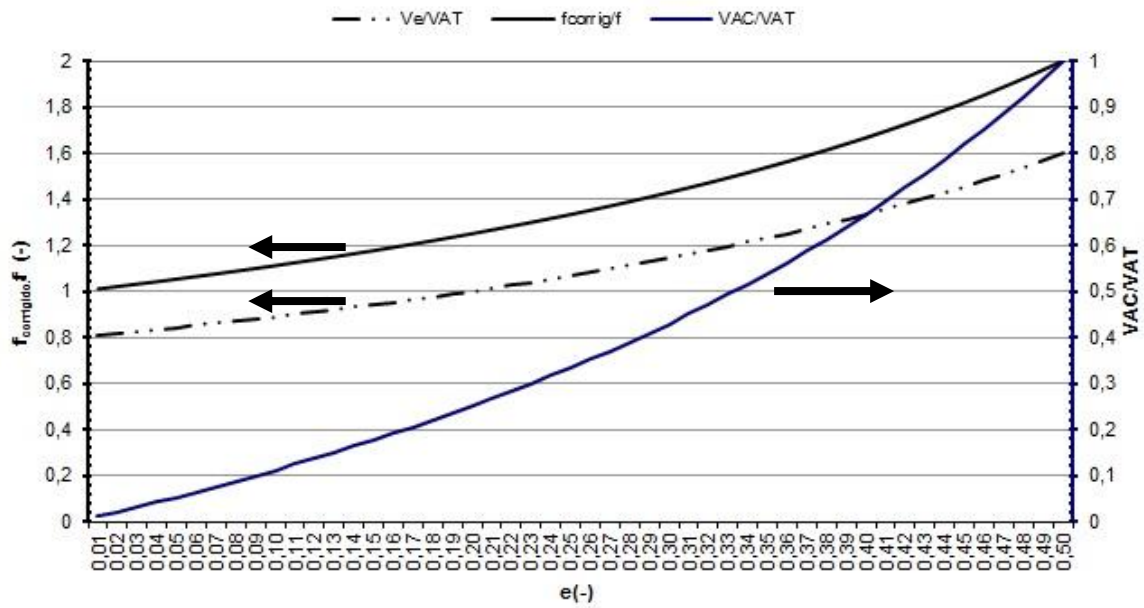


Figura 5: Relações entre os volumes de esgoto e água tratada; água de chuva e água tratada; e entre o coeficiente de retorno corrigido e o coeficiente de retorno de 0,8 (NBR 9.649/86).

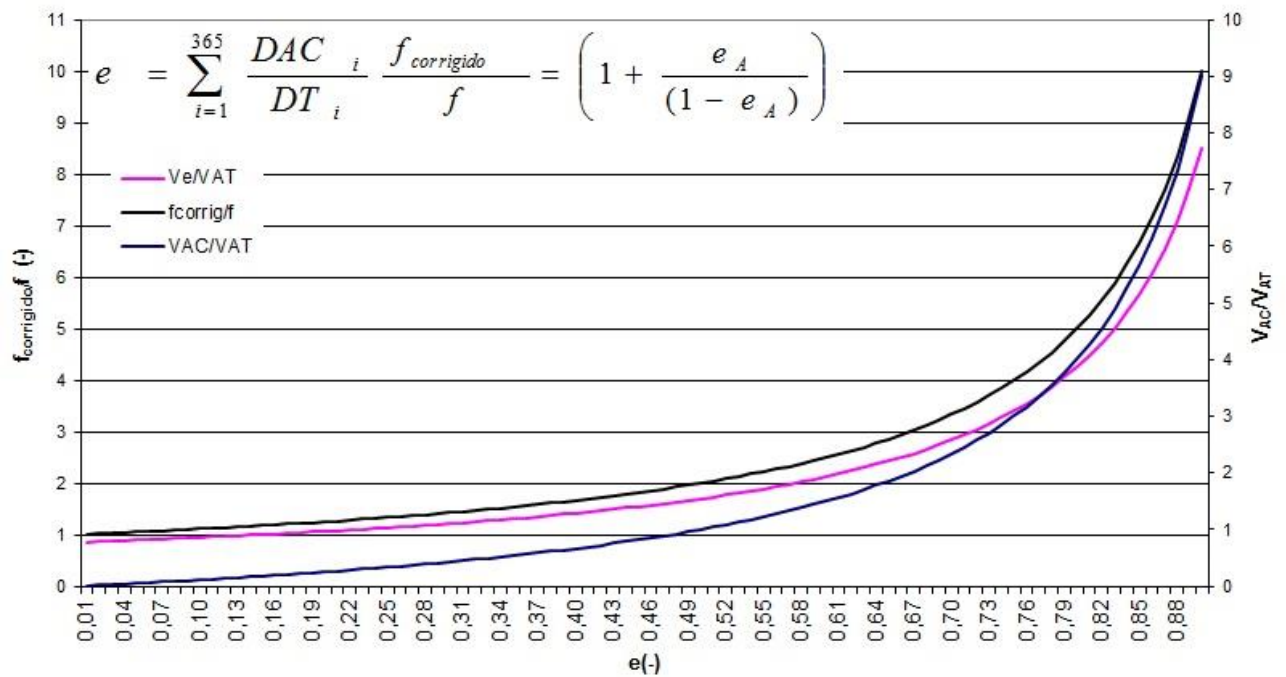


Figura 6: Relações entre os volumes de esgoto e água tratada; água de chuva e água tratada; e entre o coeficiente de retorno corrigido e o coeficiente de retorno de 0,85 (SABESP - 1990).

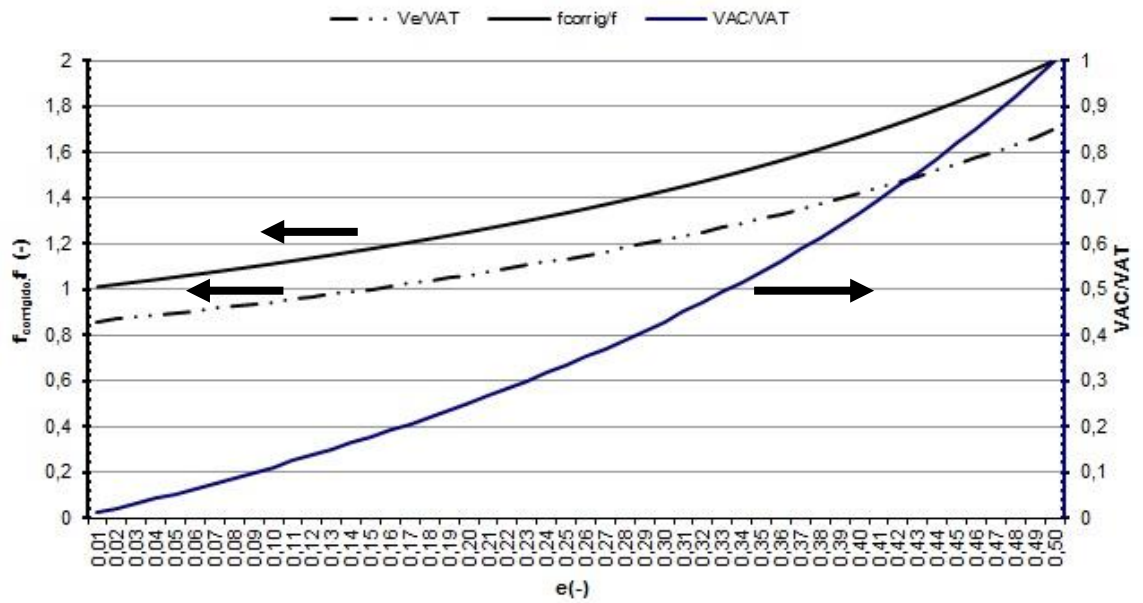


Figura 7: Relações entre os volumes de esgoto e água tratada; água de chuva e água tratada; e entre o coeficiente de retorno corrigido e o coeficiente de retorno de 0,85 (SABESP - 1990).

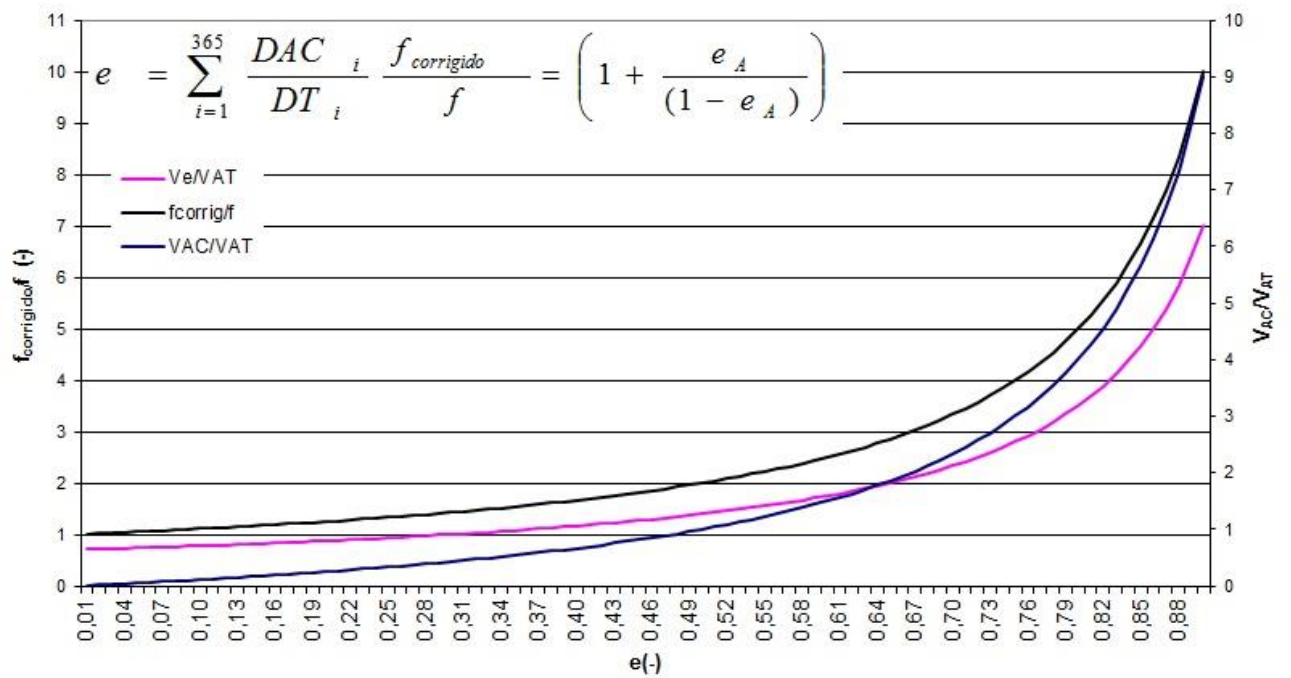


Figura 8: Relações entre os volumes de esgoto e água tratada; água de chuva e água tratada; e entre o coeficiente de retorno corrigido e o coeficiente de retorno de 0,7 (Metcalf & Eddy Inc - 1990).

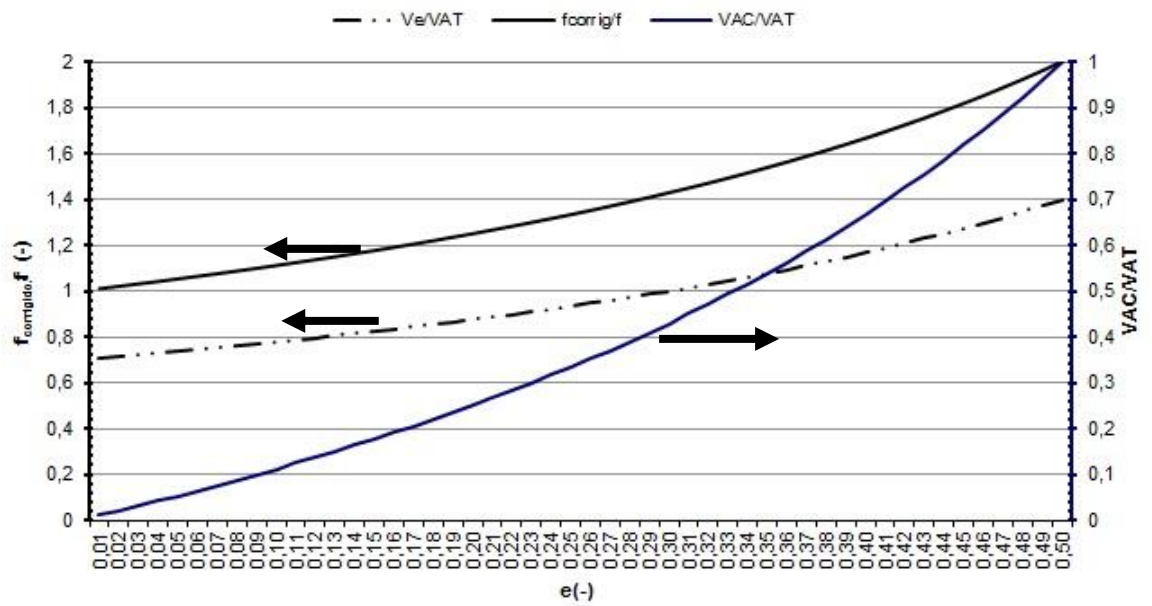


Figura 9: Relações entre os volumes de esgoto e água tratada; água de chuva e água tratada; e entre o coeficiente de retorno corrigido e o coeficiente de retorno de 0,7 (Metcalf & Eddy Inc - 1990).

Nas Figuras 10 e 11 estão apresentados o comportamento do coeficiente de retorno corrigido em função de diferentes coeficientes de retorno e das eficiências, dadas pela relação entre as demandas de água pluvial e total.

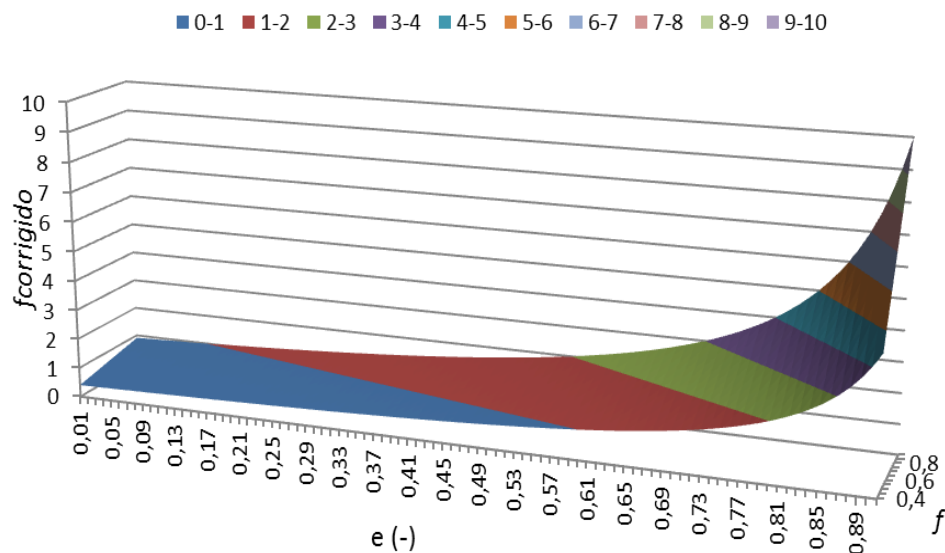


Figura 10: Relação entre o coeficiente de retorno corrigido e a eficiência (D_{AC} / D_T) para diversos valores de coeficiente de retorno.

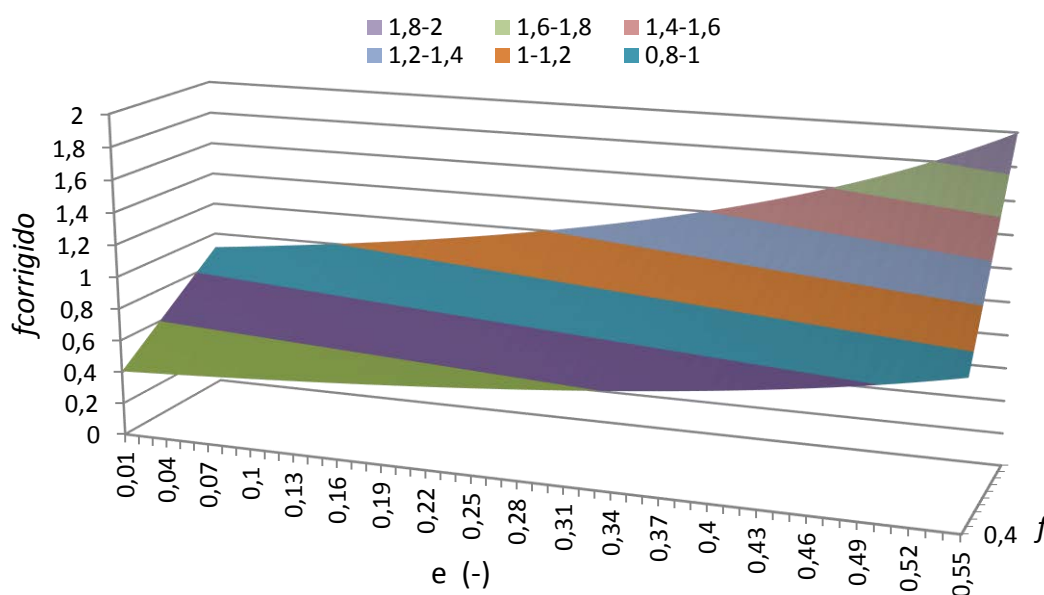


Figura 11: Relação entre o coeficiente de retorno corrigido e a eficiência (D_{AC} / D_T) para diversos valores de coeficiente de retorno.

Com base nas Figuras 10 e 11, observa-se que as relações entre os volumes de água de chuva e de água tratada, assim como, as relações entre os coeficientes de retorno, permanecem constantes para as diferentes situações analisadas.

Nota-se que a relação entre o volume de água pluvial e de água tratada varia de 0,01 a 0,99, conforme as relações entre as demandas de água de chuva e de água total. Observa-se também que o coeficiente de retorno corrigido pode ser até 1000 vezes superior ao coeficiente de retorno não corrigido, com a relação entre esses coeficientes variando desde 1,01 a 100, conforme as relações entre as demandas de água de chuva e de água total.

Além disso, nota-se que o aumento da intensidade de correção do coeficiente de retorno decorre, exclusivamente, do aumento da eficiência (D_{AC} / D_T), sendo proporcional aos coeficientes de retorno originais (não corrigidos).

Nas Figuras 12 a 15 estão apresentadas as relações entre as eficiências (D_{AC} / D_T), específicas áreas de telhado (m^2/hab), e específicas demandas de água total ($m^3.hab^{-1}.dia^{-1}$) para os valores de 0,5; 1; 2 e 3 m^3 de reservatório por habitante.

Nota-se que a eficiência, resultante da relação entre demanda de água de chuva e de água total, é altamente influenciada pelas áreas de telhado e pelas demandas totais, bem como pelos volumes de reservatórios.

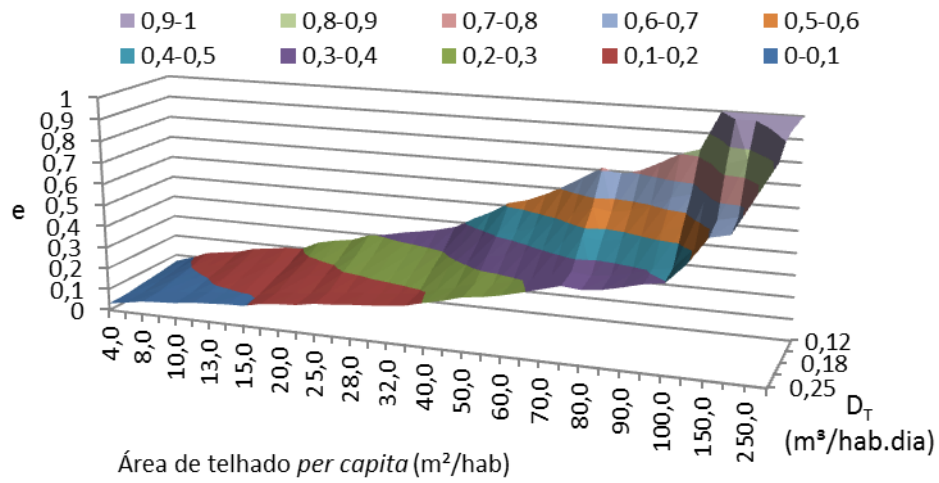


Figura 12: Eficiências, áreas específicas de telhado, demandas específicas de água e suas relações para volume de reservatório de $0,5 \text{ m}^3/\text{hab}$.

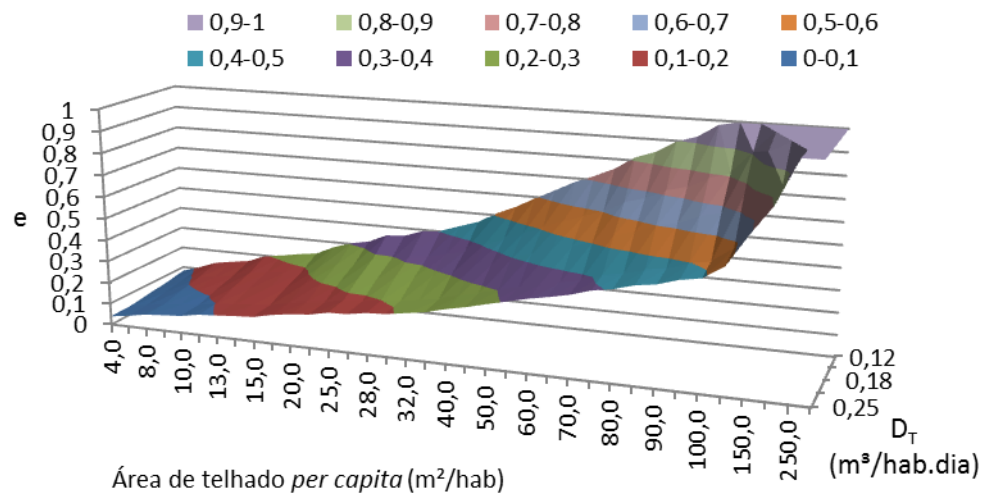


Figura 13: Eficiências, áreas específicas de telhado, demandas específicas de água e suas relações para volume de reservatório de $1 \text{ m}^3/\text{hab}$.

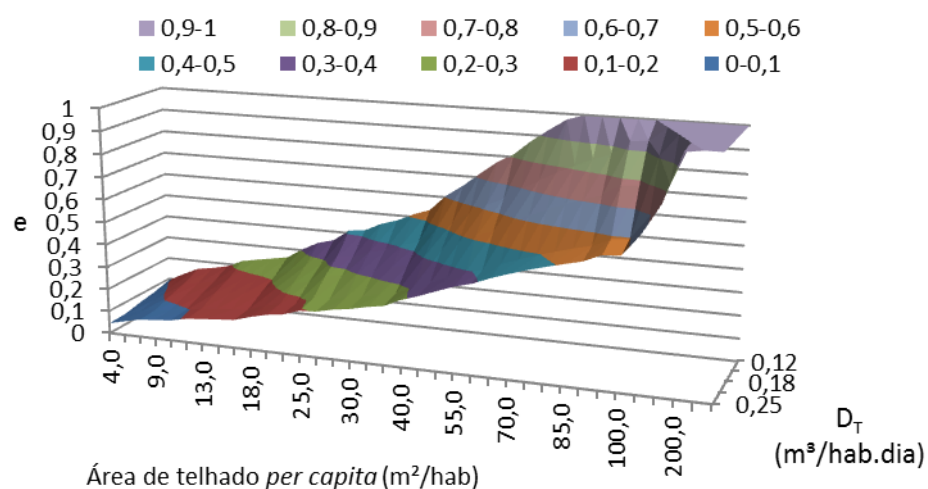


Figura 14: Eficiências, áreas específicas de telhado, demandas específicas de água e suas relações para volume de reservatório de $2 \text{ m}^3/\text{hab}$.

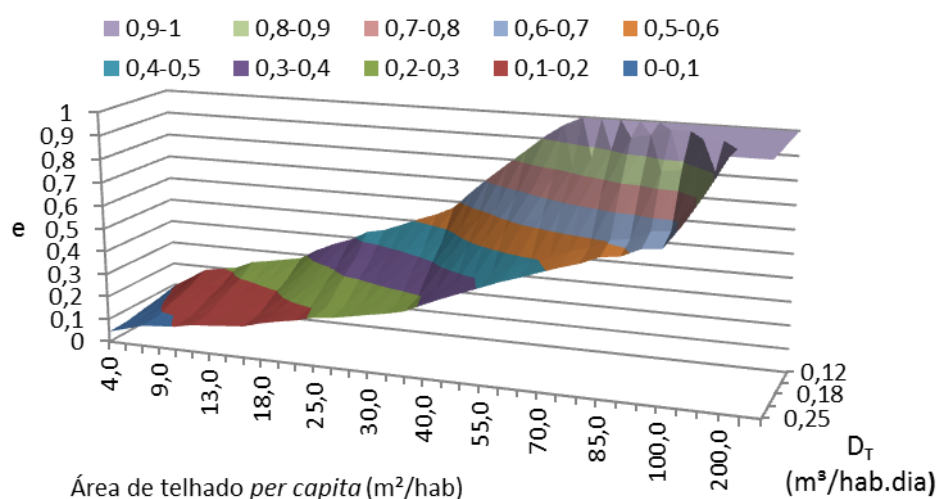


Figura 15: Eficiências, áreas específicas de telhado, demandas específicas de água e suas relações para volume de reservatório de $3 \text{ m}^3/\text{hab}$.

Observa-se nas Figuras 12 a 15 que, assim como ocorre para os volumes médios diários de água de chuva disponibilizados (Figura 12), o acréscimo gradual da área de telhado proporciona o aumento da eficiência. Esse fato é decorrente das condições de aproveitamento da água pluvial, para as quais a demanda máxima a ser atendida ($E_a = E_h$) se iguala à disponibilidade de água de chuva, ou seja, os volumes de água de chuva disponibilizados diariamente correspondem às próprias demandas diárias *per capita*. Nota-se que a eficiência

também é afetada pelas demandas totais de água, sendo que para as menores demandas têm-se as maiores eficiências. Para dada área de telhado e dado volume de reservatório tem-se uma constante demanda de água de chuva, e conforme há acréscimo da demanda total, há a redução da relação entre essas demandas.

Além disso, observa-se que o acréscimo no volume de reservatório implica no aumento do volume de água pluvial para uma mesma área de telhado e, conseqüentemente, no aumento da demanda de água pluvial. Nota-se que, o aumento do volume de reservatório proporciona o acréscimo da inclinação do comportamento da superfície das relações entre as demandas de água, sugerindo o aumento da eficiência para menores áreas de telhado.

Nas Figuras 16 a 23 estão apresentados os coeficientes de retorno corrigidos, as áreas específicas de telhado e suas relações com os diferentes índices de consumo *per capita* para volumes específicos de reservatório. A correção do coeficiente de retorno se apresenta com base no valor de 0,8 para a relação vazão de esgoto/ vazão de água. O Apêndice B apresenta os resultados obtidos para os coeficientes de retorno corrigidos.

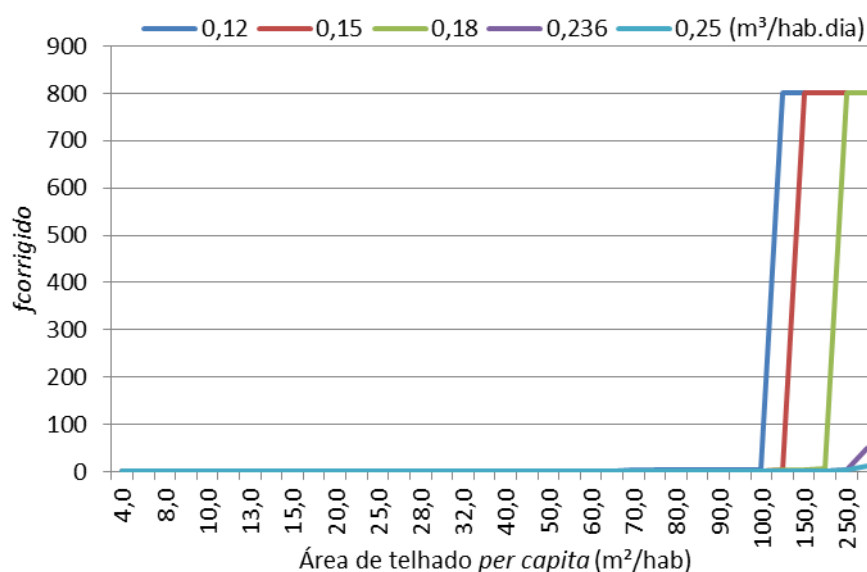


Figura 16: Coeficiente de retorno corrigido, áreas de telhado e suas relações com os diferentes índices de consumo *per capita* para 0,5 m^3 de reservatório por habitante.

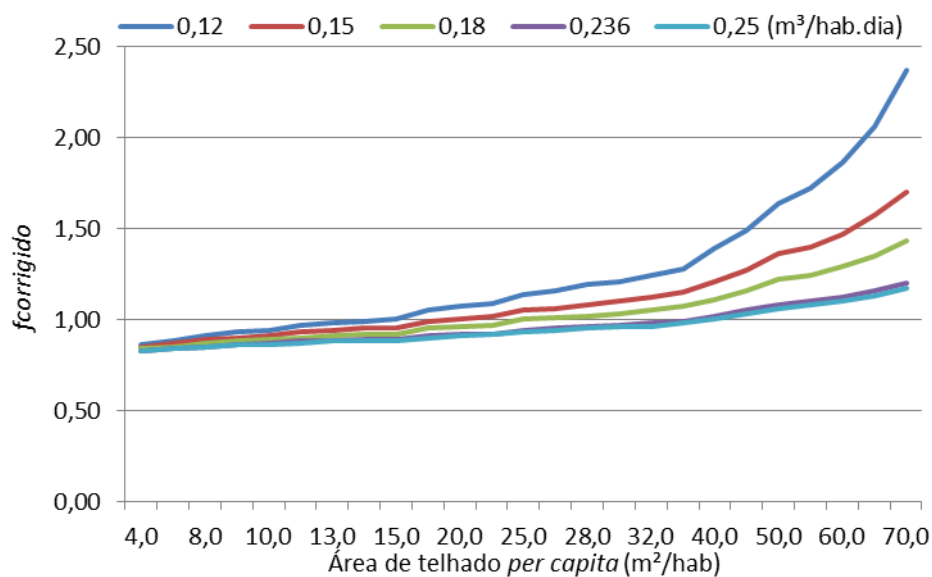


Figura 17: Coeficiente de retorno corrigido, áreas de telhado e suas relações com os diferentes índices de consumo *per capita* para 0,5 m³ de reservatório por habitante.

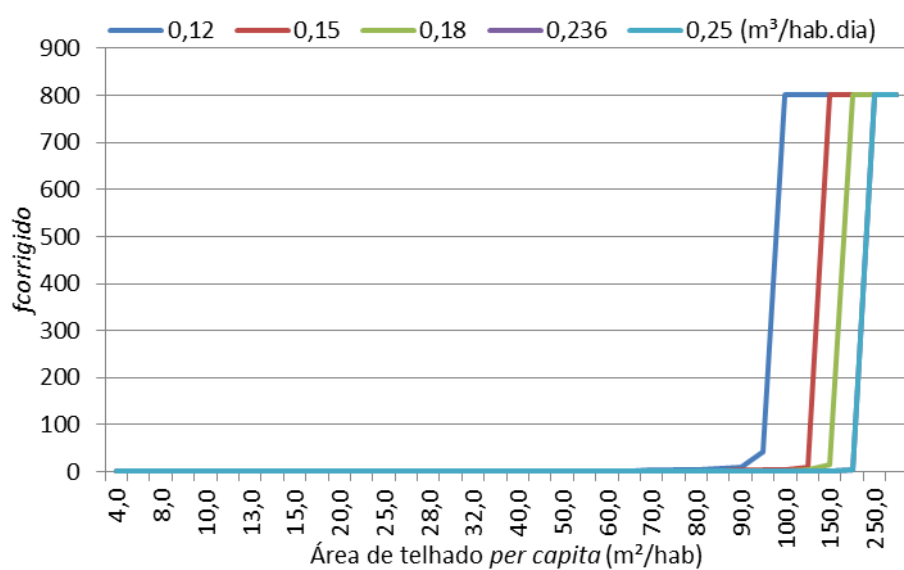


Figura 18: Coeficiente de retorno corrigido, áreas de telhado e suas relações com os diferentes índices de consumo *per capita* para 1 m³ de reservatório por habitante

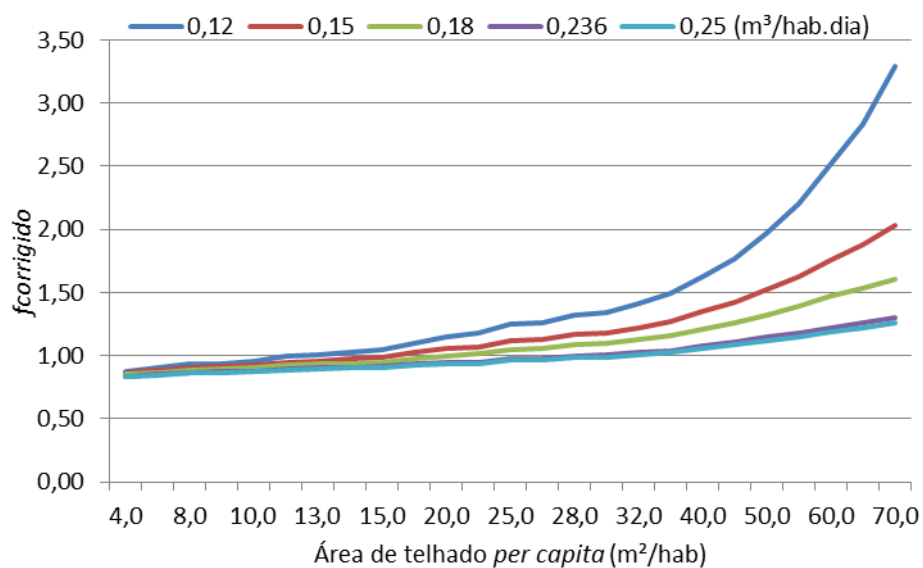


Figura 19: Coeficiente de retorno corrigido, áreas de telhado e suas relações com os diferentes índices de consumo *per capita* para 1 m^3 de reservatório por habitante

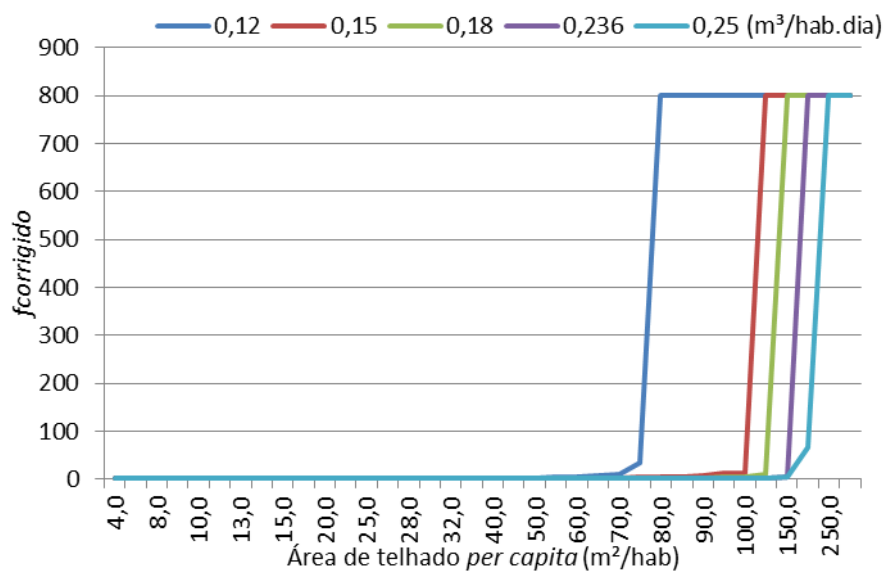


Figura 20: Coeficiente de retorno corrigido, áreas de telhado e suas relações com os diferentes índices de consumo *per capita* para 2 m^3 de reservatório por habitante.

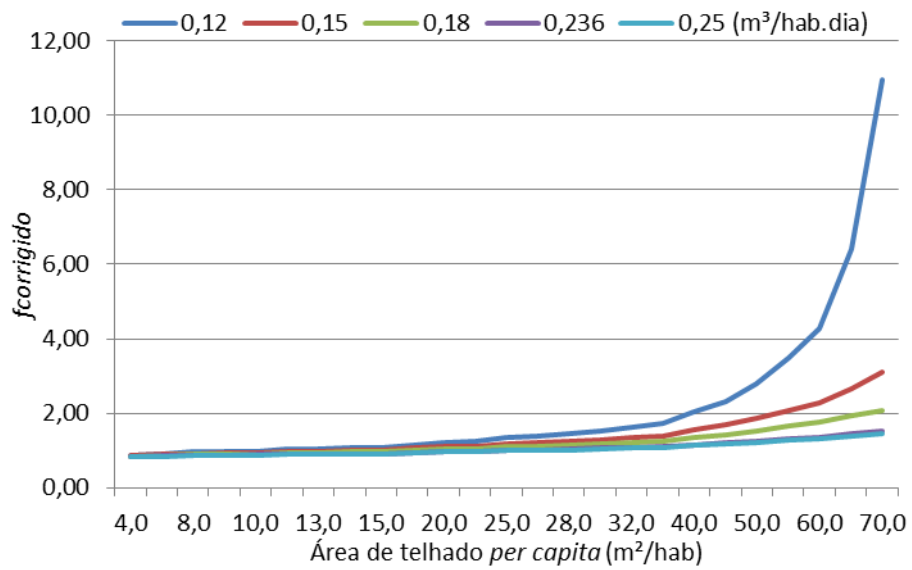


Figura 21: Coeficiente de retorno corrigido, áreas de telhado e suas relações com os diferentes índices de consumo *per capita* para 2 m³ de reservatório por habitante.

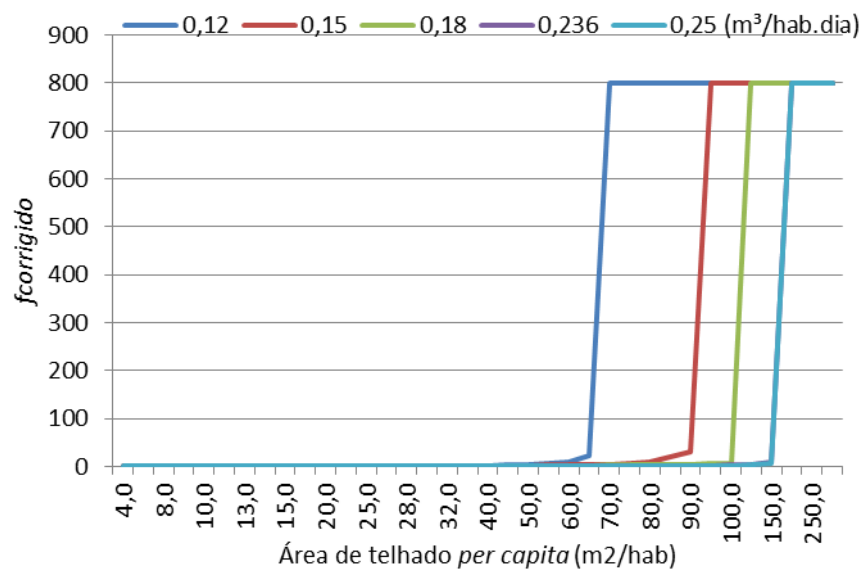


Figura 22: Coeficiente de retorno corrigido, áreas de telhado e suas relações com os diferentes índices de consumo *per capita* para 3 m³ de reservatório por habitante.

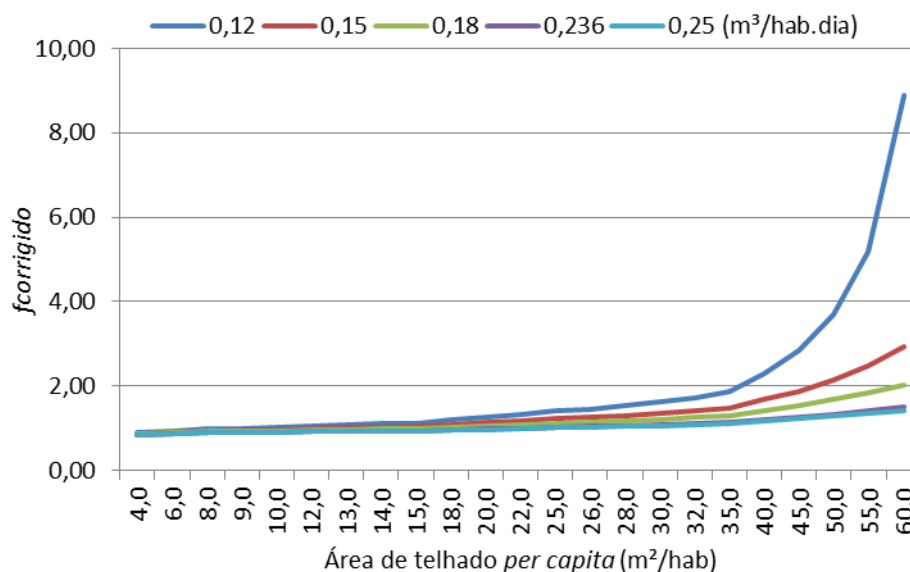


Figura 23: Coeficiente de retorno corrigido, áreas de telhado e suas relações com os diferentes índices de consumo *per capita* para 3 m³ de reservatório por habitante.

Observa-se que, assim como para a eficiência, o aumento da área de telhado acarreta uma maior correção no coeficiente de retorno, visto que, a correção se faz com base na correlação que o consumo de água pluvial representa no total. O aumento do volume de reservatório também acarreta uma maior correção, uma vez que esse acréscimo proporciona maiores eficiências.

Para os volumes de 0,5 e 1 m³ de reservatório por habitante, pode-se observar uma variação de 0,83 a 800 para os coeficientes de retorno corrigidos, sendo a correção mínima para a área de telhado de 4 m²/hab e índice de consumo de água de 250 litros diários por habitante. Já a correção máxima corresponde às maiores áreas de telhado e aos menores índices de consumo, sendo encontradas nas áreas superiores a 120, 150 e 250 m²/hab para os consumos de 120, 150 e 180 litros por habitante por dia, respectivamente, para o reservatório de 0,5 m³ por habitante. Para o volume de 1 m³ de reservatório por habitante, o valor máximo de correção é usado para as áreas de 100, 150, 200, 250 e 300 m²/hab para os índices de consumo de 120, 150, 180, 236 e 250 litros diários por habitante.

Na correção do coeficiente de retorno para os volumes de 2 e 3 m³ de reservatório por habitante, notou-se um acréscimo mínimo na variação do coeficiente de retorno corrigido, que variou de 0,84 a 800, a depender da situação analisada. A correção mínima se deu para a área de telhado de 4 m²/hab e para o consumo de 250 litros diários de água por habitante. Para os volumes de 2 e 3 m³, fez-se necessário a aplicação de uma correção maior para menores áreas

de telhado, sendo necessário o uso do coeficiente de retorno máximo para áreas superiores a 70 m²/hab para um consumo de 120 litros diários por habitante.

Além disso, pode-se observar que, assim como para a eficiência, as áreas de telhado, as demandas totais de água e os volumes de reservatório interferem diretamente na correção do coeficiente de retorno. Isso se deve à condição de igualdade das eficiências de aproveitamento e atendimento ($E_a = E_h$) que pelas condições de acréscimo de área de telhado e volume de reservatório proporcionam um aumento do volume médio de água pluvial ofertada diariamente, sendo necessária a aplicação das maiores correções para as maiores áreas de telhado, maiores volumes de reservatórios e menores índices de consumo diário.

É importante destacar que a mais alta correção do coeficiente de retorno ocorre devido a uma situação extrema e sem respaldo normativo, para a qual a relação entre as demandas de água pluvial e de água total tendem a se igualar ao valor de 1. A NBR 15527/07 estabelece que o aproveitamento da água pluvial em áreas urbanas deve, exclusivamente, ser dedicado aos usos não potáveis. Com base nas referências consultadas, estima-se que, aproximadamente, 45% da demanda diária total de água seja destinada a fins não potáveis. Portanto, para o aproveitamento de água pluvial em áreas urbanas, deve-se considerar que a relação estabelecida entre as demandas de água de chuva e água total deve oscilar entre 0,0 e 0,45, uma vez que não há criação de nova demanda.

Sendo assim, a correção do coeficiente de retorno, na prática, terá uma variação de 0,83 a 1,45, valores que correspondem ao máximo aproveitamento de água pluvial para os usos não potáveis ($0,0 \leq e \leq 0,45$), conforme recomendação da NBR 15527/07.

Na Figura 24 está apresentada a relação entre as demandas de água de chuva e de água total e vários volumes de reservatórios, para área média *per capita* de telhado para o município de Rio Claro – SP, no valor de 37,25 m²/hab.

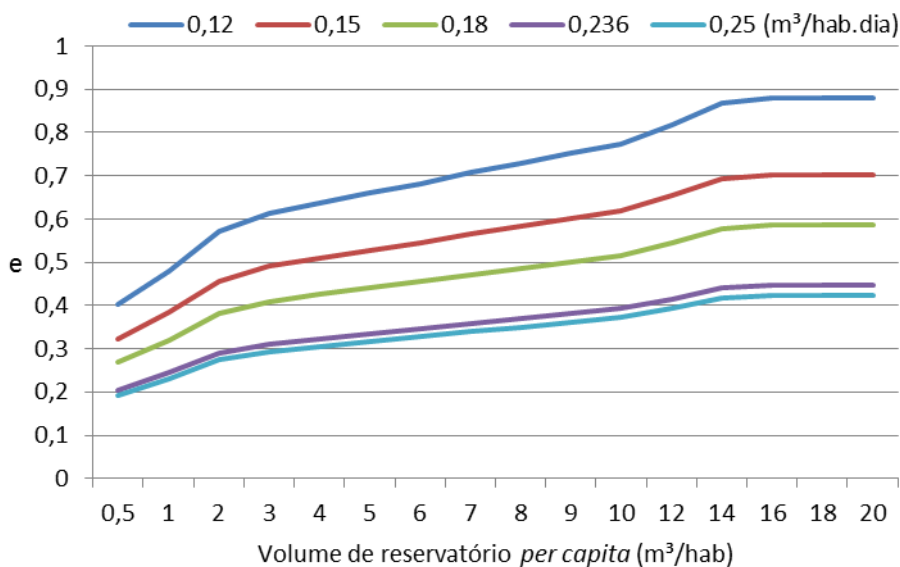


Figura 24: Eficiência, volumes de reservatórios e suas relações com as demandas de água total para a área média de telhado *per capita* de Rio Claro - SP.

Na Figura 25 estão apresentados os coeficientes de retorno corrigido, os volumes de reservatório e as suas relações com os índices de consumo de água total, para área média *per capita* de telhado para o município de Rio Claro – SP. Os resultados dos coeficientes corrigidos são apresentados no Apêndice B.

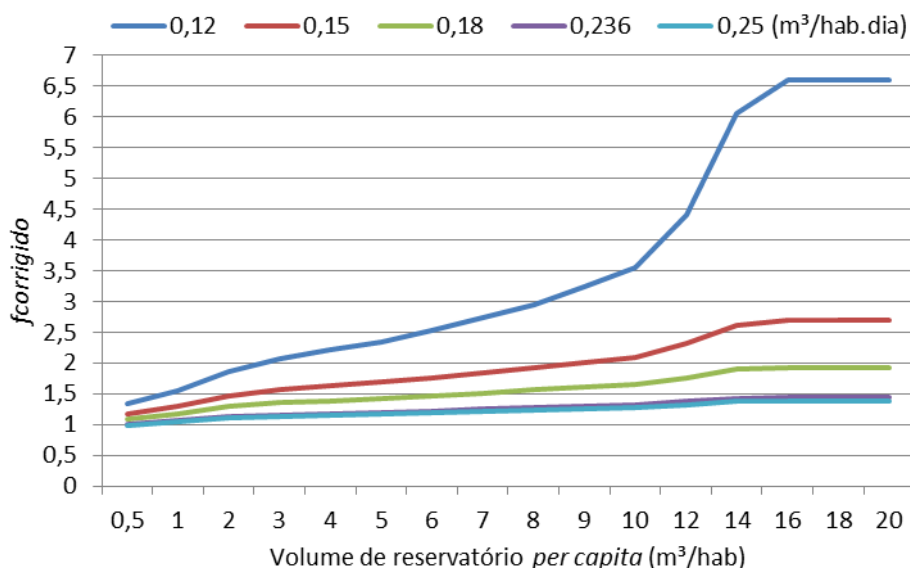


Figura 25: Coeficiente de retorno corrigido, volumes de reservatório e suas relações com as demandas de água total para a área média de telhado *per capita* de Rio Claro – SP.

A partir da Figura 24, pode-se notar o comportamento assintótico da curva da eficiência em função do volume de reservação, mesmo para todos os índices de consumo

avaliados. Nota-se que a partir do volume de 14 m³ de reservatório por habitante, não há acréscimo da eficiência.

Com base na Figura 25, observa-se, como anteriormente mencionado, que o aumento do volume de reservatório implica no acréscimo da correção do coeficiente de retorno. Pode-se observar também as correções máximas e mínimas para a área média de telhado por habitante para o município de Rio Claro – SP, sendo a correção mínima de 0,99, para um reservatório de 0,5 m³ por habitante e um índice de consumo de 250 litros diários por habitante. Observa-se uma correção máxima de 6,61 para um volume de reservatório de 0,5 m³ por habitante e uma demanda de 120 litros de água. Nota-se que, os maiores ajustes no coeficiente de retorno são aplicados para os volumes de reservatórios superiores a 5 m³ por habitante.

Sendo assim, para residências com sistema de captação e aproveitamento de água pluvial no município de Rio Claro, sugere-se a aplicação de um coeficiente de retorno de 0,99 a 2,35, valores correspondentes à variação da correção para diversos índices de consumo e volumes de reservatórios de até 5 m³/hab.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos por esse estudo, pode-se concluir que:

- O município de Rio Claro - SP apresenta uma área de telhado média de $123,28 \pm 6,67 \text{ m}^2$ para casas, de $4,83 \text{ m}^2/\text{hab}$ para apartamentos e uma área média ponderada de $116,11 \text{ m}^2$ por domicílio. Apresentando uma área de $37,25 \text{ m}^2$ de telhado por habitante, totalizando 6,6 milhões de m^2 em toda a área urbano do município.
- A eficiência de aproveitamento, relação entre as demandas de água de chuva e de água total, é variável em função das áreas de telhado, dos índices de consumo e dos volumes de reservatório, sendo diretamente proporcional ao acréscimo da área de telhado e volume de reservatório, e inversamente, aos índices de consumo, respectivamente.
- A intensidade da correção do coeficiente de retorno da rede coletora de esgoto é, estritamente, dependente e proporcional à eficiência de aproveitamento. O estabelecimento da eficiência do sistema de aproveitamento por meio da condição das igualdades das eficiências de aproveitamento e atendimento ($E_a = E_h$) permitiu avaliar mais precisamente o atendimento para as diferentes demandas e, por consequência, determinar o valor do coeficiente de retorno corrigido ($f_{\text{corrigido}}$).
- Para as situações analisadas de área de telhado, volume de reservatório e índices de consumo de água, o coeficiente de retorno corrigido assumiu uma variação de 0,83 a 1,45, uma vez que essa representa a máxima relação que pode ser estabelecida entre as demandas de água de chuva e água total, já que o aproveitamento de água pluvial é destinado somente aos usos não potáveis, conforme a NBR 15527/07 normatiza.
- Para a área média de telhado *per capita* do município de Rio Claro – SP, o coeficiente de retorno corrigido apresentou valor mínimo de 0,99 e máximo de 6,61, para $0,5 \text{ m}^3$ de reservatório e índices de consumo de 250 e 120 litros diários de água por habitante, respectivamente;

Com base nos resultados obtidos nesse estudo, recomenda-se para pesquisas futuras:

- Analisar a viabilidade econômica da implantação de sistemas de coleta e aproveitamento de água pluvial com base nos investimentos iniciais e nos custos dos serviços de coleta e tratamento de esgoto sanitário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, S.V. de; PEREIRA, D.J. de A. **Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial.** Ambiente Construído, Porto Alegre 8 (2) (2008) 53–66.

ANNECCHINI, K. P. V. **Aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis na região metropolitana de Vitória (ES).** Vitória: ET/UFES, 2005. 124p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR15527: **Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR9649: **Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário.** Rio de Janeiro, 1986.

FONTES, A.R.M.; BARBASSA, A.P. **Diagnóstico e prognóstico da ocupação e impermeabilização urbanas.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre (RS), v. 8, n. 2, p. 137-147, 2003.

GHISI, E. **Potential for potable water saving by using rainwater in the residential sector of Brazil.** Building and Environment, West Lafayette, v. 41, n. 11, p. 1544-1550, 2006.

GHISI, E.; FERREIRA, D.F. **Potential for Potable Water Savings by Using Rainwater and Greywater in a Multi-storey Residential Building in Southern Brazil.** Building and Environment, v. 42, n. 7, p. 2512-2522, 2006.

GHISI, E.; MONTIBELLER, A.; SCHMIDT, R.W. **Potential for potable water savings by using rainwater: An analysis over 62 cities in southern Brazil**. Building and Environment, v. 41, p.204–210, 2006

GHISI, E.; OLIVEIRA, S. M. **Potential for Potable Water Savings by Combining the Use of Rainwater and Greywater in Houses in Southern Brazil**. Building and Environment., v. 42, n.4, p. 1731-1742, 2007.

GONÇALVES, R.F. **Uso Racional da Água em Edificações**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

HOROCHOSKI, L.; WIECHETECK, G.K.; VAZ, M.S.M.G. **Avaliação do coeficiente de retorno de esgoto da Bacia Hidrográfica do Arroio Gertrudes – Ponta Grossa (PR)**. Revista de Engenharia e Tecnologia. ISSN 2176-7270. V. 3, N°. 1, Abr/2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em Agosto de 2013.

LIMA, J. A. de. *et al.* **Potencial de economia de água potável pelo uso de água pluvial: análise de 40 cidades da Amazônia**. Eng Sanit Ambient, v.16, n.3, Jul/Set 2011, 291-298.

MACINTYRE, A.J. **Manual de instalações hidráulicas e sanitárias**. Ed. Guanabara, 1990.

MAIA, A.G.; SANTOS, A.L. dos; FILHO, P.C. de O. **Avaliação da economia de água potável com a implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva: estudo de caso no município de Irati, Paraná**. Ambiência Guarapuava (PR), v.7, n.1, Jan/Abr 2011, p. 51-63.

MARINOSKI, A. K. **Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis – SC**. 2007. 118 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para o uso não potável em edificações**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade da São Paulo, São Paulo, 2004.

MORUZZI, R. B. *et al.* **Potencial de economia de água potável por meio do uso de água pluvial no setor residencial de cidades médias do Estado de São Paulo**. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009, Recife, PE.

MORUZZI, R.B. **Avaliação do potencial de lançamento de água pluvial no sistema de coleta e transporte de esgoto sanitário por meio de práticas de aproveitamento em residências unifamiliares**. Em prelo, 2014.

MORUZZI, R.B.; OLIVEIRA, S.C.; GARCIA, M.L. **A Proposal for Reservoir Volume Calculation in Rainwater Harvesting Systems**. Journal of Civil Engineering and Architecture, June. 2012, Volume 6, No. 6 (Serial No. 55), pp, USA.

MURAKAMI, M. F. **Avaliação do desempenho de uma unidade em escala real para tratamento de água pluvial empregando a filtração rápida por meio de filtro de pressão e amido natural de milho como coagulante primário**. 2011. 82f.Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, 2011.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES PARA O GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO – SIGRH. Disponível em <www.sigrh.sp.gov.br>. Acesso: agosto de 2013.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto**. 2010. Disponível em <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em Agosto de 2013.

TASSI, R.; DORNELLES, F.; GOLDENFUM, J.A. **Metodologia para Ajuste do Fator de Esgoto/Água para Aproveitamento de Água de Chuva**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 17 n.1 - Jan/Mar 2012, 111-121.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água de Chuva**. ed. 2°. São Paulo: Navegar. 2003

TSUTIYA, M.T.; SOBRINHO, P.A. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. 1ª Edição, 1999, DEHS – EPUSP.

APÊNDICES

Apêndice A

Resultados do estudo piloto e da amostragem definitiva.

Amostragem Piloto

Amostragem/Bairros	Alto do Santana	Arco-Íris	Bela Vista	Centenário	Centro	Cidade Jardim	Cidade Nova	Consolação	Distrito Industrial	Grande Cerveão	Inocoop	Jardim América	Jardim das Palmeiras	Jardim Floridiana
1	96,67	66,43	169,09	70,42	227,17	155,47	107,37	162,50	128,94	122,28	159,79	183,03	11,86	142,65
2	122,15	98,18	130,50	155,08	96,73	93,44	230,74	156,41	94,09	37,65	99,48	87,97	73,11	128,77
3	239,14	100,51	77,98	97,09	193,36	139,16	160,38	53,93	82,57	109,43	134,23	196,23	106,40	141,20
4	69,00	86,98	139,63	38,04	395,75	241,68	149,08	76,41	100,81	75,81	91,54	96,73	55,99	253,40
5	144,54	270,87	145,07	73,49	190,47	122,75	56,87	118,59	106,24	48,18	118,53	243,37	167,90	78,51
6	170,55	49,85	107,22	51,50	207,18	187,43	71,56	112,19	103,56	116,86	63,98	177,24	85,10	95,17
7	100,15	379,86	444,53	126,58	247,61	179,79	114,42	159,44	96,47	62,86	177,60	168,24	56,25	157,78
8	92,22	66,71	188,03	93,90	82,48	157,37	203,70	69,23	93,14	66,05	86,40	115,51	154,35	189,27
9	38,67	122,72	140,84	126,88	229,48	94,97	286,77	52,63	152,77	54,17	129,83	94,93	181,28	160,17
10	84,81	119,29	70,30	46,73	47,00	206,03	341,36	265,82	73,65	60,90	132,45	367,70	111,67	175,12

Amostragem/Bairros	Jardim Guanabara	Jardim Novo Claro	J. Novo Wenzel	J. Novo/ Terra Nova	J. São Paulo	Mãe Preta	Recanto Paraíso	Residencial Florença	Santa Maria	Santana	Vila Nova	Vila Paulista	Wenzel
1	51,23	184,92	61,36	92,09	281,69	75,32	90,87	187,45	90,79	89,84	79,84	156,49	90,33
2	130,32	193,39	75,30	98,02	90,32	84,59	75,43	132,12	72,78	333,36	52,18	49,22	156,74
3	87,10	144,90	142,81	126,35	97,23	167,36	73,22	271,41	222,86	161,41	118,14	159,52	78,59
4	146,70	176,09	106,98	205,07	179,22	85,00	231,08	298,17	55,02	172,58	127,78	93,85	197,75
5	222,76	209,58	293,52	203,88	234,15	96,26	201,01	332,46	89,57	242,68	81,18	275,53	165,47
6	67,78	161,80	72,08	58,45	190,35	76,06	81,28	213,23	44,82	218,27	124,61	111,45	96,69
7	107,21	302,99	140,19	115,89	224,83	150,14	124,69	299,05	110,32	139,02	62,77	93,57	189,11
8	114,03	250,20	107,57	176,64	356,97	68,74	154,82	296,88	67,43	104,07	93,49	100,66	213,06
9	77,49	167,27	100,05	89,09	82,40	151,99	82,72	305,86	64,75	297,88	142,34	71,03	191,15
10	170,04	118,13	86,81	134,56	73,93	186,19	111,75	249,71	143,54	37,92	159,68	172,61	80,33

[illegible]

[illegible]

Amostragem Definitiva															
Bairros	Mãe Preta		Recanto Paraíso			Residencial Florença		Santa Maria		Santana		Vila Nova		Vila Paulista	Wenzel
1	49,43	77,90	156,36	75,05	110,54	209,75	79,53	91,46	61,82	103,76	89,77	131,79	53,22	70,58	60,05
2	72,64	163,31	46,79	83,90	183,73	189,65	62,62	38,85	128,51	165,97	116,48	47,21	73,45	233,93	191,22
3	75,53	175,24	45,31	167,89	122,04	179,00	149,18	76,29	63,49	121,74	149,27	95,19	213,46	215,11	87,47
4	99,70	65,65	78,32	136,69	68,80	200,58	34,41	41,32	90,45	108,85	60,66	100,96	114,02	85,62	110,28
5	50,00	86,19	247,53	76,90	119,70	159,51	26,10	63,88	169,41	62,86	161,79	124,93	238,95	158,56	74,66
6	78,54	72,31	74,45	50,26	72,83	177,92	86,02	122,16	126,26	345,26	39,41	131,45	254,49	78,07	78,14
7	33,11	136,76	73,51	90,00		336,63	118,11	83,25	60,37	198,72	84,45	75,75	199,69	116,65	86,22
8	150,12	114,26	104,36	118,34			53,73	95,53	181,77	73,96	101,03	196,71	64,24	71,63	
9	42,65	129,85	58,21	54,94			152,38	105,64	173,32	159,96	121,42	35,24		121,22	
10	106,24	47,36	334,15	194,17			119,35	56,68	151,65	183,72	23,09			149,56	
11	185,11	71,65	98,74	79,42			86,66	80,78	395,25		125,49			73,82	
12	71,45		57,28	63,49			149,42								

Apêndice B

Resultados dos coeficientes de retorno para os volumes de 0,5; 1; 2 e 3 m³ de reservatório por habitante e para a área média *per capita* de telhado para Rio Claro - SP.

Eficiência e Coeficiente de Retorno Corrigido para 0,5 m³ de reservatório por habitante.

Área de Telhado	Disponibilidade	Consumo ótima (Ea=Eh)	Eficiência (Ea=Eh) - Volume de Reservatório	Demanda Atendida (para Ea=Eh)	Eficiência (Dac/Dt) - Demandas Totais (m³/hab.dia)					Coeficiente de Retorno Corrigido - Demandas Totais				
m2/hab	m3/hab.ano	m3/hab.dia	0,5 m³/hab		0,12	0,15	0,18	0,2365	0,25	0,12	0,15	0,18	0,2365	0,25
4,0	4,75	0,013	0,64	0,00832	0,0693	0,0555	0,0462	0,0352	0,0333	0,86	0,85	0,84	0,83	0,83
6,0	7,13	0,019	0,6	0,0114	0,0950	0,0760	0,0633	0,0482	0,0456	0,88	0,87	0,85	0,84	0,84
8,0	9,50	0,026	0,58	0,01508	0,1257	0,1005	0,0838	0,0638	0,0603	0,91	0,89	0,87	0,85	0,85
9,0	10,70	0,029	0,57	0,01653	0,1378	0,1102	0,0918	0,0699	0,0661	0,93	0,90	0,88	0,86	0,86
10,0	11,90	0,032	0,56	0,01792	0,1493	0,1195	0,0996	0,0758	0,0717	0,94	0,91	0,89	0,87	0,86
12,0	14,25	0,039	0,53	0,02067	0,1723	0,1378	0,1148	0,0874	0,0827	0,97	0,93	0,90	0,88	0,87
13,0	15,44	0,042	0,52	0,02184	0,1820	0,1456	0,1213	0,0923	0,0874	0,98	0,94	0,91	0,88	0,88
14,0	16,63	0,045	0,52	0,0234	0,1950	0,1560	0,1300	0,0989	0,0936	0,99	0,95	0,92	0,89	0,88
15,0	17,81	0,048	0,5	0,024	0,2000	0,1600	0,1333	0,1015	0,0960	1,00	0,95	0,92	0,89	0,88
18,0	21,38	0,058	0,49	0,02842	0,2368	0,1895	0,1579	0,1202	0,1137	1,05	0,99	0,95	0,91	0,90
20,0	23,73	0,065	0,47	0,03055	0,2546	0,2037	0,1697	0,1292	0,1222	1,07	1,00	0,96	0,92	0,91
22,0	26,13	0,071	0,45	0,03195	0,2663	0,2130	0,1775	0,1351	0,1278	1,09	1,02	0,97	0,92	0,92
25,0	29,70	0,081	0,44	0,03564	0,2970	0,2376	0,1980	0,1507	0,1426	1,14	1,05	1,00	0,94	0,93
26,0	30,88	0,084	0,44	0,03696	0,3080	0,2464	0,2053	0,1563	0,1478	1,16	1,06	1,01	0,95	0,94
28,0	32,25	0,091	0,43	0,03913	0,3261	0,2609	0,2174	0,1655	0,1565	1,19	1,08	1,02	0,96	0,95
30,0	35,63	0,097	0,42	0,04074	0,3395	0,2716	0,2263	0,1723	0,1630	1,21	1,10	1,03	0,97	0,96
32,0	38,00	0,104	0,41	0,04264	0,3553	0,2843	0,2369	0,1803	0,1706	1,24	1,12	1,05	0,98	0,96
35,0	41,56	0,113	0,4	0,0452	0,3767	0,3013	0,2511	0,1911	0,1808	1,28	1,15	1,07	0,99	0,98

Eficiência e Coeficiente de Retorno Corrigido para 0,5 m³ de reservatório por habitante.

Área de Telhado	Disponibilidade	Consumo ótima (Ea=Eh)	Eficiência (Ea=Eh) - Volume de Reservatório	Demanda Atendida (para Ea=Eh)	Eficiência (Dac/Dt) - Demandas Totais (m³/hab.dia)					Coeficiente de Retorno Corrigido - Demandas Totais				
m2/hab	m3/hab.ano	m3/hab.dia	0,5 m³ reser/hab		0,12	0,15	0,18	0,2365	0,25	0,12	0,15	0,18	0,2365	0,25
40,0	47,50	0,13	0,39	0,0507	0,4225	0,3380	0,2817	0,2144	0,2028	1,39	1,21	1,11	1,02	1,00
45,0	53,44	0,146	0,38	0,05548	0,4623	0,3699	0,3082	0,2346	0,2219	1,49	1,27	1,16	1,05	1,03
50,0	59,40	0,162	0,38	0,06156	0,5130	0,4104	0,3420	0,2603	0,2462	1,64	1,36	1,22	1,08	1,06
55,0	65,31	0,178	0,36	0,06408	0,5340	0,4272	0,3560	0,2710	0,2563	1,72	1,40	1,24	1,10	1,08
60,0	71,25	0,195	0,35	0,06825	0,5688	0,4550	0,3792	0,2886	0,2730	1,86	1,47	1,29	1,12	1,10
65,0	77,19	0,21	0,35	0,0735	0,6125	0,4900	0,4083	0,3108	0,2940	2,06	1,57	1,35	1,16	1,13
70,0	83,13	0,227	0,35	0,07945	0,6621	0,5297	0,4414	0,3359	0,3178	2,37	1,70	1,43	1,20	1,17
75,0	89,06	0,244	0,35	0,0854	0,7117	0,5693	0,4744	0,3611	0,3416	2,77	1,86	1,52	1,25	1,22
80,0	95,00	0,26	0,32	0,0832	0,6933	0,5547	0,4622	0,3518	0,3328	2,61	1,80	1,49	1,23	1,20
85,0	100,94	0,276	0,31	0,08556	0,7130	0,5704	0,4753	0,3618	0,3422	2,79	1,86	1,52	1,25	1,22
90,0	106,80	0,292	0,31	0,09052	0,7543	0,6035	0,5029	0,3827	0,3621	3,26	2,02	1,61	1,30	1,25
95,0	112,81	0,31	0,31	0,0961	0,8008	0,6407	0,5339	0,4063	0,3844	4,02	2,23	1,72	1,35	1,30
100,0	118,75	0,32	0,31	0,0992	0,8267	0,6613	0,5511	0,4195	0,3968	4,62	2,36	1,78	1,38	1,33
120,0	142,50	0,39	0,31	0,1209	0,9990	0,8060	0,6717	0,5112	0,4836	800,00	4,12	2,44	1,64	1,55
150,0	178,30	0,488	0,31	0,15128	0,9990	0,9990	0,8404	0,6397	0,6051	800,00	800,00	5,01	2,22	2,03
200,0	237,50	0,65	0,24	0,156	0,9990	0,9990	0,8667	0,6596	0,6240	800,00	800,00	6,00	2,35	2,13
250,0	296,88	0,81	0,24	0,1944	0,9990	0,9990	0,9990	0,8220	0,7776	800,00	800,00	800,00	4,49	3,60
300,0	356,26	0,97	0,24	0,2328	0,9990	0,9990	0,9990	0,9844	0,9312	800,00	800,00	800,00	51,14	11,63

Eficiência e Coeficiente de Retorno Corrigido para 1 m³ de reservatório por habitante.

Área de Telhado	Disponibilidade	Consumo ótima (Ea=Eh)	Eficiência (Ea=Eh) - Volume de Reservatório	Demanda Atendida (para Ea=Eh)	Eficiência (Dac/Dt) - (m³/hab.dia)						Coeficiente de Retorno Corrigido - Demandas Totais				
m2/hab	m3/hab.ano	m3/hab.dia	1 m³ reserv/hab		0,12	0,15	0,18	0,2365	0,25	0,12	0,15	0,18	0,2365	0,25	
4,0	4,75	0,013	0,75	0,00975	0,0813	0,0650	0,0542	0,0412	0,0390	0,87	0,86	0,85	0,83	0,83	
6,0	7,13	0,019	0,68	0,01292	0,1077	0,0861	0,0718	0,0546	0,0517	0,90	0,88	0,86	0,85	0,84	
8,0	9,50	0,026	0,64	0,01664	0,1387	0,1109	0,0924	0,0704	0,0666	0,93	0,90	0,88	0,86	0,86	
9,0	10,70	0,029	0,63	0,01827	0,1523	0,1218	0,1015	0,0773	0,0731	0,94	0,91	0,89	0,87	0,86	
10,0	11,90	0,032	0,62	0,01984	0,1653	0,1323	0,1102	0,0839	0,0794	0,96	0,92	0,90	0,87	0,87	
12,0	14,25	0,039	0,61	0,02379	0,1983	0,1586	0,1322	0,1006	0,0952	1,00	0,95	0,92	0,89	0,88	
13,0	15,44	0,042	0,6	0,0252	0,2100	0,1680	0,1400	0,1066	0,1008	1,01	0,96	0,93	0,90	0,89	
14,0	16,63	0,045	0,6	0,027	0,2250	0,1800	0,1500	0,1142	0,1080	1,03	0,98	0,94	0,90	0,90	
15,0	17,81	0,048	0,59	0,02832	0,2360	0,1888	0,1573	0,1197	0,1133	1,05	0,99	0,95	0,91	0,90	
18,0	21,38	0,058	0,57	0,03306	0,2755	0,2204	0,1837	0,1398	0,1322	1,10	1,03	0,98	0,93	0,92	
20,0	23,73	0,065	0,56	0,0364	0,3033	0,2427	0,2022	0,1539	0,1456	1,15	1,06	1,00	0,95	0,94	
22,0	26,13	0,071	0,54	0,03834	0,3195	0,2556	0,2130	0,1621	0,1534	1,18	1,07	1,02	0,95	0,94	
25,0	29,70	0,081	0,53	0,04293	0,3578	0,2862	0,2385	0,1815	0,1717	1,25	1,12	1,05	0,98	0,97	
26,0	30,88	0,084	0,52	0,04368	0,3640	0,2912	0,2427	0,1847	0,1747	1,26	1,13	1,06	0,98	0,97	
28,0	32,25	0,091	0,52	0,04732	0,3943	0,3155	0,2629	0,2001	0,1893	1,32	1,17	1,09	1,00	0,99	
30,0	35,63	0,097	0,5	0,0485	0,4042	0,3233	0,2694	0,2051	0,1940	1,34	1,18	1,10	1,01	0,99	
32,0	38,00	0,104	0,5	0,052	0,4333	0,3467	0,2889	0,2199	0,2080	1,41	1,22	1,13	1,03	1,01	
35,0	41,56	0,113	0,49	0,05537	0,4614	0,3691	0,3076	0,2341	0,2215	1,49	1,27	1,16	1,04	1,03	

Eficiência e Coeficiente de Retorno Corrigido para 1 m³ de reservatório por habitante.

Área de Telhado	Disponibilidade	Consumo ótima (Ea=Eh)	Eficiência (Ea=Eh) - Volume de Reservatório	Demanda Atendida (para Ea=Eh)	Eficiência (Dac/Dt) - Demandas Totais					Coeficiente de Retorno Corrigido - Demandas Totais				
m2/hab	m3/hab.ano	m3/hab.dia	1 m³ reserv/hab		0,12	0,15	0,18	0,2365	0,25	0,12	0,15	0,18	0,2365	0,25
40,0	47,50	0,13	0,47	0,0611	0,5092	0,4073	0,3394	0,2584	0,2444	1,63	1,35	1,21	1,08	1,06
45,0	53,44	0,146	0,45	0,0657	0,5475	0,4380	0,3650	0,2778	0,2628	1,77	1,42	1,26	1,11	1,09
50,0	59,40	0,162	0,44	0,07128	0,5940	0,4752	0,3960	0,3014	0,2851	1,97	1,52	1,32	1,15	1,12
55,0	65,31	0,178	0,43	0,07654	0,6378	0,5103	0,4252	0,3236	0,3062	2,21	1,63	1,39	1,18	1,15
60,0	71,25	0,195	0,42	0,0819	0,6825	0,5460	0,4550	0,3463	0,3276	2,52	1,76	1,47	1,22	1,19
65,0	77,19	0,21	0,41	0,0861	0,7175	0,5740	0,4783	0,3641	0,3444	2,83	1,88	1,53	1,26	1,22
70,0	83,13	0,227	0,4	0,0908	0,7567	0,6053	0,5044	0,3839	0,3632	3,29	2,03	1,61	1,30	1,26
75,0	89,06	0,244	0,4	0,0976	0,8133	0,6507	0,5422	0,4127	0,3904	4,29	2,29	1,75	1,36	1,31
80,0	95,00	0,26	0,39	0,1014	0,8450	0,6760	0,5633	0,4288	0,4056	5,16	2,47	1,83	1,40	1,35
85,0	100,94	0,276	0,39	0,10764	0,8970	0,7176	0,5980	0,4551	0,4306	7,77	2,83	1,99	1,47	1,40
90,0	106,80	0,292	0,38	0,11096	0,9247	0,7397	0,6164	0,4692	0,4438	10,62	3,07	2,09	1,51	1,44
95,0	112,81	0,31	0,38	0,1178	0,9817	0,7853	0,6544	0,4981	0,4712	43,64	3,73	2,32	1,59	1,51
100,0	118,75	0,32	0,38	0,1216	0,9990	0,8107	0,6756	0,5142	0,4864	800,00	4,23	2,47	1,65	1,56
120,0	142,50	0,39	0,35	0,1365	0,9990	0,9100	0,7583	0,5772	0,5460	800,00	8,89	3,31	1,89	1,76
150,0	178,30	0,488	0,35	0,1708	0,9990	0,9990	0,9489	0,7222	0,6832	800,00	800,00	15,65	2,88	2,53
200,0	237,50	0,65	0,31	0,2015	0,9990	0,9990	0,9990	0,8520	0,8060	800,00	800,00	800,00	5,41	4,12
250,0	296,88	0,81	0,31	0,2511	0,9990	0,9990	0,9990	0,9990	0,9990	800,00	800,00	800,00	800,00	800,00
300,0	356,26	0,97	0,31	0,3007	0,9990	0,9990	0,9990	0,9990	0,9990	800,00	800,00	800,00	800,00	800,00

Eficiência e Coeficiente de Retorno Corrigido para 2 m³ de reservatório por habitante.

Área de Telhado	Disponibilidade	Consumo ótima (Ea=Eh)	Eficiência (Ea=Eh) - Volume de Reservatório	Demanda Atendida (para Ea=Eh)	Eficiência (Dac/Dt) - Demandas Totais	Eficiência (Dac/Dt) - Demandas Totais	Eficiência (Dac/Dt) - Demandas Totais	Eficiência (Dac/Dt) - Demandas Totais	Eficiência (Dac/Dt) - Demandas Totais	Eficiência (Dac/Dt) - Demandas Totais	Eficiência (Dac/Dt) - Demandas Totais	Eficiência (Dac/Dt) - Demandas Totais	Eficiência (Dac/Dt) - Demandas Totais	Eficiência (Dac/Dt) - Demandas Totais	Eficiência (Dac/Dt) - Demandas Totais
m2/hab	m3/hab.ano	m3/hab.dia	2 m³/hab		0,12	0,15	0,18	0,2365	0,25	0,12	0,15	0,18	0,2365	0,25	
4,0	4,75	0,013	0,87	0,01131	0,0943	0,0754	0,0628	0,0478	0,0452	0,88	0,87	0,85	0,84	0,84	
6,0	7,13	0,019	0,82	0,01558	0,1298	0,1039	0,0866	0,0659	0,0623	0,92	0,89	0,88	0,86	0,85	
8,0	9,50	0,026	0,75	0,0195	0,1625	0,1300	0,1083	0,0825	0,0780	0,96	0,92	0,90	0,87	0,87	
9,0	10,70	0,029	0,72	0,02088	0,1740	0,1392	0,1160	0,0883	0,0835	0,97	0,93	0,90	0,88	0,87	
10,0	11,90	0,032	0,71	0,02272	0,1893	0,1515	0,1262	0,0961	0,0909	0,99	0,94	0,92	0,89	0,88	
12,0	14,25	0,039	0,68	0,02652	0,2210	0,1768	0,1473	0,1121	0,1061	1,03	0,97	0,94	0,90	0,89	
13,0	15,44	0,042	0,67	0,02814	0,2345	0,1876	0,1563	0,1190	0,1126	1,05	0,98	0,95	0,91	0,90	
14,0	16,63	0,045	0,66	0,0297	0,2475	0,1980	0,1650	0,1256	0,1188	1,06	1,00	0,96	0,91	0,91	
15,0	17,81	0,048	0,65	0,0312	0,2600	0,2080	0,1733	0,1319	0,1248	1,08	1,01	0,97	0,92	0,91	
18,0	21,38	0,058	0,63	0,03654	0,3045	0,2436	0,2030	0,1545	0,1462	1,15	1,06	1,00	0,95	0,94	
20,0	23,73	0,065	0,63	0,04095	0,3413	0,2730	0,2275	0,1732	0,1638	1,21	1,10	1,04	0,97	0,96	
22,0	26,13	0,071	0,61	0,04331	0,3609	0,2887	0,2406	0,1831	0,1732	1,25	1,12	1,05	0,98	0,97	
25,0	29,70	0,081	0,61	0,04941	0,4118	0,3294	0,2745	0,2089	0,1976	1,36	1,19	1,10	1,01	1,00	
26,0	30,88	0,084	0,6	0,0504	0,4200	0,3360	0,2800	0,2131	0,2016	1,38	1,20	1,11	1,02	1,00	
28,0	32,25	0,091	0,6	0,0546	0,4550	0,3640	0,3033	0,2309	0,2184	1,47	1,26	1,15	1,04	1,02	
30,0	35,63	0,097	0,59	0,05723	0,4769	0,3815	0,3179	0,2420	0,2289	1,53	1,29	1,17	1,06	1,04	
32,0	38,00	0,104	0,59	0,06136	0,5113	0,4091	0,3409	0,2595	0,2454	1,64	1,35	1,21	1,08	1,06	
35,0	41,56	0,113	0,57	0,06441	0,5368	0,4294	0,3578	0,2723	0,2576	1,73	1,40	1,25	1,10	1,08	

Eficiência e Coeficiente de Retorno Corrigido para 2 m³ de reservatório por habitante.

Área de Telhado	Disponibilidade	Consumo ótima (Ea=Eh)	Eficiência (Ea=Eh) - Volume de Reservatório	Demanda Atendida (para Ea=Eh)	Eficiência (Dac/Dt) - (m³/hab.dia)	Demandas Totais	Coeficiente de Retorno Corrigido - Demandas Totais								
m2/hab	m3/hab.ano	m3/hab.dia	2 m³ reserv/hab		0,12	0,15	0,18	0,2365	0,25	0,12	0,15	0,18	0,2365	0,25	
40,0	47,50	0,13	0,56	0,0728	0,6067	0,4853	0,4044	0,3078	0,2912	2,03	1,55	1,34	1,16	1,13	
45,0	53,44	0,146	0,54	0,07884	0,6570	0,5256	0,4380	0,3334	0,3154	2,33	1,69	1,42	1,20	1,17	
50,0	59,40	0,162	0,53	0,08586	0,7155	0,5724	0,4770	0,3630	0,3434	2,81	1,87	1,53	1,26	1,22	
55,0	65,31	0,178	0,52	0,09256	0,7713	0,6171	0,5142	0,3914	0,3702	3,50	2,09	1,65	1,31	1,27	
60,0	71,25	0,195	0,5	0,0975	0,8125	0,6500	0,5417	0,4123	0,3900	4,27	2,29	1,75	1,36	1,31	
65,0	77,19	0,21	0,5	0,105	0,8750	0,7000	0,5833	0,4440	0,4200	6,40	2,67	1,92	1,44	1,38	
70,0	83,13	0,227	0,49	0,11123	0,9269	0,7415	0,6179	0,4703	0,4449	10,95	3,10	2,09	1,51	1,44	
75,0	89,06	0,244	0,48	0,11712	0,9760	0,7808	0,6507	0,4952	0,4685	33,33	3,65	2,29	1,58	1,51	
80,0	95,00	0,26	0,47	0,1222	0,9990	0,8147	0,6789	0,5167	0,4888	800,00	4,32	2,49	1,66	1,56	
85,0	100,94	0,276	0,46	0,12696	0,9990	0,8464	0,7053	0,5368	0,5078	800,00	5,21	2,71	1,73	1,63	
90,0	106,80	0,292	0,45	0,1314	0,9990	0,8760	0,7300	0,5556	0,5256	800,00	6,45	2,96	1,80	1,69	
95,0	112,81	0,31	0,45	0,1395	0,9990	0,9300	0,7750	0,5899	0,5580	800,00	11,43	3,56	1,95	1,81	
100,0	118,75	0,32	0,44	0,1408	0,9990	0,9387	0,7822	0,5953	0,5632	800,00	13,04	3,67	1,98	1,83	
120,0	142,50	0,39	0,42	0,1638	0,9990	0,9990	0,9100	0,6926	0,6552	800,00	800,00	8,89	2,60	2,32	
150,0	178,30	0,488	0,4	0,1952	0,9990	0,9990	0,9990	0,8254	0,7808	800,00	800,00	800,00	4,58	3,65	
200,0	237,50	0,65	0,38	0,247	0,9990	0,9990	0,9990	0,9990	0,9880	800,00	800,00	800,00	800,00	66,67	
250,0	296,88	0,81	0,35	0,2835	0,9990	0,9990	0,9990	0,9990	0,9990	800,00	800,00	800,00	800,00	800,00	
300,0	356,26	0,97	0,35	0,3395	0,9990	0,9990	0,9990	0,9990	0,9990	800,00	800,00	800,00	800,00	800,00	

Eficiência e Coeficiente de Retorno Corrigido para 3 m³ de reservatório por habitante.

Área de Telhado	Disponibilidade	Consumo ótima (Ea=Eh)	Eficiência (Ea=Eh) - Volume de Reservatório	Demanda Atendida (para Ea=Eh)	Eficiência (Dac/Dt) - Demandas Totais (m³/hab.dia)					Coeficiente de Retorno Corrigido - Demandas Totais				
m2/hab	m3/hab.ano	m3/hab.dia	3 m³ reserv/hab		0,12	0,15	0,18	0,2365	0,25	0,12	0,15	0,18	0,2365	0,25
4,0	4,75	0,013	0,87	0,01131	0,0943	0,0754	0,0628	0,0478	0,0452	0,88	0,87	0,85	0,84	0,84
6,0	7,13	0,019	0,87	0,01653	0,1378	0,1102	0,0918	0,0699	0,0661	0,93	0,90	0,88	0,86	0,86
8,0	9,50	0,026	0,85	0,0221	0,1842	0,1473	0,1228	0,0934	0,0884	0,98	0,94	0,91	0,88	0,88
9,0	10,70	0,029	0,82	0,02378	0,1982	0,1585	0,1321	0,1005	0,0951	1,00	0,95	0,92	0,89	0,88
10,0	11,90	0,032	0,79	0,02528	0,2107	0,1685	0,1404	0,1069	0,1011	1,01	0,96	0,93	0,90	0,89
12,0	14,25	0,039	0,75	0,02925	0,2438	0,1950	0,1625	0,1237	0,1170	1,06	0,99	0,96	0,91	0,91
13,0	15,44	0,042	0,73	0,03066	0,2555	0,2044	0,1703	0,1296	0,1226	1,07	1,01	0,96	0,92	0,91
14,0	16,63	0,045	0,72	0,0324	0,2700	0,2160	0,1800	0,1370	0,1296	1,10	1,02	0,98	0,93	0,92
15,0	17,81	0,048	0,71	0,03408	0,2840	0,2272	0,1893	0,1441	0,1363	1,12	1,04	0,99	0,93	0,93
18,0	21,38	0,058	0,68	0,03944	0,3287	0,2629	0,2191	0,1668	0,1578	1,19	1,09	1,02	0,96	0,95
20,0	23,73	0,065	0,67	0,04355	0,3629	0,2903	0,2419	0,1841	0,1742	1,26	1,13	1,06	0,98	0,97
22,0	26,13	0,071	0,66	0,04686	0,3905	0,3124	0,2603	0,1981	0,1874	1,31	1,16	1,08	1,00	0,98
25,0	29,70	0,081	0,64	0,05184	0,4320	0,3456	0,2880	0,2192	0,2074	1,41	1,22	1,12	1,02	1,01
26,0	30,88	0,084	0,64	0,05376	0,4480	0,3584	0,2987	0,2273	0,2150	1,45	1,25	1,14	1,04	1,02
28,0	32,25	0,091	0,63	0,05733	0,4778	0,3822	0,3185	0,2424	0,2293	1,53	1,29	1,17	1,06	1,04
30,0	35,63	0,097	0,63	0,06111	0,5093	0,4074	0,3395	0,2584	0,2444	1,63	1,35	1,21	1,08	1,06
32,0	38,00	0,104	0,62	0,06448	0,5373	0,4299	0,3582	0,2726	0,2579	1,73	1,40	1,25	1,10	1,08
35,0	41,56	0,113	0,61	0,06893	0,5744	0,4595	0,3829	0,2915	0,2757	1,88	1,48	1,30	1,13	1,10

Eficiência e Coeficiente de Retorno Corrigido para 3 m³ de reservatório por habitante.														
Área de Telhado	Disponibilidade	Consumo ótima (Ea=Eh)	Eficiência (Ea=Eh) - Volume de Reservatório	Demanda Atendida (para Ea=Eh)	Eficiência (Dac/Dt) - Demandas Totais (m³/hab.dia)					Coeficiente de Retorno Corrigido - Demandas Totais				
m2/hab	m3/hab.ano	m3/hab.dia	3 m³ reserv/hab		0,12	0,15	0,18	0,2365	0,25	0,12	0,15	0,18	0,2365	0,25
40,0	47,50	0,13	0,6	0,078	0,6500	0,5200	0,4333	0,3298	0,3120	2,29	1,67	1,41	1,19	1,16
45,0	53,44	0,146	0,59	0,08614	0,7178	0,5743	0,4786	0,3642	0,3446	2,84	1,88	1,53	1,26	1,22
50,0	59,40	0,162	0,58	0,09396	0,7830	0,6264	0,5220	0,3973	0,3758	3,69	2,14	1,67	1,33	1,28
55,0	65,31	0,178	0,57	0,10146	0,8455	0,6764	0,5637	0,4290	0,4058	5,18	2,47	1,83	1,40	1,35
60,0	71,25	0,195	0,56	0,1092	0,9100	0,7280	0,6067	0,4617	0,4368	8,89	2,94	2,03	1,49	1,42
65,0	77,19	0,21	0,55	0,1155	0,9625	0,7700	0,6417	0,4884	0,4620	21,33	3,48	2,23	1,56	1,49
70,0	83,13	0,227	0,54	0,12258	0,9990	0,8172	0,6810	0,5183	0,4903	800,00	4,38	2,51	1,66	1,57
75,0	89,06	0,244	0,53	0,12932	0,9990	0,8621	0,7184	0,5468	0,5173	800,00	5,80	2,84	1,77	1,66
80,0	95,00	0,26	0,52	0,1352	0,9990	0,9013	0,7511	0,5717	0,5408	800,00	8,11	3,21	1,87	1,74
85,0	100,94	0,276	0,52	0,14352	0,9990	0,9568	0,7973	0,6068	0,5741	800,00	18,52	3,95	2,03	1,88
90,0	106,80	0,292	0,5	0,146	0,9990	0,9733	0,8111	0,6173	0,5840	800,00	30,00	4,24	2,09	1,92
95,0	112,81	0,31	0,5	0,155	0,9990	0,9990	0,8611	0,6554	0,6200	800,00	800,00	5,76	2,32	2,11
100,0	118,75	0,32	0,49	0,1568	0,9990	0,9990	0,8711	0,6630	0,6272	800,00	800,00	6,21	2,37	2,15
120,0	142,50	0,39	0,47	0,1833	0,9990	0,9990	0,9990	0,7751	0,7332	800,00	800,00	800,00	3,56	3,00
150,0	178,30	0,488	0,44	0,21472	0,9990	0,9990	0,9990	0,9079	0,8589	800,00	800,00	800,00	8,69	5,67
200,0	237,50	0,65	0,41	0,2665	0,9990	0,9990	0,9990	0,9990	0,9990	800,00	800,00	800,00	800,00	800,00
250,0	296,88	0,81	0,39	0,3159	0,9990	0,9990	0,9990	0,9990	0,9990	800,00	800,00	800,00	800,00	800,00
300,0	356,26	0,97	0,38	0,3686	0,9990	0,9990	0,9990	0,9990	0,9990	800,00	800,00	800,00	800,00	800,00

Eficiência e Coeficiente de Retorno Corrigido para Área Média *per capita* de telhado para Rio Claro – SP (37,25 m²/hab).

Volume de Reservatório m³reserv/hab	Disponibilidade m ³ /hab.ano	Consumo Ótima (Ea=Eh) m ³ /hab.dia	Eficiência (Ea=Eh)	Demanda Atendida (para Ea=Eh)	Eficiência para diferentes demandas totais					Coeficiente de retorno corrigido				
					Demandas Totais (m ³ /hab.dia)					Demandas Totais (m ³ /hab.dia)				
					0,12	0,15	0,18	0,2365	0,25	0,12	0,15	0,18	0,2365	0,25
0,5	44,24	0,121205	0,40	0,048288	0,402401	0,32192	0,268267	0,204178	0,193152	1,34	1,18	1,09	1,01	0,99
1	44,24	0,121205	0,48	0,05773	0,481083	0,384866	0,320722	0,244101	0,23092	1,54	1,3	1,18	1,06	1,04
2	44,24	0,121205	0,57	0,068566	0,571381	0,457104	0,38092	0,289918	0,274263	1,87	1,47	1,29	1,13	1,1
3	44,24	0,121205	0,61	0,073559	0,612994	0,490395	0,408663	0,311033	0,294237	2,07	1,57	1,35	1,16	1,13
4	44,24	0,121205	0,63	0,076505	0,637538	0,510031	0,425026	0,323487	0,306018	2,21	1,63	1,39	1,18	1,15
5	44,24	0,121205	0,65	0,079232	0,660264	0,528211	0,440176	0,335018	0,316927	2,35	1,7	1,43	1,2	1,17
6	44,24	0,121205	0,68	0,081886	0,682384	0,545907	0,454923	0,346241	0,327544	2,52	1,76	1,47	1,22	1,19
7	44,24	0,121205	0,70	0,084807	0,706726	0,565381	0,471151	0,358593	0,339229	2,73	1,84	1,51	1,25	1,21
8	44,24	0,121205	0,72	0,087413	0,728442	0,582754	0,485628	0,369611	0,349652	2,95	1,92	1,56	1,27	1,23
9	44,24	0,121205	0,75	0,090322	0,752683	0,602146	0,501789	0,381911	0,361288	3,23	2,01	1,61	1,29	1,25
10	44,24	0,121205	0,77	0,092928	0,774399	0,619519	0,516266	0,39293	0,371711	3,55	2,1	1,65	1,32	1,27
12	44,24	0,121205	0,81	0,098249	0,81874	0,654992	0,545827	0,415428	0,392995	4,41	2,32	1,76	1,37	1,32
14	44,24	0,121205	0,86	0,104139	0,867828	0,694262	0,578552	0,440335	0,416557	6,05	2,62	1,9	1,43	1,37
16	44,24	0,121205	0,87	0,105473	0,878938	0,703151	0,585959	0,445973	0,42189	6,61	2,69	1,93	1,44	1,38
18	44,24	0,121205	0,87	0,105473	0,878938	0,703151	0,585959	0,445973	0,42189	6,61	2,69	1,93	1,44	1,38
20	44,24	0,121205	0,87	0,105473	0,878938	0,703151	0,585959	0,445973	0,42189	6,61	2,69	1,93	1,44	1,38

ANEXO

Anexo A

Planta baixa da cidade de Rio Claro - SP fornecida pela SEPLADEMA e localização dos lotes amostrados.

