

CONSIDERAÇÕES SOBRE A APLICAÇÃO DO TELHADO VERDE PARA CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA EM SISTEMAS DE APROVEITAMENTO PARA FINS NÃO POTÁVEIS

César Argentieri Ferreira (1); Rodrigo Braga Moruzzi (2)

(1) Graduando em Engenharia Ambiental na UNESP Campus Rio Claro.

cesarargentieri@superig.com.br

(2) Professor do curso de Engenharia Ambiental ligado ao Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento (DEPLAN) do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP-Campus de Rio Claro). Engenheiro Civil, Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento. Consultor na área de Saneamento. rmoruzzi@rc.unesp.br

RESUMO

Este artigo tece considerações a respeito da conjugação do telhado verde ao sistema de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis. Para tal, parte do pressuposto que os benefícios decorrentes da adoção de uma prática não devem ser excludentes, ou seja, as inúmeras vantagens decorrentes da adoção do telhado verde devem incorporar os benefícios decorrentes da adoção de práticas de aproveitamento de água de chuva. Todavia, alguns cuidados adicionais devem ser tomados no dimensionamento dos telhados verdes como áreas de captação para sistemas de aproveitamento de água de chuva, tais como: tipo de substrato, vegetação e sistema de coleta de água. As considerações apresentadas foram fruto da análise de trabalhos e relatos em diferentes países e apresentam o estado da arte, identificando os principais avanços e lacunas. Assim, o artigo não pretende esgotar o tema e sim apontar os benefícios, limitações e principais cuidados que devem ser tomados na conjugação do telhado verde ao sistema de aproveitamento de água de chuva.

Palavras-Chave: Telhado verde, Aproveitamento de Água de chuva

ABSTRACT

This article makes remarks about the conjugation of the green roof with the rainwater harvesting system for non-potable uses. For this purpose, starts from the hypothesis that a good practice adoption should considered another one, in other words, the countless benefits from green roof adoption should incorporate the ones from the rainwater harvesting system. Nevertheless, some additional cares must be taken on green roofs design as catchment unit to rainwater harvesting, such as: substrate layer composition, vegetation composition and catchment system. The considerations made in this article were consequence on several papers and cases analysis worldwide thus showing a state-of-art, identifying mains advances and challenges. However, to cover all points regarding green roofs was not the article purpose but to point the benefits, the limitation and the main cares that must be taken while adopting green roofs together with rainwater harvesting systems.

Keywords: Green Roof, Rainwater harvesting

1 INTRODUÇÃO

Os benefícios decorrentes da adoção de telhados verdes em áreas urbanas vão dos aspectos de conforto térmico predial e micro-clima local ao controle do escoamento de águas superficiais e são descritos em diversos trabalhos na literatura (BASS et al., 2000; KÖHLER, et al., 2001, LIPTAN, STRECKER, SD; entre outros). A Tabela 1 apresenta comparação entre telhados verde e telhados convencionais relacionando diferentes parâmetros climáticos, hidrológicos, financeiros, entre outros, a partir da experiência da cidade de Portland-EUA.

Tabela 1 - Comparação entre características ambientais do telhado verde e convencional baseadas na experiência de Portland-EUA. Extraído de Liptan e Strecker (SD).

| Assunto | Telhado Verde | Telhado Convencional |
|---|---|---|
| Água de Chuva | | |
| Retenção de Volume | 10-35% durante a época chuvosa, 65-100% durante a época seca | Nenhuma |
| Mitigação da Vazão de Pico | Redução dos picos de escoamento de chuvas intensas | Nenhuma |
| Mitigação da Temperatura | Todas as Chuvas | Nenhuma |
| Melhoria da Qualidade da Água | Retém a deposição atmosférica e retarda a degradação dos materiais que compõem o telhado, menores volumes menor carreamento de poluentes | Não |
| Qualidade do Ar | Filtra o ar, previne o aumento da temperatura, armazena carbono | Nenhuma |
| Conservação de Energia | Isolamento das construções, redução dos impactos das Ilhas de Calor Urbanas | Nenhuma |
| Vegetação | Permite evapotranspiração sazonal, promove a fotossíntese, o oxigênio, o balanço carbono hídrico | Nenhuma |
| Espaço Verde | Realoca espaços verdes perdidos com as edificações, no entanto não equivalente a uma floresta | Nenhuma |
| Bônus no Zoneamento de Área de Piso | 3 ft ² (0,3 m ²) de coeficiente de área de pavimento adicional para cada ft ² (0,09 m ²) de Telhado Ecológico quando a construção cobrir mais de 60% | Nenhuma |
| Redução das Taxas de Drenagem Urbanas | Pode chegar a 45% | Nenhuma |
| Aprovado como medida de Gestão de Água de Chuva | Para todas as necessidades atuais das cidades | Não |
| Habitat | Para insetos e pássaros | Nenhuma |
| Habitabilidade | Amortece ruídos, elimina luzes ofuscantes, alternativa estética, oferece recreação passiva | Nenhuma |
| Custos | Altamente variável entre 54-130 US\$/m ² para novas construções, e 75-215 US\$/m ² para reforma | Altamente variável entre 22-107 US\$/m ² para novas construções, e 43-161 US\$/m ² para reforma |
| Custos Compensáveis | Redução dos equipamentos de água de chuva, economia de energia, aumento do valor do aluguel e da propriedade, redução da necessidade do uso de materiais isolantes, redução do volume de esgoto, criação de indústrias e empregos | Nenhum |
| Durabilidade | Membrana impermeável protegida da ação da temperatura e da exposição solar dura mais de 36 anos | Pouca proteção, exposição aos elementos, dura menos de 20 anos |

Com relação ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, a adoção de sistemas de captação e armazenamento de água de chuva é cada vez mais frequente nas cidades brasileiras, seja pela escassez de água seja por força legal. Recentemente, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), criou uma comissão para elaboração dos critérios para aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em áreas urbanas. Acredita-se que a publicação de tal norma incentivará a adoção e auxiliará na implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva.

Entretanto, a conjugação do telhado verde ao sistema de aproveitamento de água de chuva foi pouco estudada e merece destaque.

O objetivo deste artigo foi apresentar uma síntese dos principais pontos que devem ser observados na conjugação do telhado verde aos sistemas de aproveitamento de água de chuva através da compilação e análise de resultados disponíveis na literatura.

1.1 Breve histórico do aproveitamento de água de chuva

A localização das habitações dos povos na história se deu através da proximidade a corpos d'água, para atender aos anseios básicos de consumo, irrigação e higiene. Entretanto, muitos povos encontraram dificuldades em se estabelecerem em regiões de rios perenes ou longínquas de rios ou lagos e desenvolveram alternativas tais como o uso da água de chuva.

De acordo com Gnadlinger (2000 apud CARLON, 2005), os povos Maya e Asteca desenvolveram sistemas de armazenamento de água de chuva para irrigação de suas plantações e para a estocagem em encostas visando o próprio consumo da população.

Mas essa cultura do uso de água da chuva foi abandonada com as colonizações do novo mundo quando os colonizadores impuseram uma nova concepção de agricultura e alteraram o sistema de acumulação individualizada para o de fornecimento centralizado de água, atualmente utilizado no Brasil e no restante do mundo (CARLON, 2005).

Gnadlinger et al. (sd) reportam a respeito da captação e do armazenamento da água de chuva para uso na agricultura como uma técnica antiga que está sendo resgatada pela necessidade de se reservar água na época de estiagem.

No Brasil, recentemente o Programa 1 Milhão de Cisternas (P1MC) associado ao Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2), resgata esta alternativa às regiões do semi-árido, com baixa disponibilidade de água para irrigação de lavouras. O programa, que conta com recursos financeiros do governo brasileiro, envolve a captação e o armazenamento de água de chuva em cisternas visando suprir demandas da pecuária e da agricultura, principalmente na época da estiagem.

Vale lembrar que, embora rica em água subterrânea, May (2004) afirma que cerca de 80% do subsolo das regiões semi-áridas do país são de formação cristalina, caracterizada por um lençol freático não adequado. Gnadlinger (sd) explana que essas águas subterrâneas são quase sempre salinas e ocorrem em frestas entre as rochas, apresentando um volume potencialmente aproveitável muito baixo.

Gnadlinger et al. (sd) avalia o P1MC como uma alternativa de desenvolvimento sustentável para a região e enaltece que a proposta visa combater a escassez de água, ampliar a compreensão e a prática de convivência sustentável com o semi-árido e a valorização da água como direito de vida, minimizando os problemas de saúde e eliminando os casos de doença por veiculação hídrica.

Ademais, mesmo nas demais regiões do país, onde a realidade atual confere à maioria da população acesso à água tratada e de qualidade, existem alguns centros urbanos, principalmente aqueles em regiões densamente povoadas, que vivenciam situações de escassez qualitativa e quantitativa do recurso, justificando a investigação de fontes alternativas de suprimento.

1.2 Breve histórico da utilização do telhado verde

O telhado verde foi primeiramente concebido com um objetivo estético. Estima-se que o Jardim Suspenso da Babilônia é o registro mais antigo da implantação de vegetação acima das construções.

A tecnologia do telhado verde como um instrumento funcional para a civilização tem sua origem em diferentes regiões do mundo. Na Escandinávia, os telhados eram cobertos com uma mistura de terra e grama como forma de isolamento térmico. Abaixo dessa camada eram colocadas pesadas vigas de madeira intercaladas com cascas de árvores para a impermeabilização do telhado (RODRIGUEZ, 2006).

Nos anos 70, organizações privadas juntamente com universidades e centros de pesquisa começaram a desenvolver na Alemanha estudos envolvendo o telhado verde e suas aplicações, desenvolvimento de habitats ecológicos em áreas urbanas, balanço energético, sistemas de drenagem e impermeabilização, planejamento e dimensionamento.

Essas pesquisas contribuíram para o entendimento do telhado verde como uma importante ferramenta para o desenvolvimento sustentável em áreas urbanas. A partir do final dos anos 70, pesquisas direcionadas à esses anseios começaram a ser publicadas em maior número na Europa, principalmente na Alemanha, uma das principais fontes de bibliografia sobre o assunto.

Atualmente, grande parte das pesquisas desenvolvidas que exploram as características do telhado verde visam quantificar a atuação do telhado verde na diminuição do escoamento superficial da água de chuva e no combate às ilhas de calor urbanas (EPA).

A EPA (Environmental Protection Agency) considera que a principal função do telhado verde é absorver volumes de água de chuva e liberá-los em um ritmo reduzido e controlado. Além disso, a mesma entidade considera o telhado verde como uma importante medida visando o desenvolvimento

sustentável em centros urbanos através da promoção da qualidade do ar e da água e da redução da necessidade de sistemas de aquecimento e refrigeração nas edificações.

No Brasil, a prática do telhado verde ainda é pouco difundida, e a implantação dessa alternativa tem sido pouco explorada para fins hídricos. Segundo Köhler, Schmidt e Laar (2003), as cidades de Rio de Janeiro, Florianópolis e Campina Grande possuem telhados verdes em edifícios que poderiam ser explorados para uma avaliação aprofundada a respeito dos aspectos climáticos.

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo foi apresentar uma síntese dos principais pontos que devem ser observados na conjugação do telhado verde aos sistemas de aproveitamento de água de chuva através da compilação e análise de resultados disponíveis na literatura.

3 CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA ASSOCIAÇÃO DO TELHADO VERDE AO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

A captação da água de chuva é gratuita até o momento, a sua utilização para fins não potáveis é relativamente simples e eficaz, segundo Anecchini (2005), e o seu armazenamento reduz a quantidade de água despejada nos arruamentos no momento do evento de chuva.

O aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas envolve aos seguintes aspectos:

- sociais: economia de recursos com a diminuição do consumo de água das concessionárias, segundo Tomaz (2005), essa economia é estimada em 30%;
- gestão das águas urbanas: fonte alternativa ao abastecimento deste recurso hídrico na época de estiagem, redução do volume de água superficial escoado atuante nos eventos de enchentes e alagamentos, e economia no fornecimento, a quantidade de produtos químicos utilizados e os gastos com o abastecimento são reduzidos (TORDO, 2004)
- ambientais: diminui a exploração intensiva dos recursos hídricos em fontes convencionais (represas, lagos, rios, etc.) passíveis de escassez (CARLON, 2005), promove um uso mais racional da água potável, destinação prioritária à alimentação e à dessedentação, e valoriza o recurso diminuindo a perda de água ao longo de extensos sistemas de distribuição (TORDO, 2004).

Recentemente, projetos de lei em diversas cidades brasileiras exigem a detenção da água de chuva visando à atenuação do pico de vazão de enchente. Com essa ação, o volume precipitado é direcionado às galerias de água pluvial somente após o pico de vazão de escoamento superficial. Apesar das características qualitativas e estratégias diferenciadas que devem ser adotadas na reservação da água de chuva visando à contenção de picos de vazão para drenagem urbana ou visando o aproveitamento para fins não potáveis, pode-se considerar que o volume de água de chuva reservado torna-se disponível e passível de aproveitamento.

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

Alguns sistemas de aproveitamento de água de chuva possuem uma etapa de remoção de sólidos visando melhorar a qualidade da água captada pelo sistema. Sólidos de granulometria elevada (sólidos grosseiros) são removidos através de dispositivos instalados no sistema, tais como peneira, grade, entre outros. Já a remoção de partículas de granulometria menor, que não foram retidas por aqueles dispositivos, é realizada através do descarte dos primeiros milímetros de chuva, definido por Martinson e Thomas (sd) como o volume de água responsável pela lavagem da superfície coletora.

No caso do telhado verde, o descarte dos primeiros milímetros de chuva poderia ser subtraído devido à ação de filtro imposta pela camada de substrato, areia e brita. Fato que encontra respaldo nos resultados obtidos por Köhler e Schmidt (2003), que apresentam a retenção de sólidos grosseiros e, eventualmente, alguns contaminantes com menor tamanho médio de partículas. Além dos mais o

telhado verde funciona como um biofiltro, melhorando consideravelmente a qualidade da água (TOMAZ, 2005). Assim, com a aplicação do telhado verde para captação de água de chuva poderia-se evitar o desperdício decorrente do descarte, aumentar o volume de água passível de aproveitamento e preservar a qualidade da água de chuva captada.

Até o momento não existem padrões de qualidade definidos no Brasil para a utilização de água de chuva para fins não-potáveis, entretanto estes parâmetros serão sugeridos pela ABNT em norma específica a qual se encontra em fase de consulta nacional. Em alguns países, como Alemanha, Austrália, Estados Unidos, entre outros, estudos aferem quanto a essa qualidade e relatam que o sistema conjugado ao telhado verde tem potencial para alcançar esse padrão, viabilizando a associação do telhado verde com o aproveitamento da água de chuva.

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

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

Assim, a problemática da utilização da água de chuva efluente ao telhado verde envolve dois aspectos importantes: o volume de água aproveitável (quantidade) e a sua qualidade.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados dos estudos apresentados nas bibliografias foram selecionados e analisados através da apreciação dos dois aspectos da água de chuva para o seu aproveitamento: a quantidade e a qualidade.

4.1 Quantidade de água de chuva potencialmente aproveitável

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

Robertson et al. (2005) observaram também o caráter temporário da retenção de água de chuva pelo telhado verde. De acordo com os autores, o valor do coeficiente de runoff racional varia de acordo com a intensidade das precipitações (Tabela 2).

Tabela 2 - Variação do coeficiente de runoff em telhados verdes (extraído de Robertson et al. 2005)

| Classificação | Quantidade de Chuva | Coefficiente de Runoff Racional |
|---------------|---------------------|---------------------------------|
| Baixa | < 13 mm | 0,07 |
| Média | 13 mm – 25 mm | 0,13 |
| Alta | 25 mm – 39 mm | 0,25 |
| Muito Alta | > 39 mm | 0,55 |

Estas assertivas induzem à conclusão de que o volume potencialmente aproveitável é consideravelmente menor em sistemas de aproveitamento que utilizam o telhado verde como parte integrante, constituinte da captação.

Entretanto, deve-se considerar a possibilidade do telhado verde não necessitar do descarte dos primeiros milímetros de precipitação. Além disso, as características pluviográficas (dadas pelas curvas

I.D.F.) e os aspectos construtivos dos telhados verdes são determinantes na definição do volume potencialmente aproveitável.

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

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

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

Robertson et al. (2005) estimou que a redução do escoamento superficial varia entre 40% e 80%, em situações extremas de chuva e em condições normais, respectivamente.

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

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

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

No entanto, se os eventos de chuva ocorrem próximos uns dos outros (aumento da frequência) a retenção de água no telhado verde diminui e o volume escoado, passível de ser aproveitado, aumenta. Teemusk e Mander (2007) afirmaram que eventos chuvosos seqüenciais diminuem a capacidade de retenção das camadas do substrato exclusivamente pela sua saturação. Os autores evidenciam tal conclusão comparando eventos chuvosos. Para uma precipitação de 1,9 mm o escoamento efluente do telhado iniciou após uma hora de evento chuvoso. Já para uma precipitação de 18,2 mm o escoamento efluente foi registrado após 20 (vinte) minutos do início do evento chuvoso.

De acordo com Teemusk e Mander (2007), a retenção de águas pluviais de um telhado verde pode chegar a 85,7%. No entanto, no estudo apresentado, parte do volume da água de chuva começou a gotejar após cerca de uma hora do início do evento chuvoso, e perdurou por cerca de 9 (nove) horas. Em contrapartida, em uma seqüência de eventos chuvosos durante 6 (seis) dias, o escoamento efluente iniciou após cerca de 20 (vinte) minutos. O volume efluente escoado foi de 12,1 mm dos 18,2 mm da precipitação, resultando em uma porcentagem passível de aproveitamento de 66,5%.

No estudo comparativo, Teemusk e Mander (2007) evidenciaram que após a terceira hora de evento chuvoso o valor da vazão de escoamento de um telhado verde aproxima-se ao de um telhado

referência (com cobertura convencional - laje), passa de 10 Lmin⁻¹ para 15 Lmin⁻¹, enquanto que a vazão de uma cobertura convencional varia entre 15 e 17 Lmin⁻¹.

Mentes (2005) citou a profundidade do substrato como outro fator determinante da capacidade de retenção de águas pluviais pelo telhado verde. O autor explicou que em períodos quentes, 1 cm de substrato confere 2,5 mm a menos de escoamento fluente. Em estudos comparativos, o autor demonstrou que o escoamento é inversamente proporcional à espessura do substrato. Espessuras menores que 50 mm, entre 50 mm e 150 mm, e maiores que 150 mm apresentam escoamento superficial de 38%, 30% e 20%, respectivamente.

MacMillan (2004) acrescenta concluindo que a capacidade de retenção da água da chuva pelo telhado verde é diretamente afetada pela saturação do substrato, que varia de acordo com o tipo de composto e com as condições climáticas do local.

Considerando o sistema de aproveitamento de água de chuva como um todo, vale salientar que, dependendo do método adotado para o cálculo do volume do reservatório de armazenamento de água de chuva, o dimensionamento não pressupõe a regularização da vazão. Assim, parte da água coletada é descartada em função da capacidade limitada do reservatório. Nessas condições, o sistema conta com uma perda do volume passível de aproveitamento mesmo sem considerar o telhado verde como superfície de captação. Desta forma, ao considerar as perdas referentes ao volume aproveitável inerente a adoção do telhado verde, deve-se considerar também àquelas referentes ao método adotado para o dimensionamento do reservatório.

Além disso, a retenção de água no telhado verde deve ser considerada como um volume necessário à manutenção do telhado verde e não como perda de água, uma vez que esta água não é lançada no sistema de drenagem urbana.

4.2 Qualidade da água de chuva potencialmente armazenável

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

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

Teemusk e Mander (2007) explicaram que os poluentes presentes na água de chuva são acumulados na camada de substrato e liberados quando há a ocorrência de uma chuva intensa. Enquanto as amostras da água de chuva que escoam pelo telhado verde apresentaram substâncias tais como: como sulfatos, cálcio, magnésio, e sais; com concentrações elevadas, devido à presença dessas substâncias no substrato. Outras, tais como fósforo, nitrogênio, DBO e DQO, apresentaram concentrações mais baixas em relação às amostras de água de chuva de um telhado de referência. Através destes resultados pode-se inferir que o grau de lixiviação, medido através das concentrações efluentes ao telhado verde, dependem dos compostos ou substâncias analisadas. Ainda segundo os autores, a concentração de algumas substâncias químicas dependeu da taxa de escoamento de água no substrato (mm/m²).

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

A composição do substrato foi o principal fator apontado por Moran, Hunt e Jennings (2004) como responsável pela baixa qualidade da água que passa pelo telhado verde. Segundo os autores, a baixa qualidade evidenciada no escoamento do telhado verde foi decorrente da lixiviação de componentes

encontrados em elevadas concentrações (nitrogênio e fósforo), e variou de acordo com as características do substrato. Entretanto, essas concentrações tendem a atingir um valor mínimo com o acontecimento de novos eventos chuvosos.

Quanto à capacidade de retenção de poluentes, verificou-se que esta é diretamente proporcional à espessura do substrato. Camadas de substrato de 12 cm mostraram-se mais eficazes na retenção de poluentes por possuírem maior quantidade de matéria orgânica, quando comparadas com camadas de 5 cm (KÖHLER e SCHMIDT, 2003). O Gráfico 1 mostra valores médios da capacidade de retenção de nutrientes e metais pesados em um substrato (areia calcária argilosa) em um período de coleta de dados de três anos. Os autores avaliaram ainda o potencial de retenção de nutrientes e metais pesados com o estabelecimento da vegetação. O Gráfico 2 mostra o incremento da eficiência da retenção de fosfato com o passar dos anos.

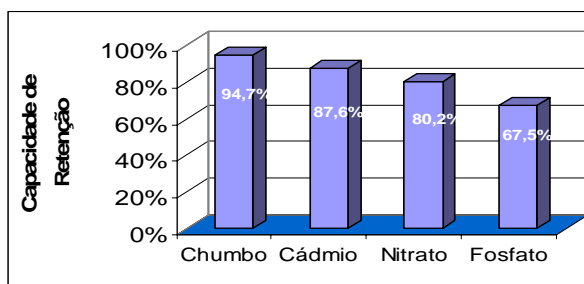


Gráfico 1 - Porcentagem de retenção de contaminantes por telhados verdes extensivos. Adaptado de Köhler e Schmidt, 2003.

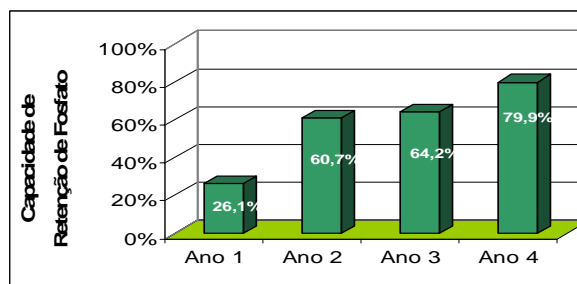


Gráfico 2 - Desenvolvimento da retenção de fosfato após instalação de um telhado verde. Adaptado de Köhler e Schmidt, 2003.

Köhler and Schmidt (2003) apesar de considerarem contraditório, reter e carrear substâncias potencialmente poluidoras, afirmaram que a composição do substrato é um fator determinante na qualidade da água escoada pelo telhado verde. Teemusk e Mander (2007) confirmaram a importância da composição do substrato e recomendaram que pesquisas devem ser direcionadas à determinação dessa e à utilização de substâncias alternativas na manutenção do telhado verde.

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

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante dos resultados apresentados e discutidos no artigo pôde-se concluir que, a adoção do telhado verde como parte constituinte do sistema de aproveitamento de água de chuva demanda análise e cuidados diferenciados daqueles que consideram o telhado convencional como superfície de captação. Parte-se do pressuposto que os benefícios inerentes ao telhado verde devem ser incorporados às práticas de aproveitamento de água de chuva. Entretanto, devem ser observados os aspectos relativos à quantidade e à qualidade da água de chuva. O volume potencialmente aproveitável deve considerar a demanda de água para manutenção do telhado verde e não computá-lo como perda devido à retenção. Nesse sentido, vale lembrar que os sistemas de aproveitamento de água de chuva que utilizam telhados convencionais podem perder grande volume de água nos descartes ou mesmo nos extravasores dos reservatórios de armazenamento, quando a regularização da vazão não é a hipótese norteadora adotada no dimensionamento dos reservatórios, fato este que conduz a grandes volumes de armazenamento. Assim, ao se considerar a retenção da água de chuva no telhado verde como volume aproveitável, e não perda, respalda-se no fato de que esta água não é lançada no sistema de drenagem urbana, como ocorre nos casos de descarte e/ou extravasamento de sistemas de aproveitamento de água de chuva com telhados convencionais.

Com relação aos aspectos qualitativos, os resultados demonstraram que o telhado verde pode tanto reter quanto carrear poluentes, e que a composição do substrato, vazão do escoamento, tipo de

cobertura vegetal e tempo de estabelecimento da vegetação, são fatores determinantes no comportamento desse balanço.

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

A análise dos resultados apresentados permite avaliar que o telhado verde pode ser conjugado a um sistema de aproveitamento de água de chuva desde que observados os seguintes aspectos:

Relativos ao volume passível de ser captado (quantidade):

- profundidade do substrato;
- capacidade de evapotranspiração da vegetação;
- intervalo e quantidade de chuvas;
- área de captação.

Relativos à qualidade da água passível de ser captada:

- composição do substrato;
- vazão do escoamento;
- tipo de vegetação;
- tempo de estabelecimento da vegetação.

Com base nas lacunas identificadas recomenda-se que:

- o tempo de retenção das águas pluviais no telhado verde seja investigado para diferentes espessuras e composições de substratos bem como para diferentes IDF de chuvas.
- a composição e a espessura do substrato, bem como o tipo de vegetação, devem ser investigados visando um maior entendimento dos aspectos que determinam a retenção e o carreamento de diferentes poluentes.

6 REFERÊNCIAS

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

ANNECCHINI, K. P. V. **Aproveitamento da Água de Chuva Para Fins Não Potáveis na Região Metropolitana de Vitória (ES)**. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

BASS, B. et al. **Mitigating the Urban Heat Island with Green Roof Infrastructure**. Department of Earth and Oceans Sciences. University of British Columbia. 2000. Disponível em: <http://www.cleanairpartnership.org/cooltoronto/pdf/finalpaper_bass.pdf> Acesso em 10 out. 2006.

CARLON, M. R. **Percepção dos Atores Sociais Quanto às Alternativas de Implantação de Sistemas de Captação e Aproveitamento de Água de Chuva em Joinville – SC**. 202f. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, Santa Catarina. Disponível em: <<http://www.crbio3.org.br/bancoimg/060321222148DissertacaomarciaCarlton.pdf>> Acesso em 20 set. 2006.

CUNHA, A. P. S. R. **Experimento Hidrológico para Aproveitamento de Águas de Chuva Usando Coberturas Verdes Leves (CVL)**. Processo FAPESP: 03/06580-7. Universidade de São Paulo (USP). Escola de Engenharia de São Carlos – EESC. Departamento de Hidráulica e Saneamento - SHS. Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas. São Carlos, 2004. Disponível em: <<http://www.shs.eesc.usp.br/laboratorios/hidraulica/..%5C..%5Cpessoal%5Cdocentes%5Ctechnotes%5C31%5CAra-FAPESP-2004-Relat-final.pdf>> Acesso em: 10 out. 2006.

GNADLINGER, J. et al. **Tecnologias de Captação e Manejo de Água de Chuva para o Semi-Árido Brasileiro**, sd. Disponível em: <<http://www.abcmac.org.br/>> Acesso em 25 out. 2006.

GNADLINGER, J. **Captação e Manejo de Água de Chuva e Desenvolvimento Sustentável do Semi-Árido Brasileiro – Uma Visão Integrada**, sd. Disponível em: <<http://www.aguadechuva.hpg.ig.com.br/4simposio/trabalhos/041-%202003%20Captacao.pdf>> Acesso em 24 mai. 2007.

- KÖHLER, M. et al. **Urban Water Retention by Greened Roofs in Temperate and Tropical Climate.** Technology Resource Management & Development – Scientific Contributions for Sustainable Development, vol.2. p.151 - 162. In: 38th IFLA (Internacional Federation of Landscape Architects) World Congress. Singapore 2001. Disponível em: <http://www.tt.fh-koeln.de/publications/ittpub301202_10.pdf> Acesso em 10 out. 2006.
- KÖHLER, M., SCHMIDT, M. **Study of a Extensive “Green Roofs” in Berlin. Part III: Retention of Contaminants.** Berlin, 2003. Disponível em: <<http://www.roofmeadow.com/Water%20Quality%20Benefits.pdf>> Acesso em 10 out. 2006.
- KÖHLER, M., SCHMIDT, M., SICKERMANN, J. **Greened Roofs and the Technique of Water Harvesting; a Synergistic Combination,** sd. Disponível em: <<http://www.aguadechuva.hpg.ig.com.br/3simposio/pdf/062-2001%20.pdf>> Acesso em 14 out. 2006.
- MacMILLAN, M. **York University Rooftop Garden Stormwater Quantity and Quality Performance Monitoring Report,** 2004. Disponível em: <http://www.epa.gov/region8/greenroof/documents/3.4_Macmillan-monitoring.pdf> Acesso em 11 jun. 2007.
- MARTISON, B. e THOMAS, T. **Quantifying the First-flush Phenomenon.** Development Technology Unit. School of Engineering, University of Warwick, sd. Disponível em: <<http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/dtu/rain/martinson-ff.pdf>> Acesso em 07 mar. 2007.
- MAY, S. **Estudo da Viabilidade do Aproveitamento de Água de Chuva Para Consumo Não Potável em Edificações.** 159f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- MENTES, J. et al. **Green Roofs as a Tool for Solving the Rainwater Runoff Problem in the Urbanized 21st Century?** Department of Land Management, Laboratory for Forest, Nature & Landscape Research. Leuven, Belgium, 2005. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/landurbanplan>> Acesso em 28 fev. 2007.
- MIERZWA et al. [2006?] **Águas Pluviais: Método de Cálculo do Reservatório e Conceitos para um Aproveitamento Adequado.** Disponível em: <www.usp.br/cirra> Acesso em 31 jan. 2007.
- MORAN, A., HUNT, B., JENNINGS, G. **A North Carolina Field Study to Evaluate Greenroof Runoff Quantity, Runoff Quality and Plant Growth,** 2004. Disponível em: <http://www.epa.gov/region8/greenroof/documents/3.4_Hunt-Moran_monitoring.pdf> Acesso em 11 jun 2007.
- ROBERTSON, S. et al. **Stanford University’s Green Dorm Water System Management Project. Stanford, Califórnia,** 2005. Disponível em: <http://sustainability.stanford.edu/greendorm/involvement/coursework/CEE179_exterior_LEPfinalReport.doc> Acesso em 10 out. 2006.
- RODRIGUEZ, R. **The History of Green Roof Technology.** 2006. Disponível em: <http://www.ifenergy.com/50226711/the_history_of_green_roof_technology.php> Acesso em 10 jun. 2007.
- TEEMUSK, A., MANDER, U., **Rainwater Runoff Quantity and Quality Performance from a Greenroof: The Effects of Short-Term Events,** Ecol. Eng. (2007), doi:10.1016/j.ecoleng.2007.01.009. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/ecoleng>> Acesso em 14 mar. 2007.
- TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água de Chuva: Para áreas urbanas e fins não potáveis.** São Paulo: Navegar Editora, 2005. 180p.
- TORDO, O. C. **Caracterização e Avaliação de Águas de Chuva Para Fins Potáveis.** 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2004. Disponível em: <<http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/viewarticle.php?id=57>> Acesso em 02 out. 2006.
- U. S. Environmental Protection Agency (EPA). **Green Roof 1595 Wynkoop Street,** sd. Disponível: <http://www.epa.gov/region8/greenroof/documents/EPAGreenRoof_factsheet.pdf> Acesso em 05 jun. 2007.

7 AGRADecIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao diretor do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Prof. Dr. Sebastião Gomes de Carvalho, da Universidade Estadual Paulista (UNESP) Campus Rio Claro, pela confiança depositada.