

ESTUDO SOBRE MATERIAIS PARA COBERTURAS UTILIZADAS EM SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL RESIDENCIAIS

ASSESS OF MATERIALS USED FOR ROOFING IN RESIDENTIAL RAINWATER HARVESTING SYSTEM

ANA KELLY MARINOSKI RIBEIRO, Dra. | UFSC
DEIVIS LUIS MARINOSKI, Dr. | UFSC

RESUMO

O objetivo deste estudo é analisar quantitativa e qualitativamente materiais de coberturas utilizados em sistemas de aproveitamento de água pluvial residenciais e avaliar a influência destes materiais no dimensionamento do volume ideal do reservatório de acumulação de água pluvial e no potencial de economia de água potável. A análise ocorreu por meio de um estudo de caso realizado para um projeto de uma residência de baixo padrão, localizada em Florianópolis/SC. Foram avaliadas quatro opções de materiais (telhado vegetado, telhas cerâmicas, telhas de concreto e telhas metálicas) para a cobertura da residência. Os resultados do estudo de caso, obtidos com auxílio de simulações computacionais indicaram que sistemas que possuem coberturas com materiais cujos coeficientes de runoff são mais elevados, como telhas de concreto e telhas metálicas, maximizam a captação e aproveitamento de água pluvial. Assim, o material da cobertura influencia no dimensionamento do volume ideal do reservatório de acumulação de água pluvial, e no potencial de economia de água potável. Portanto, constatou-se a importância de analisar os aspectos quantitativos e qualitativos referentes aos materiais da cobertura da edificação antes da implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial, para que possam ser realizadas as melhores escolhas de materiais, visando maximizar o aproveitamento de água pluvial.

PALAVRAS CHAVE: Sistemas de aproveitamento de água pluvial; Materiais para coberturas; Coeficiente de runoff

ABSTRACT

The aim of this study is to analyze quantitatively and qualitatively different roofing materials used in residential rainwater harvesting systems, and to evaluate the influence of these materials on the dimensioning of the ideal rainwater accumulation reservoir and the potential for saving drinking water. In the case study, four roofing material options (vegetated roof, ceramic tiles, concrete tiles and metal tiles) were evaluated to use in a low-standard residential building, located in southern Brazil. The analysis took place through literature search and computer simulations. The results indicated that the quality of rainwater collected is dependent on both the roof material and local environmental conditions. In addition, the roofing material influences the water saving potential and the dimensioning of the rainwater reservoir volume, which is one of the most expensive components of the system. It is concluded that systems that have roofing with materials whose runoff coefficients are higher, such as concrete tiles and metallic tiles, maximize the collection and use of rainwater.

KEY WORDS: Rainwater harvesting systems; Roofing materials; Runoff coefficient



1. INTRODUÇÃO

Dentre os recursos naturais, a água, é hoje o mais ameaçado, tanto devido à escassez como também à qualidade. Este fato ressalta a necessidade da conservação da água, buscando técnicas alternativas e sustentáveis que venham contribuir para seu uso eficiente. Dentre essas técnicas destaca-se o aproveitamento de água pluvial.

O aproveitamento de água pluvial consiste em captar água da chuva na superfície onde essa água escoar, encaminhando-a para um tratamento quando necessário, para um armazenamento e posterior uso, em geral não potável.

Um sistema de aproveitamento de água pluvial de captação pode possibilitar a utilização desta água como um recurso complementar e alternativo, e com isto contribuir para prevenir os impactos decorrentes das adversidades climáticas.

Alta demanda de água potável, altos custos com captação e tratamento, problemas decorrentes da alta taxa de urbanização e impermeabilização do solo fazem com que as técnicas de aproveitamento de água pluvial sejam medidas de gestão de recursos hídricos bastante difundidas em países desenvolvidos. A detenção das águas de chuva coletadas nas coberturas das edificações, residências e indústrias, constitui-se em importante ação no controle de cheias urbanas e na redução de água fornecida pelas empresas de saneamento para consumo humano.

A água de chuva pode ser utilizada em várias atividades com fins não potáveis no setor residencial, industrial e agrícola. No setor residencial, pode-se utilizar água de chuva em descargas de vasos sanitários, lavagem de roupas, sistemas de controle de incêndio, lavagem de automóveis, lavagem de pisos e irrigação de jardins (MAY; PRADO, 2004).

Diferentes benefícios são possíveis de serem alcançados com relação à captação de água pluvial para diferentes partes do mundo. Isto ocorre por razões diversas, que podem incluir desde a existência ou não de outra fonte do recurso, até a expressividade da tarifa, ou a qualidade da água fornecida pela concessionária (MANO; SCHMITT, 2004).

De acordo Dias et al., (2007) o aproveitamento de água pluvial em locais que dispõem de serviços públicos, mas que passam por crises de desabastecimento, desempenha importante papel na complementação da oferta de água.

Além disso, existem vários aspectos positivos no uso de sistemas de aproveitamento de água pluvial, pois estes possibilitam reduzir o consumo de água potável diminuindo os custos de água fornecida pelas companhias de distribuição; possibilitam ainda minimizar riscos de enchentes e preservar o meio ambiente reduzindo a escassez dos recursos hídricos (MAY, 2004).

Várias configurações são possíveis para a constituição de um sistema de aproveitamento de água pluvial. De acordo com a disponibilidade de recursos disponíveis para a implantação de sistemas de aproveitamento de água pluvial associados com a destinação prevista para o uso da água, estes sistemas podem ser dos mais simples aos mais sofisticados tecnologicamente (HERNANDES et al., 2004).

Os componentes e equipamentos empregados em sistemas de aproveitamento de água pluvial variam de acordo com diversos fatores, dentre eles a tipologia e finalidade do sistema, a possibilidade técnica, a viabilidade econômica e aceitação social.

Os elementos constituintes de um sistema de aproveitamento de água pluvial compõem-se dos componentes essenciais e dos acessórios. Os componentes essenciais são aqueles que estão presentes em qualquer tipo de sistema, independente dos recursos necessários para construí-lo. São eles a área de captação (telhado, laje e piso), sistemas de condução de água (calhas, condutores verticais e horizontais) e o reservatório de armazenamento. Podem ainda ser necessários tubulação de recalque, reservatório superior e rede de distribuição (MANO; SCHMITT, 2004).

As coberturas (superfícies de captação) são componentes de sistemas de aproveitamento de água pluvial que possuem grande influência no volume e na qualidade da água da chuva que chega ao reservatório. O material do qual a cobertura é confeccionada pode provocar maior ou menor retenção da água precipitada (GWENZI et al., 2015).

De acordo com Mendez et al., (2011), a qualidade água da chuva coletada a partir do telhado deve ser cuidadosamente examinada, em especial se a água da chuva for destinada para uso doméstico. Por isso, o material de cobertura é uma consideração importante ao projetar um sistema de captação de água da chuva.

A avaliação do potencial quantitativo de sistemas de aproveitamento de água pluvial e da qualidade de escoamento de águas pluviais a partir de vários tipos de telhados é essencial, a fim de estabelecer critérios para o projeto. Ambos os aspectos (quantidade e qualidade) são necessários para selecionar o telhado mais adequado para o aproveitamento de água pluvial.

O objetivo deste estudo é avaliar a influência de diferentes materiais de coberturas no dimensionamento do volume ideal do reservatório de acumulação de água pluvial e no potencial de economia de água potável gerado por um sistema de aproveitamento de água pluvial projetado para uma edificação residencial. Além disso, visa apresentar critérios obtidos na literatura para a seleção do material da cobertura (área de captação de água

pluvial), a fim de verificar qual tipo de material é mais adequado quantitativa e qualitativamente para aplicação em sistemas de aproveitamento de água pluvial residenciais.

2. EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1. Área de captação de água pluvial

A captação de água de chuva pode ser realizada em diversas áreas das edificações, como coberturas, telhados, lajes de concreto, varandas, telhados vegetados, diretamente do solo, principalmente em encostas e de preferência áreas gramadas ou com vegetação similar, pavimentos (estradas, estacionamentos, pátios). No entanto, recomenda-se dar preferência para áreas mais limpas, como telhados e coberturas, que não sejam destinadas para o trânsito de pessoas ou animais e que estejam acima do local onde será instalado o reservatório de armazenamento, para sua alimentação ser por gravidade (ANDRADE et al., 2010).

Segundo a Norma Brasileira NBR 15527 (ABNT, 2007) área de captação é a área, em metros quadrados, da superfície impermeável da cobertura onde a água é captada, projetada na horizontal.

Deste modo, a maioria dos sistemas de aproveitamento de água de chuva residenciais utiliza como áreas de captação os telhados, pois frequentemente a água captada nas coberturas é considerada não poluída, ou, pelo menos, apresenta padrões de qualidade relativamente melhores em comparação com a água da chuva captada em outras superfícies (MENDEZ et al., 2011).

A captação de água de chuva nos telhados é simples e muito utilizada. A estrutura de captação já se encontra implantada nas edificações, o que facilita a implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva.

Tomaz (2003) afirma que geralmente a captação de água pluvial é feita nos telhados, podendo ser os mesmos edificados de telhas de cerâmica, telhas de zinco, telhas de ferro galvanizado, telhas de ardósia, podendo estar inclinados, pouco inclinados ou planos. As coberturas também podem ser de telhas de concreto, fibrocimento, polícarbonato, fibra de vidro, fibra vegetal, entre outros tipos.

De acordo com Andrade et al. (2010), os materiais das áreas de captação não devem apresentar toxicidade e substâncias que comprometam a qualidade da água. Por exemplo, devem ser evitados telhados de amianto, com pintura a base de metais pesados. Quando utilizadas telhas cerâmicas, caso a limpeza destas telhas seja realizada com jatos de água, deve-se evitar a utilização de ácido ou outro reagente nocivo, e o efluente desta operação de limpeza, quando realizada, deve ser descartado. Deve-se

ainda evitar coberturas com chumbo, cromo e zinco, entre outros materiais que possam causar efeitos nocivos à saúde ou ao meio ambiente.

Além disso, em telhados para captação de água de chuva as calhas e condutores devem ser fabricados com materiais inertes, como PVC ou outros tipos de plásticos, evitando assim, que partículas tóxicas provenientes destes dispositivos venham a ser levadas para os reservatórios de armazenagem (MACOMBER, 2001).

Outro aspecto importante referente à área de captação de água pluvial a ser avaliado é a eficiência do material adotado para o telhado, pois o volume de água captado é um fator que depende da eficiência do escoamento superficial da área de captação. Assim, devem ser adotados materiais para coberturas que apresentem coeficientes de runoff (coeficiente de escoamento superficial) que maximizem o aproveitamento de água pluvial.

2.2. Coeficiente de runoff

Os materiais utilizados nas áreas de captação de água de chuva apresentam diferentes valores do coeficiente de runoff, também chamado de coeficiente de escoamento superficial.

O coeficiente de runoff é um valor adimensional que estima a parcela de chuva que se torna o escoamento, tendo em conta as perdas existentes (FARRENY et al., 2011).

Silva et al. (1984) definem o coeficiente de escoamento superficial como sendo a relação existente entre o volume escoado e o volume precipitado. Esse coeficiente varia com a duração da chuva, com sua intensidade e com as condições físicas da área de captação.

Outros autores referem-se ao coeficiente de runoff como coeficiente de aproveitamento de água pluvial, ou seja, um indicador do volume de água de chuva realmente aproveitável (ANDRADE et al., 2010; GHISI et al., 2009).

De acordo com Tomaz (2003), a diferença entre o volume de água que escoou superficialmente e o volume total de água precipitada é referente às perdas, devido à limpeza do telhado, perda por evaporação, perdas na autolimpeza e outras.

O coeficiente de runoff de uma cobertura está diretamente relacionado ao material do qual esta é constituída. Em telhados mais porosos, as perdas são maiores e o coeficiente será menor, o contrário ocorre em telhados menos porosos.

A textura dos diferentes materiais de telhado causa diferente retenção, comportamento de escoamento e diferentes processos de intemperismo. Portanto, cada telhado tem o seu volume de escoamento característico, principalmente explicado por sua inclinação e pela rugosidade dos materiais (FARRENY et al., 2011).

O coeficiente de runoff deve ser adotado com critério, pois dele depende a correta estimativa do volume ideal do reservatório de acumulação e também a estimativa do potencial de economia de água potável.

Diversos autores da literatura nacional e internacional sugerem valores de coeficiente de runoff em função do tipo de material da superfície de cobertura, conforme apresenta a Tabela 01.

Material da cobertura	Coeficiente de runoff	Fonte
Telhados verdes	0,27	Khan (2001)
	0,20	Thomas e Martinson (2007)
Cerâmico	0,56	Khan (2001)
	0,75 – 0,95	Pruski et al., (2004)
	0,80 – 0,90	Hofkes e Frasier (1996)
Metálico	0,81 – 0,84	Liaw and Tsai (2004)
	0,80 – 0,85	UNEP (2004)
	0,95	Lancaster (2006)
	0,90 – 0,95	Wilken (1978)
Cimento	0,62 – 0,69	UNEP (2004)
	0,81	Liaw and Tsai (2004)
Alumínio	0,70	Ward et al. (2010)
Plástico	0,94	Khan (2001)
Concreto asfáltico	0,90	Lancaster (2006)
Aço galvanizado	> 0,90	Thomas e Martinson (2007)

Tabela 01 - Coeficientes de runoff em função do tipo de material da superfície de cobertura.
Fonte: Adaptado de Farreny et al. (2011); May (2004); Hangemann (2009), Tomaz (2003).

Da análise da Tabela 1, nota-se que os valores de coeficiente de runoff em função do tipo de material da cobertura encontram-se dentro de uma faixa de 0,20 a 0,95. Esta ampla gama de valores de coeficiente de runoff para um mesmo material resulta da interação de muitos fatores, tanto climáticas (quantidade e intensidade da chuva, a umidade antecedente, os ventos predominantes) e arquitetura (inclinação, material do telhado, vazamentos, infiltração e rugosidade do material).

Na Espanha, Farreny et al. (2011) avaliaram três telhados inclinados compostos por diferentes materiais (telhas cerâmicas, telhas metálicas e telhas de policarbonato), e um telhado plano de cascalho. Os autores estimaram o volume de escoamento e captação inicial de cada telhado. Grandes diferenças no coeficiente de runoff foram observadas, dependendo principalmente da inclinação e da rugosidade do telhado. Verificou-se que telhados inclinados lisos (coeficiente de runoff > 0,90) podem captar até cerca de 50% a mais água da chuva que telhados planos

brutos (coeficiente de runoff = 0,62). Os valores mais altos de coeficiente de runoff (correspondentes a telhados inclinados lisos) são preferíveis para utilização em sistemas de aproveitamento de água pluvial a fim de maximizar a quantidade de água da chuva captada.

Boulomytis (2007) apresentou algumas considerações importantes sobre eficiência de telhas metálicas e cerâmicas em relação ao aproveitamento de água pluvial. De acordo com o autor, as telhas cerâmicas são mais permeáveis do que as telhas metálicas, dessa maneira, sistemas que apresentam telhas cerâmicas na área de captação reservam um volume de água inferior aos que possuem telhas metálicas, para uma mesma precipitação. Além disso, o escoamento das águas pluviais sobre a cobertura de telhas cerâmicas pode superar a resistência à abrasão do material e transportar sedimentos para o reservatório, tanto das partículas de sujeira depositadas superficialmente, quanto do próprio material cerâmico.

Cavalcanti (2010) testou a eficiência de diferentes áreas de captação, visando obtenção de resultados que indiquem qual a área mais adequada para ser utilizada no semiárido brasileiro. Foram avaliados quatro tipos de área de captação: cobertura de argamassa de cimento e areia, cobertura de telha de cerâmica, cobertura de telha de fibrocimento, e cobertura de polietileno. Os resultados indicaram que os maiores coeficientes de escoamento superficial ocorreram nas áreas com cobertura de telhas de fibrocimento e lona plástica de polietileno. Observou-se também que para as chuvas de baixa intensidade, a área de captação de argamassa e a área com telhas cerâmicas absorvem mais água do que as demais áreas, ocasionando desta forma um retardo no escoamento da chuva. Porém, um aumento na intensidade da chuva reduz as diferenças entre o coeficiente de escoamento superficial dos diferentes tipos de áreas de captação. A Figura 01 apresenta as quatro áreas de captação analisadas.

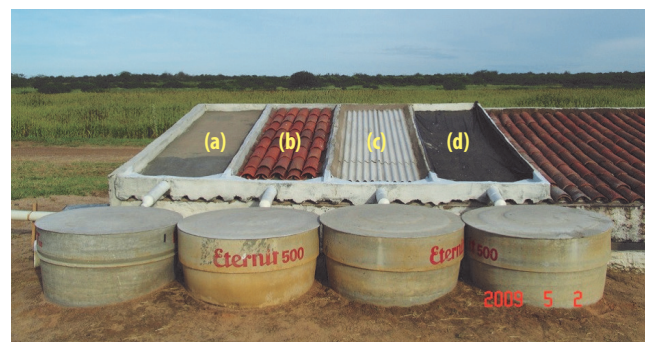


Figura 01 - Áreas de captação analisadas (a) argamassa de cimento e areia; (b) telhas cerâmicas; (c) telha de fibrocimento e (d) lona plástica de polietileno.
Fonte: Adaptado de Cavalcanti (2010).

2.3 Qualidade da água pluvial

O uso da água pluvial requer controle da qualidade da água fornecida ao usuário. É preciso caracterizar o uso para o qual a água pluvial será direcionada para então aplicar normas técnicas que limitem os valores dos parâmetros qualitativos e definir o tratamento a que a água deverá ser submetida. Esta etapa é importante para que se protejam os usuários e os componentes do sistema.

A qualidade requerida para a água de chuva depende da finalidade a que se destina. Assim, no caso de utilizar a água de chuva em pontos de consumo para fins potáveis deve-se atender a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). Além disso, as análises da composição física, química e bacteriológica da água pluvial devem ser elaboradas para verificar a necessidade de tratamento, diminuindo riscos à saúde de seus usuários conforme preconiza a NBR 15527 (ABNT, 2007).

Existem vários parâmetros que podem influenciar na qualidade da água de chuva, como a qualidade do ar da região onde será realizada a coleta, o tipo de material da superfície de captação, a limpeza dessa superfície, da calha, da tubulação que transporta a água até o reservatório e do próprio reservatório, bem como os cuidados dos moradores com a manutenção do sistema e o manuseio da água (LEE et al., 2012; GHAFARIANHOSEINI et al., 2015).

Outro fator que também influencia nas características da água pluvial é número de dias de estiagem. Quanto maior o número de dias sem chuva, mais impurezas encontram-se presentes no telhado e a qualidade da água tende a diminuir.

Além disso, antes de atingir o telhado, a qualidade da água da chuva é influenciada pela presença de poluentes atmosféricos. O pH da água da chuva é regulado principalmente pela presença dos gases CO₂ (gás carbônico), SO₂ (dióxido de enxofre), HNO₃ (ácido nítrico) e NH₃ (amônia) presentes na atmosfera. Após escorrer pela superfície de captação, a água da chuva sofre perda de qualidade, pois acumula sujeira, como poeira de diversas origens, fezes de animais e matéria orgânica originária de folhas e detritos de árvores (ANDRADE et al., 2010).

Além disso, a urbanização associada com um alto nível de atividades econômicas das modernas sociedades em pequenos espaços como as cidades, produz uma alta concentração de poluentes (como metais pesados e diversas substâncias químicas decorrentes da queima de derivados de petróleo), que em contato com a água precipitada, podem contaminá-la. Estes fatos afetam a qualidade da água da chuva para algumas aplicações (MACOMBER, 2001).

Devido perda de qualidade que a água da chuva sofre ao passar pela troposfera e pela área de captação, se faz necessária a utilização de dispositivos de descarte de

sólidos e de desvio de água dos primeiros escoamentos. Os primeiros milímetros de chuva que precipitam sobre os telhados são os mais poluídos e, ao longo do evento chuvoso ocorre melhoria na qualidade dessa água (ANNECCHINI, 2005).

Segundo Brown et al. (2005), o volume do primeiro fluxo de água de chuva a ser descartado varia conforme a quantidade de poeira acumulada na superfície do telhado, que é uma função do número de dias secos, da quantidade e tipo de resíduos, e da estação do ano. Outras variáveis a serem consideradas são a inclinação e as superfícies dos telhados, a intensidade das chuvas e o período de tempo que ocorrem. Além disso, salienta-se que não há nenhum cálculo exato para definir o volume inicial de água pluvial que necessita ser desviado, devido às muitas variáveis que determinam a eficácia da lavagem das áreas de captação.

Dentre os diferentes fatores que podem influenciar na qualidade da água pluvial captada, buscou-se destacar no presente trabalho o tipo de telha utilizada na cobertura da área de captação, pois o material que compõe a superfície de coleta tem participação no resultado final da qualidade da água.

Estudos realizados em diferentes tipos de telhados na Austrália e Estados Unidos verificaram que materiais galvanizados seriam as principais fontes de zinco em zona urbana. Os materiais de telhados com alguns tipos de tinta e os revestimentos de cobertura seriam suspeitos de serem fontes de contaminação com cobre e chumbo (WATERSHED PROTECTION TECHNIQUES, 1994).

Em telhados de área industrial, as concentrações de chumbo, zinco, sólidos suspensos e turbidez são altas. Já a água coletada dos telhados de área rural tem uma considerável concentração de nitratos e um pH ligeiramente mais elevado. Os níveis de pH, de condutividade e de turbidez costumam ser mais elevados em telhados feitos de concreto (THOMAS; GREENE, 1993).

Mendez et al. (2011) realizaram um estudo nos Estados Unidos analisando o efeito de materiais convencionais de cobertura (telhas asfálticas shingle, telhas metálicas e telhas de concreto) e materiais alternativos de cobertura (telhado verde e telhado frio) na qualidade da água da chuva captada. De acordo com os autores, os telhados metálicos normalmente são recomendados para aplicações em sistemas de captação de água pluvial, pois a água coletada a partir desses telhados tende a ter concentrações mais baixas de bactérias em comparação com outros materiais. Além disso, relatam que o telhado de concreto apresentou qualidade da água

pluvial semelhante ao telhado metálico, indicando que esses materiais também são adequados para aplicações em sistemas de captação de água pluvial. Embora as telhas asfálticas e os telhados verdes produzam qualidade de água comparável em muitos aspectos aos outros materiais analisados, as concentrações de carbono orgânico dissolvido foram muito altas. Além disso, as concentrações de alguns metais (como o arsênico, por exemplo) na água da chuva coletada a partir do telhado verde sugerem que a qualidade da água deve ser cuidadosamente examinada caso seja aproveitada para uso doméstico.

Farreny et al. (2011), já citados anteriormente, avaliaram a contaminação físico-química do escoamento de água pluvial em três telhados inclinados (telhas cerâmicas, telhas metálicas e telhas de policarbonato), e um telhado plano de cascalho. A qualidade físico-química do escoamento na área de estudo de caso (nordeste da Espanha) apresentou-se melhor do que a qualidade média encontrada na revisão da literatura (condutividade: $85,0 \pm 10,0$ mS / cm, sólidos suspensos totais: $5,98 \pm 0,95$ mg / L, carbono orgânico total: $11,6 \pm 1,7$ mg / L pH, : $7,59 \pm 0,07$ UPH). No entanto, diferenças significativas foram encontradas entre os telhados inclinados e os telhados planos para alguns parâmetros (condutividade, carbono orgânico total, sólidos suspensos totais e carbonatos de amônio). O telhado plano de cascalho apresentou níveis mais elevados de todos os poluentes (exceto para NH_4^+) por causa dos processos de deposição de partículas, intemperismo do telhado e colonização de plantas. Em contraste, telhados inclinados apresentam melhor qualidade da água.

No Brasil, Cardoso (2009) realizou uma pesquisa quantitativa sobre a qualidade da água pluvial na cidade de Belo Horizonte. Foram realizadas análises físico-químicas (pH, turbidez, cor aparente, alcalinidade, dureza, sulfato, ferro, manganês e chumbo) e microbiológicas (coliformes totais e *Escherichia coli*) da água pluvial captada em uma superfície de captação constituída por telhas cerâmicas e outra superfície de telhas metálicas. O estudo concluiu que os parâmetros coliformes totais, cor aparente, turbidez e ferro não atingiram o padrão recomendado pela NBR 15527 (ABNT, 2007) e Portaria nº 518 do Ministério da Saúde quando foi descartado o volume de 2,0 litros de água pluvial por área de telhado, indicados na referida norma. A água captada pelas telhas metálicas apresentou qualidade microbiológica superior à captada nas telhas cerâmica.

Teixeira et al. (2017) compararam a qualidade da água da chuva coletada em duas residências em Curitiba, uma

construída com telhado verde e a outra com telhado com telhas de concreto. A água da chuva captada no telhado com telhas de concreto apresentou menores valores para turbidez e demanda química de oxigênio na maioria dos resultados. O telhado verde contribuiu para a diminuição da acidez natural da água da chuva.

Tomaz (2003) apresenta valores para análise de contaminação bacteriológica da água de chuva captada em telhados com telhas cerâmicas, chapa galvanizada e concreto, conforme apresentado na Tabela 02.

O tratamento da água pluvial depende da qualidade da água coletada e de seu uso final. A coleta de água para fins não potáveis não requer grandes cuidados de purificação, embora certo grau de filtragem, muitas vezes, seja necessário. Para um tratamento simples, podem-se usar processos de sedimentação natural, filtração simples e cloração. Em caso de uso da água de chuva para consumo humano, é recomendado utilizar tratamentos mais complexos, como desinfecção por ultravioleta ou osmose reversa (MAY; PRADO, 2004).

3. MÉTODO

3.1. Descrição do sistema

O projeto objeto deste estudo refere-se a uma edificação unifamiliar de baixo padrão com área construída igual a $61,30 \text{ m}^2$. Este projeto foi fornecido pela Companhia de Habitação do Estado de Santa Catarina – COHAB/SC.

A Figura 02 apresenta, respectivamente, a Planta baixa e a planta de cobertura da residência objeto de estudo.

O projeto hidrossanitário original da residência não contemplava o aproveitamento de água pluvial, por isso, foi preciso elaborar um novo projeto com sistema de aproveitamento de água pluvial, e dimensionar os seus componentes.

Um esquema do sistema de aproveitamento de água pluvial da residência está apresentado na Figura 03.

A residência analisada localiza-se no município de Florianópolis – SC, região Sul do Brasil. A escolha deu-se em função da disponibilidade de alguns dados necessários ao estudo, e, além disso, devido ao crescimento populacional e do setor da construção civil ocorrido nas últimas décadas, o que implica em maior consumo dos recursos hídricos. Além disso, Florianópolis é contemplada com boa distribuição temporal e altos índices de precipitação pluviométrica.

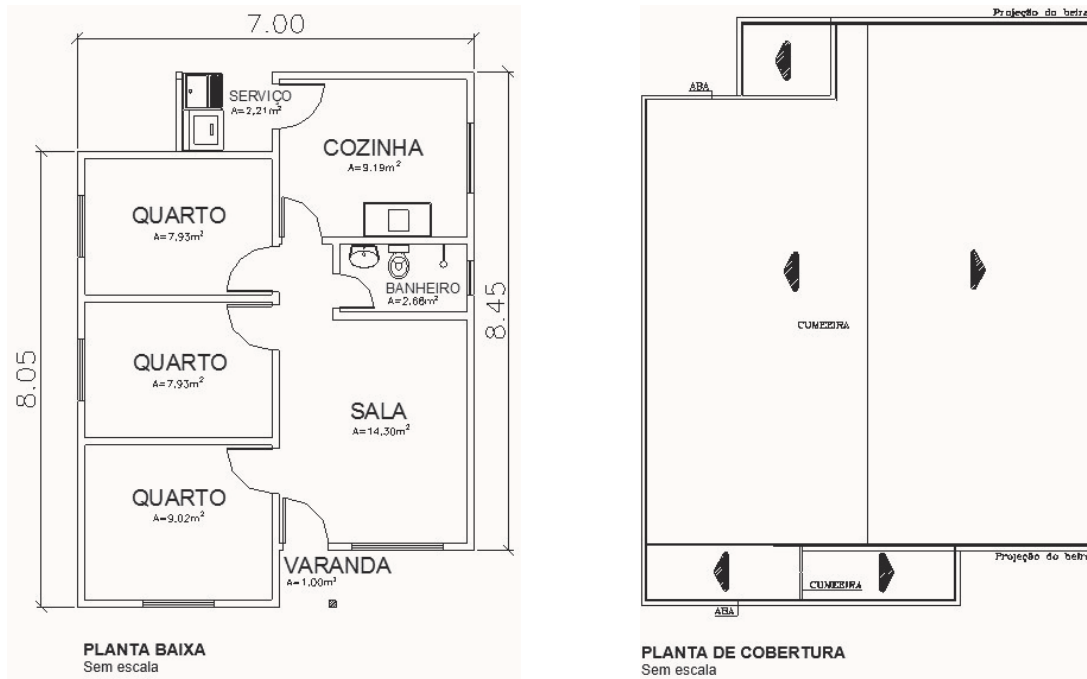


Figura 02 - Projeto da residência objeto de estudo – Sem escala.
Fonte: Adaptado de COHAB, 2008.

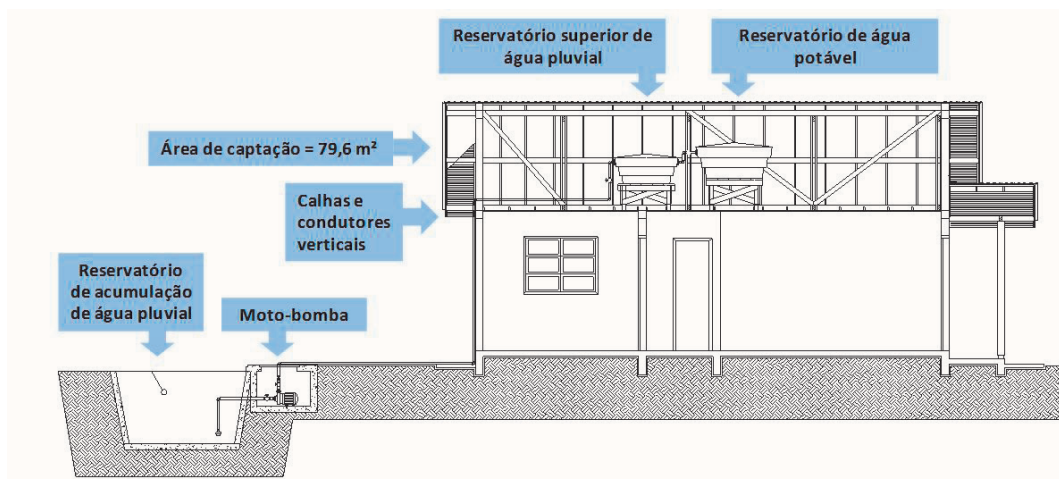


Figura 03 - Esquema do sistema de aproveitamento de água pluvial da residência – sem escala.
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2011.

3.2. Usos finais de água

O objetivo do levantamento dos usos finais de água é verificar o percentual de água potável que poderia ser substituída por pluvial (demanda de água pluvial). Este percentual é necessário para o dimensionamento dos reservatórios de armazenamento de água pluvial.

Foram utilizados dados disponíveis na literatura obtidos em estudos sobre usos finais realizados por Ghisi e Oliveira (2007), Peters (2006) e Ghisi e Ferreira (2007) em edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares localizadas na região da grande Florianópolis.

Assumiu-se que as edificações consideradas nos estudos supracitados seriam representativas para caracterizar o setor residencial de Florianópolis, e assim adotou-se a faixa de consumo de água para fins não potáveis apresentada na Tabela 03 para definir o perfil de consumo de água pluvial na residência analisada.

A faixa de consumo não potável adotada foi arredondada para 30% a 50%, a qual corresponde à porcentagem de água potável a ser substituída por pluvial. Variou-se esta faixa de usos finais não potáveis em intervalos de 10%, sendo assim, os percentuais simulados no programa Netuno (GHISI et al., 2010) foram 30%, 40% e 50%.

Ponto de utilização de água não potável	Usos finais (%)		
	Peters (2006)	Ghisi e Oliveira (2007)	Ghisi e Ferreira (2007)
Bacias sanitárias	22,0	28,0	33,2
Máquina de lavar roupas	--	7,2	4,7
Tanque (limpeza geral)	27,0	--	2,9
Total de consumo não potável	49,0	35,2	40,8

Tabela 03 - Usos não potáveis adotados para as residências analisadas.
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2011.

3.3. Dimensionamento dos reservatórios

O dimensionamento do reservatório ideal de acumulação de água pluvial e a avaliação do potencial de economia de água potável gerado pelo sistema foram realizados por meio de simulações no Programa Netuno versão 3.0 (Ghisi et al., 2010).

Os dados pluviométricos utilizados neste estudo foram fornecidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. – EPAGRI. Estes dados foram coletados da Estação Meteorológica de Florianópolis, e incluem informações sobre precipitações diárias de sete anos, de 01/01/2000 a 31/12/2006. A Figura 04 ilustra os valores de precipitação média mensal do período avaliado.

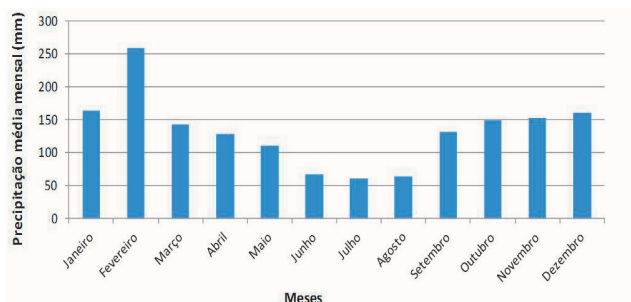


Figura 04 - Precipitação média mensal entre os anos 2000 a 2006 para Florianópolis.
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2011.

A partir dos dados pluviométricos, verificou-se que a precipitação média mensal do período analisado foi de 132,9 mm/mês e a precipitação média anual foi de 1595 mm/ano. Observou-se que as maiores precipitações médias do período analisado acontecem no verão, e as menores precipitações, nos meses de junho a agosto (inverno).

Foi considerada como área de captação de água pluvial a área de cobertura do telhado disponível no plano horizontal igual a 79,6 m², verificada na planta de cobertura.

O número total de ocupantes das residências baseou-se no número médio de habitantes por domicílio no Brasil, que é de aproximadamente quatro pessoas (IBGE, 2007).

Foi adotada uma demanda per capita de água potável correspondente a 125 litros/pessoa/dia, indicada pela literatura técnica para residências de baixo padrão (MACINTYRE, 1996).

Para todas as simulações, foi adotada uma faixa de porcentagem de água potável a ser substituída por pluvial (usos não potáveis) de 30% a 50%, em intervalos de 10%.

Foram utilizados nas simulações valores de coeficientes de runoff (CR) verificados através de pesquisa na literatura para os seguintes materiais de coberturas: telhado vegetado (CR=0,20), telhas cerâmicas (CR=0,80), telhas de concreto (CR=0,90) e telhas metálicas (CR=0,95) (THOMAS; MARTINSON, 2007; HOFKES; FRASIER, 1996; LANCASTER, 2006).

A determinação do volume do reservatório superior de água pluvial levou em conta a demanda diária de água pluvial de acordo com o número de moradores adotado, considerando os diferentes percentuais de água potável a ser substituída por pluvial (30%; 40% e 50%). No entanto, em função de não estarem disponíveis no mercado alguns volumes de reservatórios, adotaram-se os volumes mais próximos disponíveis.

O volume ideal do reservatório de acumulação de água pluvial foi determinado pelo programa Netuno quando um aumento de 1.0'00 litros na capacidade do reservatório inferior de água resultava em um aumento igual ou inferior a diferença entre potenciais de economia de 0,50%.

4. RESULTADOS

Depois de realizadas as simulações no programa Netuno utilizando diferentes opções de materiais para a cobertura, obtiveram-se os principais resultados da etapa de dimensionamento do reservatório do sistema analisado: volume ideal do reservatório de acumulação de água pluvial e potencial de economia de água potável.

As Tabelas 04 a 07 apresentam, um resumo dos principais resultados obtidos através das simulações para os quatro materiais de coberturas avaliados: telhado vegetado, telhas cerâmicas, telhas de concreto e telhas metálicas, respectivamente.

Demanda de pluvial (%)	Volume ideal do reservatório (litros)	Potencial de economia de água potável (%)	Economia de água potável (litros/dia)	Economia de água potável (litros/mês)
30	2000	13,0	65,1	1954,5
40	2000	13,2	65,9	1977,0
50	2000	13,2	66,2	1987,5

Tabela 04 – Resultados do dimensionamento do reservatório de acumulação de água pluvial (telhado vegetado)
Fonte: Elaborado pelo Autor

Demanda de pluvial (%)	Volume ideal do reservatório (litros)	Potencial de economia de água potável (%)	Economia de água potável (litros/dia)	Economia de água potável (litros/mês)
30	4000	27,71	138,55	4156,5
40	7000	35,86	179,30	5379,0
50	11000	43,60	218,00	6540,0

Tabela 05 – Resultados do dimensionamento do reservatório de acumulação de água pluvial (telhas cerâmicas)

Fonte: Elaborado pelo Autor

Demanda de pluvial (%)	Volume ideal do reservatório (litros)	Potencial de economia de água potável (%)	Economia de água potável (litros/dia)	Economia de água potável (litros/mês)
30	3000	27,9	139,5	4186,5
40	6000	36,5	182,5	5476,5
50	10000	45,0	224,9	6748,5

Tabela 07 – Resultados do dimensionamento do reservatório de acumulação de água pluvial (telhas metálicas)

Fonte: Elaborado pelo Autor

Demanda de pluvial (%)	Volume ideal do reservatório (litros)	Potencial de economia de água potável (%)	Economia de água potável (litros/dia)	Economia de água potável (litros/mês)
30	3000	27,7	138,5	4155,0
40	7000	36,7	183,5	5505,0
50	10000	44,5	222,3	6669,0

Tabela 06 – Resultados do dimensionamento do reservatório de acumulação de água pluvial (telhas de concreto)

Fonte: Elaborado pelo Autor

Para facilitar a visualização, a Figura 05 apresenta um comparativo entre o volume ideal do reservatório de acumulação de água pluvial para as diferentes opções de materiais para a cobertura analisadas neste estudo, de acordo com as diferentes demandas de água pluvial.

A Figura 06 apresenta um comparativo entre o potencial de economia de água potável em função das opções de materiais para a cobertura.

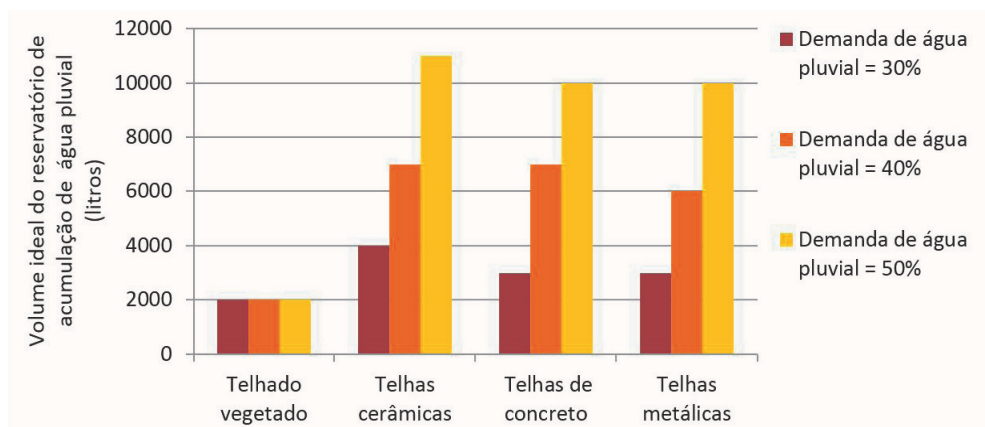


Figura 05 – Volume ideal do reservatório de acumulação de água pluvial para diferentes opções de materiais para a cobertura

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2011.

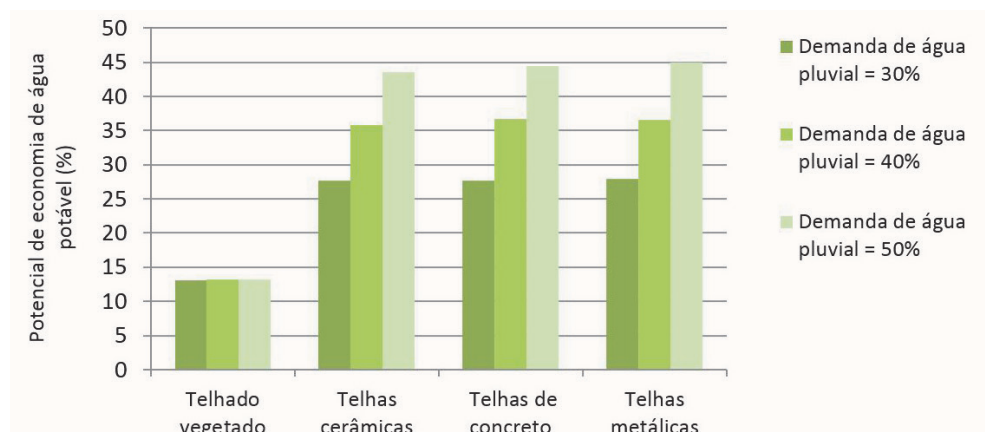


Figura 06 – Potencial de economia de água potável para diferentes opções de materiais para a cobertura.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2011.

Da análise dos resultados obtidos nas simulações, constatou-se que o telhado vegetado não apresentou variações no volume ideal do reservatório de acumulação de água pluvial (2000 litros) para as diferentes demandas de água pluvial analisadas (30%, 40% e 50%). Além disso, os potenciais de economia de água potável obtidos para este tipo de cobertura foram muito próximos (13,0 a 13,2% de economia). Isso indica que coberturas com baixos valores de coeficientes de runoff, com é o caso do telhado vegetado (CR=0,20), apresentam baixa eficiência no aproveitamento de água pluvial, não atendendo a demanda diária de água pluvial.

Para a cobertura com telhas cerâmicas, o volume ideal de reservatório de acumulação de água pluvial apresentou uma variação de volume de 4000 a 11000 litros. Isso ocorreu devido ao coeficiente de runoff desse material ser maior e assim proporcionar maior captação de volume de água pluvial.

Com relação à cobertura com telhas de concreto, verificou-se que o volume ideal do reservatório de acumulação de água pluvial variou entre 3000 a 10000 litros para as diferentes demandas de água pluvial analisadas. Logo, seria necessário um reservatório de acumulação de água pluvial com volume menor comparado a simulação com cobertura com telha cerâmica, porém com potencial de economia de água potável ligeiramente maior (para 40% e 50% de demanda de água pluvial).

A cobertura com telhas metálicas apresentou resultados semelhantes aos da cobertura com telhas de concreto, pois estes materiais apresentam coeficientes de runoff muito próximos. O volume de acumulação de água pluvial também variou entre 3000 a 10000 litros, porém para a demanda de água pluvial de 40%, o volume ideal do reservatório resultou em 6000 litros, ou seja, um volume menor (1000 litros de diferença) que o indicado para a cobertura de telhas de concreto e também de telhas cerâmicas.

5. CONCLUSÕES

Apresentam-se aqui as conclusões obtidas neste trabalho referentes à análise de materiais para coberturas utilizadas como área de captação em sistemas de aproveitamento de água pluvial. Constatou-se que há uma grande variação de valores de coeficiente de runoff (de 0,20 a 0,95), dependendo principalmente da porosidade e da rugosidade do material adotado, e também da inclinação do telhado. Com relação aos aspectos qualitativos da água da chuva, verificou-se por meio da análise de diversas pesquisas realizadas em diferentes países, que a qualidade da água pluvial coletada é dependente

tanto do tipo de material da cobertura como das condições ambientais, não só do clima do local, mas também da poluição atmosférica local. É consenso na maioria das pesquisas, que as telhas metálicas proporcionam melhor qualidade da água pluvial.

No estudo de caso, foram avaliadas quatro opções de materiais (telhado vegetado, telhas cerâmicas, telhas de concreto e telhas metálicas) para a cobertura de um projeto de uma edificação residencial de baixo padrão, localizada em Florianópolis, sul do Brasil.

A avaliação dos resultados obtidos nas simulações realizadas no programa Netuno permitiu concluir que coberturas de materiais que possuem baixos valores de coeficientes de runoff, como o telhado vegetado, apresentam baixa eficiência no aproveitamento de água pluvial, consequentemente apresentam um baixo potencial de economia de água potável. Por outro lado, os sistemas que possuem coberturas de materiais cujos coeficientes de runoff são mais elevados, com telhas de concreto e telhas metálicas, maximizam a captação e aproveitamento de água pluvial.

Além disso, os resultados confirmam que o material da cobertura influencia no dimensionamento do volume ideal do reservatório de acumulação de água pluvial, que é um dos componentes mais dispendiosos do sistema.

Como muitas cidades estão enfrentando crises de abastecimento de água devido à crescente pressão sobre os recursos hídricos, é muito importante que as novas edificações contemplem sistemas de aproveitamento de água pluvial, incorporando conceitos que possibilitem que as coberturas tenham também a função de áreas de captação, levando em conta o coeficiente de runoff na seleção dos materiais.

Demonstrou-se por meio deste estudo, ser de fundamental importância analisar os aspectos quantitativos e qualitativos antes da implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial, para que assim possam ser realizadas as melhores escolhas em relação ao material da cobertura da edificação e aos materiais componentes dos sistemas, visando maximizar o aproveitamento de água pluvial e a sustentabilidade nas edificações.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15527 - Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro. 2007.
- ANDRADE, M.; MARINOSKI, A. K.; BECKER, H. R. Sistemas de aproveitamento de água de chuva. Casa Eficiente: Uso racional da água. 2010.
- ANNECCHINI, K. P. V. Aproveitamento da água de

- chuva para fins não-potáveis na cidade de Vitória. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, ES. 2005.
- BOULOMYTIS, V. T. G. Estudo da qualidade da água de chuva captada em telhado residencial na área urbana para fins de irrigação de alface. 6º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Águas De Chuva. Belo Horizonte, 2007.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 23 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.abes-sp.org.br/arquivos/portaria_518_2004.pdf>. Acesso em: 20 de setembro de 2011.
- BROWN, C.; JAN G.; COLLEY, S.; KRISHNA, H. J. The Texas Manual on Rainwater Harvesting. Texas Water Development Board. Third Edition. Austin, Texas, 2005. Disponível em:http://www.twdb.state.tx.us/publications/reports/RainwaterHarvestingManual_3rdedition.pdf Acesso em: agosto de 2011.
- CARDOSO, P. C. Viabilidade do aproveitamento de águas de chuvas em zonas urbanas: Estudo de caso no município de Belo Horizonte – MG. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
- CAVALCANTI, N. B. Efeito do escoamento da água de chuva em diferentes coberturas. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 4, p. 201-210, 2010.
- COHAB/SC. Companhia de Habitação do Estado de Santa Catarina. Disponível em <http://www.cohab.sc.gov.br/>
- DIAS, I. C. S.; ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; GADELHA, C. L. M. Viabilidade econômica e social do aproveitamento de águas pluviais em residências na cidade de João Pessoa. X Simpósio Nacional de Sistemas Prediais: Desenvolvimento e inovação. São Carlos, 2007
- FARRENY R., MORALES-PINZO, T.; GUIASOLA, A.; TAYA, C.; RIERADEVALL, J., GABARRELL, X. Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. Water Research. n. 45, p. 3245-3254. 2011.
- FOERSTER, J. Variability of Roof Runoff Quality. Water Science and Technology. v.39, n.5, p. 137-144. 1999.
- GHAFFARIANHOSEINI, A. et al. State of the Art of Rainwater Harvesting Systems Towards Promoting Green Built Environments: a review. Desalination and Water Treatment, v. 57, n. 1, p. 95-104, 2015.
- GHISI, E.; CORDOVA, M. M.; ROCHA, V. L. Netuno. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <<http://www.la-beee.ufsc.br/downloads/softwares/netuno>>. Acesso em: janeiro de 2010.
- 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, 2007.
- 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.
- GWENZL, W. ; DUNJANA, N. ; PISA, C. ; TAURO, T. ; NYAMADZAWO, G. Water quality and public health risks associated with roof rainwater harvesting systems for potable supply: Review and perspectives. Sustainability of Water Quality and Ecology 6 (2015) 107-118.
- HAGEMANN, S. Avaliação da Qualidade da água da Chuva e da Viabilidade de sua Captação e Uso. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2009.
- HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R.; FERNÁNDEZ-COLLADO, C.; BAPTISTA-LUCIO. Metodología de la investigación (4ª ed.). Cidade do México: McGraw-Hill Interamericana, 2006.
- HOFKES; FRAZIER. Runoff coeficients. In.: PACEY, Arnold; CULLIS, Adrian. Rainwater Harvesting. 1996.
- KHAN. Domestic Roof Water Harvesting Technology in Thar Desert. Índia, 2001.
- LANCASTER, B., 2006. Guiding principles to welcome rain into your life and landscape. In: Rainwater Harvesting for Drylands and Beyond, vol. 1. Resource Press, Tucson, Arizona.
- LEE, J. Y.; BAK, G.; HAN, M. Quality of Roof-Harvested Rainwater: comparison of different roofing materials. Environmental Pollution, v. 162, p. 422-429, 2012.
- LIAW, C.H., TSAI, Y.L., 2004. Optimum storage volume of rooftop rain water harvesting systems for domestic use. Journal of the American Water Resources Association 40, 901e912.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em:

maio de 2010.

MACINTYRE, A.J. Instalações hidráulicas prediais e industriais. Livros Técnicos e Científicos Editora, 3ª Edição. 1996.

MACOMBER, S. H. P. Guidelines on rainwater catchment systems for Hawaii. Hawaii: College of Tropical Agriculture and Human Resources; University of Hawaii at Manoa, 2001.

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

MAY S.; PRADO R. T. A. Estudo da Qualidade da Água de Chuva para Consumo Não Potável em Edificações. CLACS' 04 – I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e ENTAC 04, - 10º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo - SP, Anais...CD Rom, 2004.

MANO, R. S.; SCHMITT C. M. Captação Residencial de Água Pluvial, para Fins não Potáveis, em Porto Alegre: Aspectos Básicos da Viabilidade Técnica e dos Benefícios do Sistema. CLACS' 04 – I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e ENTAC 04, - 10º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo - SP, Anais...CD Rom, 2004.

MENDEZ, C. B.; KLENZENDORF, J. B.; AFSHAR, B. R.; SIMMONS, M. T.; BARRETT, M. E.; KINNEY, K. A.; KIRISITS, M. J. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. *Water Research*. n. 45, p. 2049-2059. 2011.

PETERS, M. R. Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

PRUSKI, F.F.; BRANDÃO, V.S.; SILVA, D. D. escoamento superficial. Editora UFV. 2ª Ed. 87p. 2004.

TEIXEIRA, C. A.; BUDEL, M. A.; CARVALHO, K. Q. de; BEZERRA, S. M. da C.; GHISI, E. Estudo comparativo da qualidade da água da chuva coletada em telhado com telhas de concreto e em telhado verde para usos não potáveis. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 135-155, abr./jun. 2017.

THOMAS, P.R.; GRENNE, G.R. Rainwater quality from different roof catchments. *Water Science*. 1993.

THOMAS, T.H; MARTINSON, D.B. Roofwater Haversting:

A Handbook for Practitioners. Delft, The Netherlands, IRC International Water and Sanitation Centre, 2007.

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva: para áreas urbanas e fins não-potáveis. São Paulo: Navegar, 2003.

WARD, S., MEMON, F.A., BUTLER, D., 2010. Harvested Rainwater quality: the importance of appropriate design. *Water Science and Technology* 61 (7), 1707 e 1714. WATERSHED PROTECTION TECHNIQUES. Is rooftop runoff really clean. *Articule 8, Technical Note 25*, 1(2): 84-85, TRS, 1994.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pelo apoio financeiro durante o período de desenvolvimento deste trabalho.

AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8581-4147>

ANA KELLY MARINOSKI RIBEIRO, Dra. | Universidade Federal de Santa Catarina | DEGR | Florianópolis (SC) - Brasil | Endereço: Campus Universitário – CCE-DEGR – Campus Trindade - Florianópolis – SC | e-mail: anakmarinoski@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4696-1985>

DEIVIS LUIS MARINOSKI, Dr. | Universidade Federal de Santa Catarina | DEGR | Florianópolis (SC) - Brasil | Endereço: Campus Universitário – CCE-DEGR – Campus Trindade - Florianópolis – SC | e-mail: deivis.marinowski@ufsc.br

COMO CITAR ESTE ARTIGO

RIBEIRO, Ana Kelly Marinowski, MARINOSKI, Deivis Luis. Estudo sobre Materiais para Coberturas Utilizadas em Sistemas de Aproveitamento de Água Pluvial Residenciais. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 53-66, mai. 2020.** ISSN 24473073. Disponível em:<<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n2.53-66>.

DATA DE ENVIO: 30/04/2020

DATA DE ACEITE: 06/05/2020

