

# Avaliação de viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial em habitação de baixo padrão: estudo de caso em Florianópolis, SC

*Assessment of environmental and economic feasibility of rainwater harvesting systems in low-income house: case study in Florianópolis, SC*

Ana Kelly Marinoski  
Enedir Ghisi

## Resumo

O objetivo principal deste artigo é analisar a viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial para um projeto de uma edificação residencial de baixo padrão localizada em Florianópolis, SC, Sul do Brasil, utilizando conceitos da Análise de Ciclo de Vida (ACV). Foi realizada uma avaliação ambiental e econômica de dois cenários para a edificação analisada: um cenário em que existe somente sistema hidráulico predial que utiliza água potável da rede pública, e outro cenário em que a edificação possui sistema hidráulico predial complementado por aproveitamento de água pluvial. Foram analisadas três opções de sistemas, e cada opção tinha o reservatório inferior de armazenamento de água pluvial composto de um material diferente: plástico reforçado com fibra de vidro, polietileno de alta densidade e concreto armado. Os resultados apontam que, entre as opções analisadas, os sistemas mais viáveis ambientalmente são os que possuem reservatório inferior de armazenamento de água pluvial de plástico reforçado com fibra de vidro. Por outro lado, os sistemas com reservatório inferior de concreto armado são os mais viáveis economicamente. Demonstrou-se através deste estudo a importância de analisar aspectos ambientais e econômicos antes da implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial, para que assim possam ser realizadas as melhores escolhas em relação aos materiais componentes dos sistemas, visando à sustentabilidade nas edificações.

**Palavras-chave:** Sistemas de aproveitamento de água pluvial. Análise de ciclo de vida. Viabilidade ambiental e econômica. Edificações residenciais.

## Abstract

*The main objective of this paper is to assess the environmental impact and investment feasibility analysis of rainwater harvesting systems for a low-income house located in Florianópolis, southern Brazil, by using the concepts of Life Cycle Analysis (LCA). The environmental and investment feasibility analysis was performed for two scenarios, i.e., a scenario in which there is only a potable water system supplied by the water utility, and another scenario in which the potable water system is complemented by rainwater. Three types of rainwater storage tanks were analysed: plastic reinforced with glass fibre, high density polyethylene and reinforced concrete. The results indicate that plastic tanks reinforced with glass fibre are environmentally more feasible, while concrete tanks are economically more feasible. This study showed the importance of analysing environmental and economic aspects before implementing a system for rainwater utilization; thus better choices regarding the materials used in the systems, aiming at sustainability in buildings, can be made.*

**Keywords:** Rainwater harvesting. Life cycle analysis. Environmental and investment feasibility. Houses.

Ana Kelly Marinoski  
Universidade Federal de Santa  
Catarina  
Florianópolis - SC - Brasil

Enedir Ghisi  
Universidade Federal de Santa  
Catarina  
Florianópolis - SC - Brasil

Recebido em 27/07/16  
Aceito em 01/02/17

## Introdução

A água é um dos mais preciosos recursos, uma vez que é indispensável para a sustentação da vida. Apesar de ser considerada um recurso renovável, a água de qualidade se tornou escassa em muitos locais do planeta. As intensas e crescentes agressões ao meio ambiente vêm comprometendo cada vez mais a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos disponíveis.

Em função do rápido aumento populacional verificado em muitos países, a disponibilidade hídrica e o suprimento de água potável têm se tornado questões de interesse em todo o mundo (JOHNSON; HANDMER, 2002; WHITTINGTON *et al.*, 2002). Outro fator preocupante é a questão da má distribuição populacional em função das reservas hídricas existentes. Em geral, os locais mais populosos são justamente os que possuem pouca água; por outro lado, onde há muita água ocorre baixo índice populacional. Pode-se citar como exemplos a região Sudeste do Brasil, que dispõe de um potencial hídrico de apenas 6% do total nacional, porém conta com 43% do total de habitantes do país, enquanto a região Norte, que compreende a Bacia Amazônica, apresenta 69% de água disponível, contando com apenas 8% da população brasileira (GHISI, 2006).

Diante desse cenário, atualmente são adotadas estratégias e soluções sustentáveis relacionadas à utilização da água em algumas edificações, das quais se destacam os sistemas de aproveitamento de água pluvial como fonte alternativa de abastecimento dos pontos de consumo de água com finalidades não potáveis. A água da chuva coletada nos telhados e demais áreas de captação pode ser utilizada em descarga de bacias sanitárias, torneiras de jardins, lavagem de roupas, lavagem de calçadas e automóveis. Esses usos não potáveis são estimados em uma faixa de aproximadamente 30% a 50% do consumo residencial total (MANO; SCHMITT, 2004, GHISI; FERREIRA, 2007, GHISI; OLIVEIRA, 2007).

O incremento dessas estratégias para o uso racional da água nas edificações visa contribuir para a conservação dos recursos hídricos e para a redução de encargos energéticos por metro cúbico de água. Porém, a instalação e o funcionamento desses sistemas requerem o emprego de materiais extras, e, portanto, é necessário verificar a energia incorporada no ciclo de vida desses materiais.

A energia incorporada se refere à energia primária total consumida na extração da matéria-prima, fabricação, transporte, construção, manutenção, demolição e disposição final de um

material/produto de construção. A análise da energia incorporada pode focar diferentes parâmetros de estudo, sendo comumente realizada do berço ao túmulo ou do berço ao berço, podendo, no entanto, ser realizada para avaliar somente uma fase do processo de fabricação (CALKINS, 2009).

Os procedimentos gerais de produção dos equipamentos e materiais utilizados em sistemas de aproveitamento de água pluvial envolvem complexos processos, em que áreas foram degradadas, energia foi gasta em produção e transporte, e resíduos danosos foram lançados no meio ambiente. Nesse sentido, estudos de Análise de Ciclo de Vida (ACV) tornam possível realizar uma análise da cadeia produtiva e uma melhor escolha de matérias-primas e fontes energéticas, além de possibilitar a minimização de emissões e de resíduos gerados.

Atualmente, algumas pesquisas e trabalhos sobre análise de ciclo de vida em diversas áreas, analisando diferentes tipos de produtos e sistemas, têm sido desenvolvidas (PRADO; TABORIANSKI, 2004; SARTORI; HESTNES, 2007; ARANTES, 2008; FRIEDRICH; PILLAY; BUCKLEY, 2009; MARQUES; GOMES; KERN, 2016).

Porém, com relação a estudos referentes a sistemas de aproveitamento de água pluvial, a maioria das pesquisas existentes não aborda questões relacionadas à análise de ciclo de vida. Elas enfocam, principalmente, aspectos relacionados à viabilidade econômica para a implantação do sistema (MANO; SCHMITT, 2004, CAMPOS; ILHA; GRANJA, 2007; DIAS; ATHAYDE JUNIOR; GADELHA, 2007; DOMÈNECH; SAURI, 2011; LIANG; VAN DIJK, 2011; GHISI; SCHONDERMARK, 2013; CHAIB *et al.*, 2015; SIEMS; SAHIN, 2016), qualidade da água captada (MAY; PRADO, 2004; SAZAKLI; ALEXOPOULOS; LEOTSINIDIS, 2007; MENDEZ *et al.*, 2011; MOON *et al.*, 2012; NAKADA; MORUZZI, 2014), potencial de economia de água potável (SIMIONI; GHISI; GÓMEZ, 2004; VILLARREAL; DIXON, 2005; GHISI; CARDOSO; RUPP, 2012; RAHMAN; KEANE; IMTEAZ, 2012; SOUZA; GHISI, 2012; SILVA; SOUSA; CARVALHO, 2015; CHAIB *et al.*, 2015; LEE *et al.*, 2016) e dimensionamento de reservatórios de armazenamento (MARINOSKI; GHISI; GÓMEZ, 2004; CAMPOS; AMORIM, 2004; DORNELLES; TASSI; GOLDENFUM, 2010; GHISI, 2010; JONES; HUNT, 2010; CAMPISANO; MODICA, 2012; BOCANEGRA-

MARTÍNEZ *et al.*, 2014; MAHMOUD *et al.*, 2014).

Nota-se que, na maioria dos estudos que abordam fontes alternativas de água, em geral as análises realizadas são de ordem técnica ou econômica. As pesquisas raramente abordam o aproveitamento de água pluvial e seu impacto ambiental. Kim *et al.* (2007) ressaltam que a falta de informação útil sobre a utilização de fontes alternativas de água dificulta a ampla aplicação desses sistemas.

Além disso, a escolha da tipologia de habitação de baixo padrão se deve ao fato de que ainda são poucos os estudos sobre sistemas alternativos de água em habitações de baixo padrão no país (PETERS *et al.*, 2006; COHIM; GARCIA; KIPERSTOK, 2008; FRANCI; GONÇALVES, 2012; VIEIRA, 2012; GARCIA *et al.*, 2013).

A implantação de ações para uso racional da água em habitações de baixo padrão mostra-se um desafio, pois nessas habitações alguns fatores podem limitar a utilização de água pluvial. Entre esses fatores destacam-se a menor relação entre a área de cobertura e o número de moradores e a limitação de espaço para instalação do reservatório de água pluvial. As habitações de interesse social, assim como as habitações multifamiliares, possuem menor relação entre a área de captação e o número de habitantes devido à menor área construída e ao maior número de habitantes. O potencial de substituição de água potável por água pluvial nessa tipologia de habitações tende a ser inferior ao encontrado para habitações térreas de médio e alto padrão (GHISI; FERREIRA, 2007; VIEIRA, 2012). Os aspectos econômicos, como os custos da instalação do sistema e a tarifa de água, também são importantes para essa parcela da população e podem representar um desestímulo ao uso eficiente da água.

O objetivo deste artigo é analisar a viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial considerando matérias-primas, energia embutida e emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) gerado nas etapas do ciclo de vida dos componentes dos sistemas de um projeto de uma edificação residencial de baixo padrão.

## Método

Para analisar a viabilidade ambiental e econômica de diferentes opções de sistemas de aproveitamento de água pluvial para um projeto de uma edificação residencial foi desenvolvido um método baseado em conceitos da ACV.

O desenvolvimento do estudo de caso se deu por meio de análise teórica. A região estudada localiza-se em Florianópolis, no Sul do Brasil.

Florianópolis possui um clima temperado úmido de acordo com classificação de Köppen (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007), com verões quentes e temperaturas médias anuais variando de 16 °C a 25 °C. Apresenta precipitação pluviométrica média de 1.518 mm ao ano para o período de 1961 a 1990 (INSTITUTO..., 2016).

O projeto, objeto de estudo, foi fornecido pela Companhia de Habitação do Estado de Santa Catarina (Cohab) e refere-se a uma edificação residencial de baixo padrão com 61,3 m<sup>2</sup> de área construída. A Figura 1 apresenta a planta baixa sem escala da edificação estudada.

Avaliou-se o cenário em que existe apenas sistema hidráulico predial que utiliza água potável da rede pública na edificação, comparando-o com o cenário em que a edificação possui sistema hidráulico predial complementado por aproveitamento de água pluvial. Um fluxograma sequencial do método utilizado neste estudo é apresentado na Figura 2.

## Definição de objetivos e escopo

De acordo com a ABNT (2009), os sistemas devem ser comparados tendo-se como base uma mesma função, utilizando-se da mesma unidade funcional, durante determinado período. Assim, nesta fase definiram-se a função do sistema, a unidade funcional, a vida útil do sistema, as entradas (matérias-primas e energia embutida) e saídas (emissões de CO<sub>2</sub> gerado) e as etapas do ciclo de vida que foram analisadas.

A função dos sistemas é o fornecimento de água em edificações residenciais. Adotou-se como unidade funcional o volume de água consumido na residência durante a vida útil do sistema hidráulico predial, de acordo com a demanda de água potável (sem ou com uso de água pluvial).

O tempo de vida útil adotado para os sistemas prediais hidráulicos foi de 20 anos, considerando a reposição dos componentes que não tinham esse tempo de vida (DIAS; ATHAYDE JUNIOR; GADELHA, 2007).

A avaliação ambiental contemplou as etapas de extração de matérias-primas, processos de transformação, produção e uso dos componentes dos sistemas hidráulicos prediais analisados.

## Caracterização e levantamento de dados

Na fase de caracterização e levantamento dos dados foram realizados levantamentos dos usos finais de água e levantamentos de dados quantitativos e ambientais de materiais usados nos sistemas hidráulicos prediais que utilizam água potável da rede pública e nos sistemas complementados por aproveitamento de água pluvial da edificação analisada.

### Demanda de água pluvial

A demanda de água pluvial refere-se ao percentual de água potável que poderia ser substituída por pluvial e é um dado necessário para o dimensionamento dos reservatórios de armazenamento de água pluvial.

O abastecimento da bacia sanitária foi o único uso de água não potável considerado para o

aproveitamento de água pluvial, representando, assim, a demanda de água pluvial. Esta proposição foi adotada porque, em geral, as habitações de baixa renda não apresentam consumo significativo de água para fins externos, como irrigação de jardins e limpeza de pisos (VIEIRA, 2012).

Para a definição da demanda de água pluvial foram utilizados dados disponíveis na literatura obtidos em estudos sobre usos finais de água em edificações residenciais unifamiliares de baixa renda, onde, em média, a bacia sanitária corresponde a cerca de 30% do consumo de água (PETERS *et al.*, 2006; COHIM; GARCIA; KIPERSTOK, 2008; VIEIRA, 2012).

Considerou-se que as edificações abordadas nos estudos supracitados seriam representativas para a tipologia de edificação analisada neste artigo, e assim se adotou o percentual de 30% como demanda da água pluvial.

Figura 1 - Planta baixa da edificação estudada

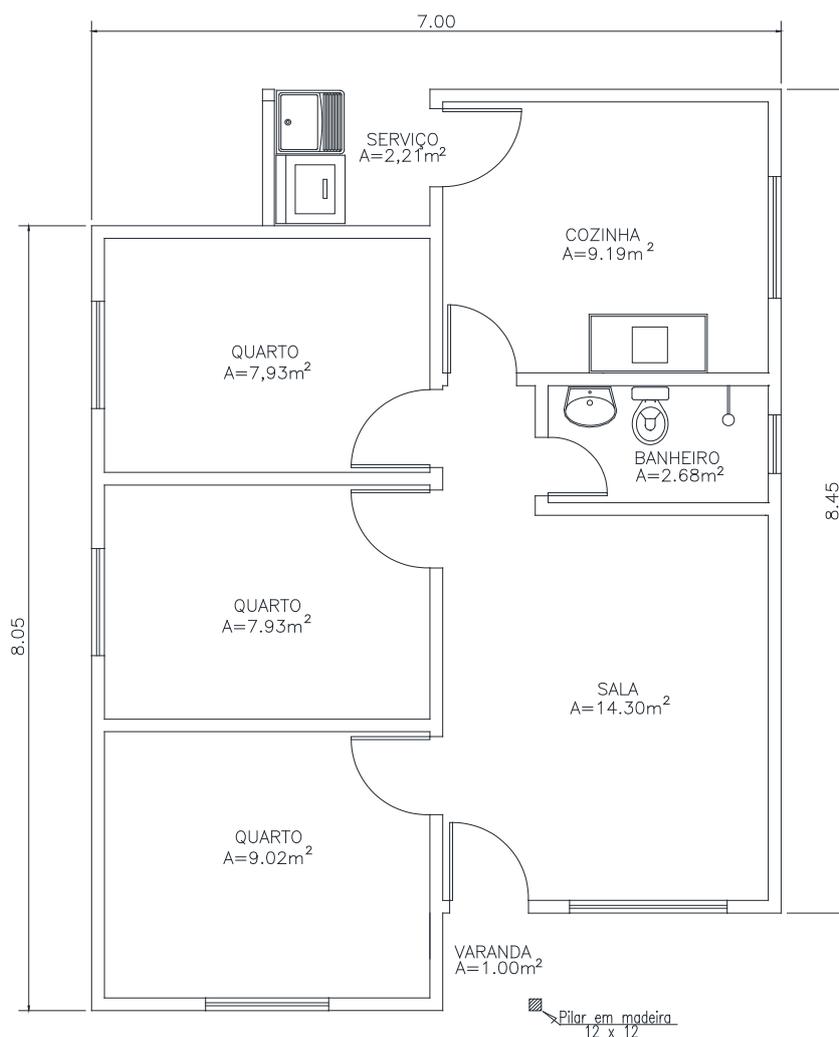
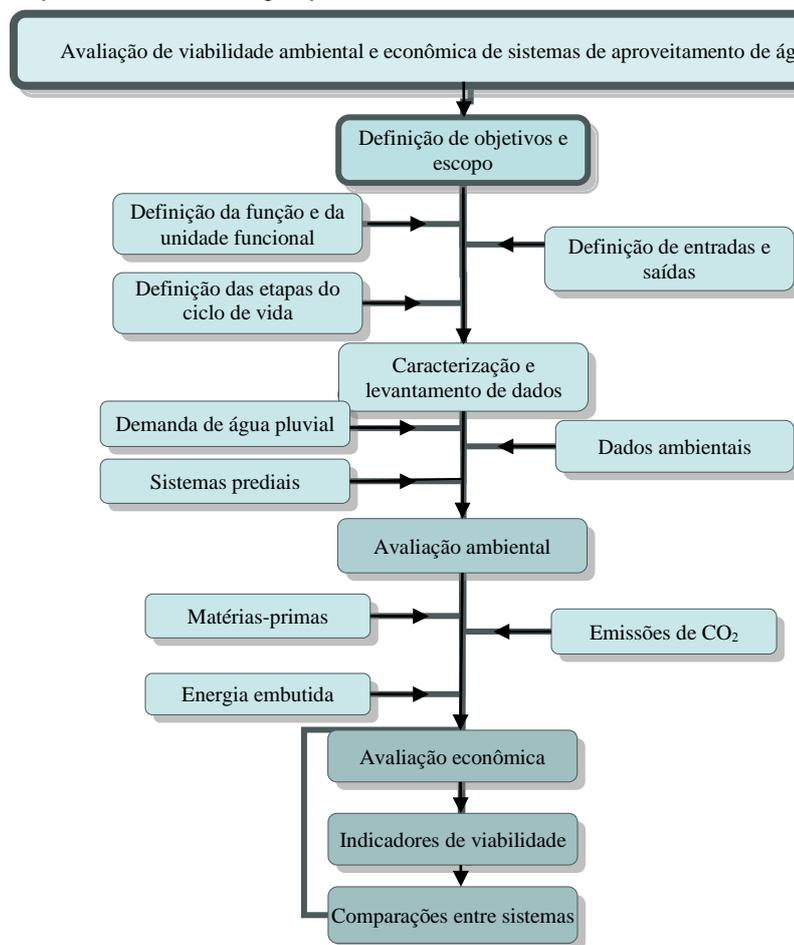


Figura 2 - Fluxograma do método utilizado para análise de viabilidade ambiental e econômica dos sistemas de aproveitamento de água pluvial



### Sistemas hidráulicos prediais

Na fase de caracterização dos sistemas hidráulicos prediais foram especificados os componentes e equipamentos pertencentes aos sistemas e seus respectivos materiais constituintes. A Tabela 1 apresenta um resumo com todos os materiais selecionados para cada sistema analisado.

O sistema hidráulico predial que utiliza apenas água potável da rede pública foi chamado de Sistema A. Para a concepção do Sistema A considerou-se que ele é indireto, e o sistema de abastecimento de água é público, ou seja, proveniente da concessionária de água local. Assim, o abastecimento do reservatório de água potável ocorre por pressão da rede pública e não necessita de motobombas.

Na concepção do sistema de aproveitamento de água pluvial, assumiu-se que o abastecimento de água pluvial possui abastecimento auxiliar por água potável, proveniente da concessionária de água. Para não faltar água nos pontos de consumo não potável com a diminuição do nível de água do

reservatório superior de água pluvial, uma chave de nível – que comanda uma válvula solenoide – possibilita o abastecimento suplementar proveniente do sistema de abastecimento de água potável. Adotou-se o posicionamento do reservatório inferior de acumulação de água pluvial no nível do solo (não enterrado) tendo em vista que a estrutura de habitações unifamiliares de baixo padrão não é dimensionada para suportar grandes cargas. Também, considerando a limitação de espaço no terreno para a instalação do reservatório, adotou-se o reservatório inferior posicionado próximo à habitação.

Foram analisadas três opções de sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial (Sistemas 1, 2 e 3). Cada opção apresentou o reservatório inferior de armazenamento de água pluvial composto de um material diferente: plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV), polietileno de alta densidade (Pead) e concreto armado. Com relação aos reservatórios superiores, optou-se por adotar reservatórios de PRFV.

Para a quantificação dos materiais foi preciso realizar um levantamento de todos os materiais que constituem os principais componentes e equipamentos utilizados para a implantação de cada sistema hidráulico predial avaliado. Além disso, foi necessário obter a massa (kg) de cada equipamento, pois os dados de energia embutida utilizados são apresentados em MJ/kg.

### Dimensionamento dos reservatórios

É importante dimensionar adequadamente o volume dos reservatórios de armazenamento de água tendo em vista que o dimensionamento do reservatório é um dos pontos críticos na implantação de um sistema, pois este não pode ser superdimensionado, de forma a evitar gastos desnecessários, nem subdimensionado a ponto de comprometer a eficiência do sistema (RUPP; MUNARIM; GHISI, 2011).

Para dimensionar o volume ideal do reservatório inferior de água pluvial e avaliar o potencial de economia de água potável obtido com o aproveitamento de água pluvial foi utilizado o programa computacional Netuno versão 3.0 (GHISI; CORDOVA; ROCHA, 2010).

O volume ideal foi determinado pelo programa quando um aumento de 1.000 L na capacidade do reservatório inferior de água resultava em um acréscimo no potencial de economia de água igual ou inferior a 0,5%.

Apresentam-se como dados de entrada do programa precipitação pluviométrica diária, área de captação, demanda de água potável per capita, população total, coeficiente de aproveitamento, percentual de água potável a ser substituída por pluvial (demanda de água pluvial) e reservatório superior de água pluvial. Os dados de entrada utilizados para realizar as simulações estão apresentados na Tabela 2.

Utilizaram-se dados de precipitação pluviométrica diária do período compreendido entre janeiro de 2000 e dezembro de 2006. A Figura 3 ilustra os índices pluviométricos mensais para a cidade de Florianópolis nesse período. A precipitação média diária obtida para o período avaliado foi de 4,37 mm/dia, a precipitação média mensal obtida foi de 132,9 mm/mês, e a precipitação média anual foi de 1.595 mm/ano.

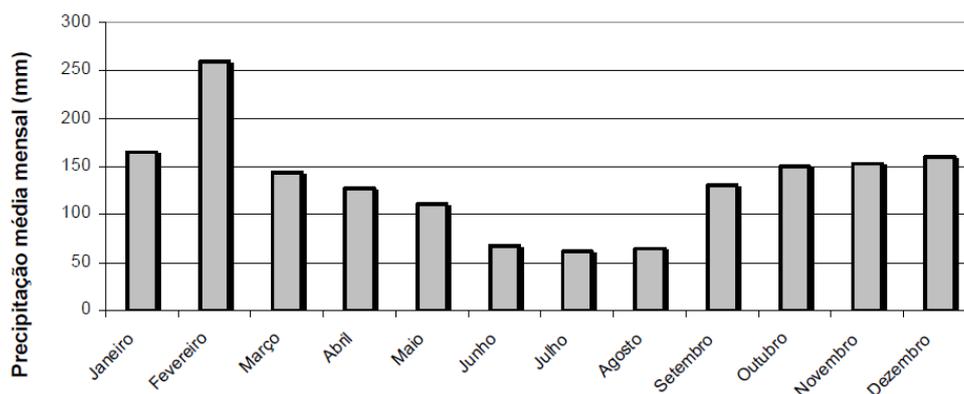
Tabela 1 - Especificação dos materiais utilizados nos sistemas hidráulicos prediais analisados

Componentes	Sistema A	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
	Materiais constituintes			
Reservatório superior	PRFV	PRFV	PRFV	PRFV
Tubulações	PVC	PVC	PVC	PVC
Conexões	PVC	PVC	PVC	PVC
Conexões de outros materiais	Metal e latão	Metal e latão	Metal e latão	Metal e latão
Dispositivos e acessórios	–	PEAD	PEAD	PEAD
Motobombas	–	Ferro fundido	Ferro fundido	Ferro fundido
Reservatório inferior	–	PRFV	PEAD	Concreto armado

Tabela 2 - Dados de entrada utilizados no programa Netuno

Dados de entrada	
Dados de precipitação	Florianópolis/SC de 2000 a 2006
Área de captação (m <sup>2</sup> )	79,6 (19,9 m <sup>2</sup> /habitante)
Demanda de água potável <i>per capita</i> (litros <i>per capita</i> /dia)	125
Número de moradores (pessoas)	4
Percentual de água potável a ser substituída por pluvial (%) (demanda de água pluvial)	30
Coeficiente de aproveitamento para telhas de fibrocimento	0,80
Reservatório superior de água pluvial (litros)	250
Reservatório inferior de armazenamento de água pluvial (litros)	Cálculo para vários volumes
Volume máximo (litros)	30.000
Intervalo entre volumes (litros)	1.000

Figura 3 - Precipitação média mensal dos anos 2000 a 2006



A demanda de água potável de 125 L *per capita*/dia foi definida tendo como base dados do estudo realizado por Vieira (2012) em habitações de interesse social na grande Florianópolis. Nesse estudo constatou-se que o consumo diário médio por pessoa em famílias com renda de até três salários mínimos era de 124 L/hab.dia, enquanto, em famílias com renda entre três e cinco salários mínimos, de 121 L/hab.dia. Além disso, a demanda de água potável *per capita* adotada é similar aos valores propostos para habitações de interesse social encontrados em outros estudos realizados no Brasil, que variam entre 95 L/hab.dia e 132 L/hab.dia (OLIVEIRA *et al.*, 2006; DANTAS *et al.*, 2006; YWASHIMA *et al.*, 2006; MARINOSKI *et al.*, 2014).

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 o percentual de água potável a ser substituída por pluvial (30%). Assim, o volume do reservatório superior de água pluvial foi definido como o volume imediatamente superior à demanda diária de água pluvial da habitação. No entanto, em função de não existirem no mercado alguns volumes de reservatórios, adotou-se o volume mais próximo disponível.

Para o volume do reservatório superior de água potável, adotou-se o volume de 500 L, suficiente para suprir a demanda diária de água potável da residência.

### Dados ambientais

Foi realizado um levantamento de dados referentes a matérias-primas, energia embutida e emissões de CO<sub>2</sub> dos principais equipamentos e componentes dos sistemas hidráulicos prediais analisados.

## Avaliação ambiental

### Matérias-primas

As principais matérias-primas utilizadas para fabricação dos materiais constituintes dos equipamentos e componentes pertencentes aos sistemas foram verificadas em fontes da literatura.

### Energia embutida

A energia embutida no sistema hidráulico predial que utiliza apenas água potável da rede pública ou no sistema hidráulico predial complementado por aproveitamento de água pluvial foi calculada com base nos tipos e quantidades de materiais constituintes deles, conjugados com coeficientes de energia para cada material. A Equação 1 apresenta como foi estimada a energia embutida em um componente do sistema.

$$EE_{\text{comp}} = M \times EE \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

$EE_{\text{comp}}$  é a energia embutida em um componente do sistema (MJ);

$M$  é a massa do componente do sistema (kg/unidade); e

$EE$  é a energia embutida no material predominante no componente (MJ/kg).

Os dados de energia embutida utilizados nas estimativas foram obtidos de fontes da literatura compiladas por Tavares (2006). A obtenção da massa de cada componente foi realizada primeiramente através de contato com as empresas fabricantes de cada componente. Para alguns equipamentos e componentes que não tiveram a massa informada pelos fabricantes, verificou-se no trabalho de Tavares (2006) a massa deles.

Ao longo da vida útil de um sistema são necessárias manutenções e trocas de equipamentos e componentes. De acordo com Adalberth (1996),

para calcular o número de vezes que os componentes devem ser trocados ao longo da vida útil dos sistemas utilizou-se a Equação 2.

$$n_r = \frac{T_{sist}}{T_{comp}} - 1 \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

$n_r$  é o número de vezes que os componentes devem ser trocados ao longo da vida útil do sistema (vezes/vida útil do sistema);

$T_{sist}$  é a vida útil do sistema (anos); e

$T_{comp}$  é a vida útil do equipamento e/ou componente (anos).

A energia embutida total em manutenções e trocas de componentes durante a vida útil dos sistemas foi verificada por meio da Equação 3.

$$EE_{manut} = \sum_{i=1}^n (n_r \times EE_{comp})_i \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

$EE_{manut}$  é a energia embutida total em manutenções e trocas de componentes durante a vida útil do sistema (MJ);

$n_r$  é o número de vezes que os componentes devem ser trocados ao longo da vida útil do sistema (vezes/vida útil do sistema);

$EE_{comp}$  é a energia embutida em um componente do sistema (MJ); e

$n$  é o número de componentes dos sistemas que necessitam de trocas.

A estimativa da energia embutida total durante a vida útil de cada sistema avaliado foi calculada através do somatório da energia embutida de cada componente que o compõe, adicionando-se também a energia embutida total em manutenção e trocas de componentes, conforme apresenta a Equação 4.

$$EE_{sist} = \left( \sum_{i=1}^n EE_{comp i} \right) + EE_{manut} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

$EE_{sist}$  é a energia embutida total durante a vida útil do sistema (MJ);

$EE_{comp}$  é a energia embutida em um componente do sistema (MJ);

$EE_{manut}$  é a energia embutida total em manutenções e trocas de componentes durante a vida útil do sistema (MJ); e

$n$  é o número de componentes do sistema.

## Emissões de CO<sub>2</sub>

As emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) gerado nos processos de fabricação de cada componente foram verificadas por meio da Equação 5.

$$R_{comp} = M \times R \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

$R_{comp}$  é a quantidade de emissão de dióxido de carbono gerado nos processos de fabricação de cada componente do sistema (kg);

$M$  é a massa do componente do sistema (t); e

$R$  é a quantidade de emissão de dióxido de carbono gerado nos processos de fabricação do material constituinte do componente (kg/t).

Os dados relativos à quantidade de emissões de dióxido de carbono gerado na fabricação dos materiais constituintes dos componentes avaliados neste estudo foram obtidos a partir de pesquisas em bibliografias nacionais e internacionais.

Para a estimativa da quantidade total de emissões de CO<sub>2</sub> gerado no sistema utilizou-se a Equação 6.

$$R_{total} = \sum_{i=1}^n R_{comp i} \quad \text{Eq. 6}$$

Onde:

$R_{total}$  é a quantidade total de emissão de dióxido de carbono gerado nos processos de fabricação dos componentes do sistema (kg);

$R_{comp}$  é a quantidade de emissão de dióxido de carbono gerado nos processos de fabricação de cada componente do sistema (kg); e

$n$  é o número de componentes utilizados durante a vida útil do sistema.

As Equações 5 e 6 possibilitaram verificar quais componentes eram responsáveis por maior quantidade de emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em relação ao respectivo total obtido para o sistema.

## Limitações

Inicialmente se almejou utilizar dados primários de energia embutida e de emissões obtidos em empresas fabricantes. Porém, em função da dificuldade de acesso às informações e também da ausência de alguns dados específicos, utilizaram-se dados obtidos através de pesquisa bibliográfica nacional e internacional.

## Avaliação econômica

Na fase de avaliação econômica verificaram-se os custos de implantação e operação dos sistemas. Também foram verificados os benefícios

econômicos gerados e o período de retorno do investimento das opções de sistemas de aproveitamento de água pluvial.

Os custos com manutenção dos sistemas foram calculados por meio da Equação 7.

$$c_{\text{manut}} = \sum_{i=1}^n (n_r \times c_{\text{comp}})_i \quad \text{Eq. 7}$$

Onde:

$c_{\text{manut}}$  são os custos de manutenções e trocas de componentes durante a vida útil do sistema (R\$);

$n_r$  é o número de vezes que os componentes devem ser trocados (vezes/ano);

$c_{\text{comp}}$  são os custos de trocas de componentes e mão de obra para manutenção do sistema (R\$/ano); e

$n$  é o número de componentes dos sistemas que necessitam de trocas.

O custo total dos sistemas hidráulicos prediais analisados, que engloba os custos de instalação e manutenção, foi verificado por meio da Equação 8. Para o sistema hidráulico predial que utiliza apenas água potável da rede pública, o custo total do sistema incluiu todas as despesas com os sistemas hidráulicos prediais de água fria. Para o sistema hidráulico predial complementado por aproveitamento de água pluvial, o custo total englobou, além dos custos com o sistema hidráulico predial de água fria, todos os custos com o sistema hidráulico predial de água pluvial.

$$C_{\text{sist-total}} = C_{\text{materiais}} + C_{\text{mão-de-obra}} = C_{\text{manut}} \quad \text{Eq. 8}$$

Onde:

$C_{\text{sist-total}}$  é o custo total de instalação e manutenção do sistema hidráulico predial (sem ou com aproveitamento de água pluvial) durante a vida útil do sistema (R\$);

$C_{\text{materiais}}$  são os custos de materiais e equipamentos para a instalação do sistema (R\$);

$C_{\text{mão-de-obra}}$  são os custos de mão de obra para a instalação e manutenção do sistema (R\$);

$C_{\text{manut}}$  são os custos de manutenção e trocas dos componentes durante a vida útil do sistema (R\$).

Como os sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial necessitam de bombeamento da água pluvial do reservatório de armazenamento para o reservatório superior por meio de motobombas, foram verificados o consumo e os custos referentes à energia elétrica.

O consumo de energia elétrica devido ao bombeamento de água pluvial foi estimado por

meio da Equação 9. O tempo de operação da motobomba foi estimado em função do padrão do comportamento do consumo de água pluvial e dos volumes dos reservatórios adotados.

$$E_{\text{bomb}} = 30 \times P_m \times t \quad \text{Eq. 9}$$

Onde:

$E_{\text{bomb}}$  é a energia elétrica mensal consumida para o bombeamento de água pluvial (kWh/mês);

$P_m$  é a potência da motobomba (kW); e

$t$  é o tempo diário de operação da motobomba (h/dia).

O custo mensal de energia elétrica devido ao bombeamento de água pluvial, que teve como base o valor cobrado pela concessionária de energia elétrica, foi determinado por meio da Equação 10.

$$C_{\text{bomb}} = E_{\text{bomb}} \times c_c \quad \text{Eq. 10}$$

Onde:

$C_{\text{bomb}}$  é o custo mensal de energia elétrica para o bombeamento de água pluvial (R\$/mês);

$E_{\text{bomb}}$  é a energia elétrica mensal consumida para o bombeamento de água pluvial (kWh/mês); e

$c_c$  é o valor cobrado pela concessionária de energia elétrica (R\$/kWh).

Para obter o benefício econômico gerado com a implantação dos sistemas de aproveitamento de água pluvial verificou-se o valor do metro cúbico de água fornecida pela concessionária local, de acordo com a tipologia da edificação em estudo. Por meio da aplicação da Equação 11 verificou-se o custo de água potável, considerando o potencial de economia de água potável obtido através do aproveitamento de água pluvial.

$$c_{\text{pluvial}} = C_{\text{potável}} \times \left(1 - \frac{P_{\text{ec}}}{100}\right) \times c_c \quad \text{Eq. 11}$$

Onde:

$c_{\text{pluvial}}$  é o custo mensal de água potável considerando a utilização de água pluvial (R\$/mês);

$C_{\text{potável}}$  é o consumo mensal de água potável sem uso de água pluvial (m<sup>3</sup>/mês);

$P_{\text{ec}}$  é o potencial de economia de água potável obtido por meio do aproveitamento de água pluvial (%); e

$c_c$  é o valor cobrado pela concessionária pela água potável consumida e o esgoto gerado de acordo com a tipologia e o padrão da edificação (R\$/m<sup>3</sup>).

O benefício monetário gerado pela implantação do sistema foi obtido por meio da Equação 12, que apresenta a diferença entre o custo mensal de água

potável e o novo custo mensal com o aproveitamento de água pluvial, considerando os custos mensais de energia elétrica para o bombeamento de água pluvial.

$$B_m = C_{\text{potável}} - (C_{\text{pluvial}} + C_{\text{bomb}}) \quad \text{Eq. 12}$$

Onde:

$B_m$  é o benefício monetário gerado pelo aproveitamento de água pluvial (R\$/mês);

$C_{\text{potável}}$  é o custo mensal de água potável sem uso de água pluvial (m<sup>3</sup>/mês);

$C_{\text{pluvial}}$  é o custo mensal de água potável considerando a utilização de água pluvial (R\$/mês); e

$C_{\text{bomb}}$  é o custo mensal de energia elétrica para o bombeamento de água pluvial (R\$/mês).

Depois de verificados todos os custos e o benefício gerado, a próxima etapa da análise de viabilidade econômica para a implantação dos sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial foi a verificação do período de retorno do investimento inicial. Porém, para obter o período de retorno é necessário calcular primeiramente o valor do investimento inicial de implantação dos sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial.

A Equação 13 apresenta os custos considerados para o cálculo do investimento inicial, que se referem aos custos dos equipamentos e componentes necessários apenas para realizar o aproveitamento de água pluvial (motobombas, tubos, conexões, reservatórios superior e inferior de água pluvial, dispositivos e acessórios). Ressalta-se que o valor do investimento inicial não engloba os custos com manutenções.

$$I_{\text{inicial}} = C_{\text{materiais\_pluv}} + C_{\text{mão-de-obra\_pluv}} \quad \text{Eq. 13}$$

Onde:

$I_{\text{inicial}}$  é o investimento inicial para instalação de equipamentos e componentes necessários para realizar o aproveitamento de água pluvial (R\$);

$C_{\text{materiais\_pluv}}$  são os custos de equipamentos e componentes necessários para realizar o aproveitamento de água pluvial (R\$); e

$C_{\text{mão-de-obra\_pluv}}$  são os custos de mão de obra para instalação de equipamentos e componentes necessários para realizar o aproveitamento de água pluvial (R\$).

Calculou-se o período de retorno do investimento inicial por meio do método do *payback* descontado, que leva em consideração o valor do dinheiro no tempo, descontando os fluxos de caixa a determinada taxa, de acordo com a Equação 14.

$$I_{\text{inicial}} \leq \sum_{i=1}^m \frac{B_m}{(1+r)^m} \quad \text{Eq. 14}$$

Onde:

$I_{\text{inicial}}$  é o investimento inicial para instalação de equipamentos e componentes necessários para realizar o aproveitamento de água pluvial (R\$);

$m$  é o tempo de retorno (meses);

$B_m$  é o benefício monetário mensal gerado pelo aproveitamento de água pluvial (R\$/mês); e

$r$  é a taxa mínima de atratividade (adimensional).

O tempo de retorno do capital é numericamente igual ao valor de 'm' que iguala ou torna imediatamente inferior a condição expressa pela Equação 14 para  $I_{\text{inicial}}$  (investimento inicial). Considerou-se que um sistema é viável financeiramente quando apresenta período de retorno inferior à vida útil do sistema.

## Indicadores de viabilidade

Os indicadores de viabilidade são índices quantitativos, propostos com o objetivo de possibilitar análises comparativas, referentes a aspectos ambientais e econômicos de sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública e de sistemas hidráulicos prediais que utilizam água potável da rede pública complementados por aproveitamento de água pluvial.

Com base nesses indicadores foi possível observar a relação entre a energia embutida no sistema e o consumo de água potável na edificação, considerando ou não o aproveitamento de água pluvial. Além disso, verificou-se a relação entre o consumo de água e algumas variáveis obtidas nas etapas de avaliação ambiental e econômica.

Todos os indicadores propostos estão relacionados com a unidade funcional (consumo de água potável na residência durante a vida útil dos sistemas). Quanto maior o valor dos indicadores relacionados a aspectos ambientais, maior o impacto ambiental do sistema. Com relação ao indicador relativo a aspectos econômicos, quanto maior o valor deste indicador, maiores os custos do sistema.

Os indicadores propostos nas Equações 15 a 18 foram calculados considerando dois cenários para a mesma edificação:

(a) (1<sup>o</sup>) considerando que a edificação possui um sistema hidráulico predial que utiliza apenas água potável da rede pública; ou

(b) (2<sup>o</sup>) considerando que a edificação possui um sistema hidráulico predial que utiliza água potável da rede pública complementado por aproveitamento de água pluvial.

Quando é realizado o aproveitamento de água pluvial, o consumo de água potável é reduzido, no entanto é necessária maior quantidade de equipamentos e componentes para o funcionamento do sistema hidráulico predial, o que implica maior energia embutida total no sistema.

Desse modo, por meio da Equação 15 foi verificado o indicador de energia embutida por unidade de consumo de água potável. Para calcular este indicador foi necessário considerar a energia consumida (energia embutida) por metro cúbico de água, obtida em dados de serviços de saneamento da cidade ou região em que a edificação se localiza.

$$I_{EE} = \frac{EE_{sist} + (C_{\text{água}} \times EE_{\text{conces.água}})}{C_{\text{água}}} \quad \text{Eq. 15}$$

Onde:

$I_{EE}$  é o indicador de energia embutida por consumo de água potável (MJ/m<sup>3</sup>);

$EE_{sist}$  é a energia embutida na vida útil do sistema hidráulico predial (MJ);

$C_{\text{água}}$  é o consumo de água potável na residência durante a vida útil do sistema (m<sup>3</sup>); e

$EE_{\text{conces.água}}$  é a energia consumida por metro cúbico de água produzida na concessionária de abastecimento de água local (MJ/m<sup>3</sup>).

Assim, através do indicador de energia embutida por consumo de água ( $I_{EE}$ ) foi possível avaliar qual sistema hidráulico predial é mais viável ambientalmente.

A energia embutida por consumo de água nas manutenções necessárias de acordo com a vida útil dos componentes do sistema foi verificada por meio da Equação 16.

$$I_{\text{manut}} = \frac{EE_{\text{manut}}}{C_{\text{água}}} \quad \text{Eq. 16}$$

Onde:

$I_{\text{manut}}$  é o indicador de manutenções do sistema durante sua vida útil por consumo de água potável (MJ/m<sup>3</sup>);

$EE_{\text{manut}}$  é a energia embutida total em manutenções e trocas de componentes durante a vida útil do sistema (MJ); e

$C_{\text{água}}$  é o consumo de água potável na residência durante a vida útil do sistema (m<sup>3</sup>).

Para calcular o indicador de emissões de CO<sub>2</sub>, principal poluente verificado nos processos de fabricação dos componentes do sistema por consumo de água potável, utilizou-se a Equação 17.

$$I_{\text{emis}} = \frac{R_{\text{total\_principal}}}{C_{\text{água}}} \quad \text{Eq. 17}$$

Onde:

$I_{\text{emis}}$  é o indicador de emissão de CO<sub>2</sub> gerado na fabricação dos componentes do sistema por consumo de água potável (kg/m<sup>3</sup>);

$R_{\text{total\_principal}}$  é a quantidade total de emissão de CO<sub>2</sub> gerado na fabricação dos componentes utilizados na vida útil do sistema (kg); e

$C_{\text{água}}$  é o consumo de água potável na residência durante a vida útil do sistema (m<sup>3</sup>).

Para calcular o indicador de custo total de instalação do sistema por consumo de água potável na edificação utilizou-se a Equação 18.

$$I_{\text{custos\_sist}} = \frac{C_{\text{sist\_total}}}{C_{\text{água}}} \quad \text{Eq. 18}$$

Onde:

$I_{\text{custos\_sist}}$  é o indicador de custo total do sistema por consumo de água potável (R\$/m<sup>3</sup>);

$C_{\text{sist\_total}}$  é o custo total de instalação e manutenção durante a vida útil do sistema hidráulico predial (R\$); e

$C_{\text{água}}$  é o consumo de água potável na residência durante a vida útil do sistema (m<sup>3</sup>).

## Comparações entre os sistemas

As comparações entre os sistemas para os dois cenários (com ou sem uso de água pluvial) foram realizadas observando-se os indicadores calculados por meio das Equações 15 a 18.

O sistema que apresentou o menor valor para os indicadores foi considerado o menos impactante ambientalmente. O sistema que apresentou valor mais baixo para o indicador de custo total de instalação por consumo de água potável possui menor custo total por metro cúbico de água potável consumido e, portanto, foi considerado mais viável economicamente.

## Resultados

Neste item apresentam-se os resultados obtidos no estudo de caso de um projeto de uma residência de baixo padrão localizada em Florianópolis, SC.

## Dimensionamento dos reservatórios e economia de água

Depois de realizadas as simulações no programa Netuno, obtiveram-se os dois principais resultados da etapa de dimensionamento dos reservatórios dos sistemas analisados: volume ideal do reservatório inferior de armazenamento de água pluvial e potencial de economia de água potável. Um resumo desses principais resultados encontra-se na Tabela 3.

O volume ideal de reservatório inferior indicado pelo programa Netuno foi de 4,0 m<sup>3</sup>. Devido ao fato de a área de captação da residência ser pequena, o dimensionamento indicou a necessidade de armazenar esse volume de água pluvial para atender à demanda de água pluvial.

O valor obtido para o potencial de economia de água potável (potencial de atendimento da demanda de água) com o aproveitamento de água pluvial foi de 27,7%. Observou-se que esse potencial de economia de água foi superior ao encontrado em outros estudos similares realizados em habitações de interesse social no Brasil, como o estudo de Peters *et al.* (2006), com potencial de economia de água igual a 20% da demanda residencial, e também Cohim, Garcia e Kiperstok (2008), com 13%, e Moruzzi, Oliveira e Carvalho (2008), com 14%.

É importante ressaltar que o máximo potencial de economia de água potável que um sistema de aproveitamento de água pluvial proporciona é igual à demanda de água pluvial (ou demanda de água não potável) da residência avaliada.

## Unidade funcional

De acordo com o potencial de economia de água potável obtido por meio de simulações no programa Netuno (27,71%), calculou-se a unidade

funcional, ou seja, o volume de água potável consumido na residência durante a vida útil dos sistemas, conforme apresentado na Tabela 4.

## Avaliação ambiental

### Matérias-primas

Verificaram-se as principais matérias-primas utilizadas para a fabricação dos seguintes equipamentos e componentes dos sistemas: motobombas, reservatórios, tubulações e conexões.

A maior parte das tubulações e conexões presentes nos sistemas é fabricada em policloreto de vinila (PVC). A resina de PVC compõe 85% da constituição dos tubos, e os 15% restantes são formados por aditivos. Nas conexões a resina representa 90%, sendo os 10% restantes compostos de aditivos (ARANTES, 2008). A principal matéria-prima que compõe o PVC é o cloro, derivado do sal marinho, que corresponde a 57% de sua composição. Os 43% restantes são de eteno, proveniente da nafta do petróleo ou do gás natural (BORGES, 2004).

Os reservatórios superiores de água potável e de água pluvial – e também uma opção de reservatório inferior – são confeccionados em plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV), onde, em geral, utilizam-se como insumos e matérias-primas areia, calcário, caulim e resina poliéster (FELTRAN, 2008).

Outra opção de reservatório inferior é fabricada com polietileno de alta densidade (Pead), polímero termoplástico derivado do eteno, proveniente da nafta do petróleo ou do gás natural. A terceira opção de reservatório inferior é confeccionada com concreto armado, composto de areia, cimento, brita, cal, aço e água (DEPARTAMENTO..., 2010a, 2010b).

Tabela 3 - Principais resultados do dimensionamento do reservatório inferior de armazenamento de água pluvial obtidos por meio do programa Netuno para os três sistemas analisados

Percentual de água potável a ser substituída por pluvial (%)	Volume ideal do reservatório inferior (m <sup>3</sup> )	Potencial de economia de água potável (%)	Economia de água potável (litros/dia)	Economia de água potável (litros/mês)	Volume do reservatório superior de água pluvial (litros)
30	4,0	27,71	138,55	4.156,50	250

Tabela 4 - Unidade funcional utilizada nas comparações entre os sistemas hidráulicos prediais

Sistemas	Percentual de água potável a ser substituída por pluvial (%)	Unidade funcional (m <sup>3</sup> )
Sistema A	0	3.650,0
Sistemas 1, 2 e 3	30	2.638,6

Por fim, verificou-se que as motobombas têm como principal constituinte o ferro fundido, cujas principais matérias-primas são minério de ferro, calcário e carvão.

### Energia embutida

A energia embutida de cada componente foi estimada por meio da Equação 1, proposta no método. A energia embutida total em manutenções e trocas de componentes foi calculada por meio das Equações 2 e 3. A estimativa da energia embutida total no sistema foi calculada por meio da Equação 4.

A estimativa de energia embutida para as opções de sistemas hidráulicos prediais encontra-se na Tabela 5. Esses valores de energia embutida englobam também a energia embutida em equipamentos e componentes referentes às manutenções e trocas necessárias para a vida útil dos sistemas.

Entre as opções de sistemas de aproveitamento de água pluvial analisadas, verificou-se que o Sistema 1 possui os menores valores de energia embutida total.

Os valores de energia embutida do Sistema 1 (20.331,6 MJ) e do Sistema 2 (29.136,6 MJ) explicam-se em função de o principal fator de influência sobre os resultados da estimativa de energia embutida nos sistemas hidráulicos prediais analisados ser a massa dos reservatórios inferiores junto com o respectivo índice de energia embutida nos materiais componentes de cada opção.

### Emissões de CO<sub>2</sub>

A verificação das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) gerado na fabricação dos materiais constituintes dos principais componentes pertencentes aos sistemas analisados foi realizada a partir de pesquisas em bibliografias nacionais e internacionais.

Considerou-se um fator de 45 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada de concreto produzido (TAVARES, 2006) e de 1.792 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada de polietileno produzido (PRÉ CONSULTANTS..., 2010). Com relação ao PRFV, consideraram-se 900 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada de PRFV produzido. As emissões geradas nos processos de fabricação do PRFV referem-se à mineração do dióxido de

silício – também chamado de sílica (SiO<sub>2</sub>) –, ao transporte até a indústria e ao processamento do minério até sua transformação em fibra de vidro (INSTITUT..., 2001).

Os dados referentes às emissões de CO<sub>2</sub> do concreto são nacionais. No entanto, cabe salientar que, devido à ausência de informações nacionais para polietileno e PRFV, foram utilizados no estudo dados estrangeiros de emissões de CO<sub>2</sub>, que refletem a realidade do local onde foram coletados. Mesmo assim, esses dados contribuíram para que fosse possível obter uma visão geral dos aspectos ambientais dos sistemas em estudo.

Por meio das Equações 5 e 6 foi estimada a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> gerado nos processos de fabricação dos seguintes materiais: PRFV, PEAD e concreto armado. A Figura 4 apresenta a estimativa das emissões de dióxido de carbono gerado nos processos de fabricação dos componentes do Sistema A e dos Sistemas 1, 2 e 3.

O componente dos sistemas complementados por aproveitamento de água pluvial que apresentou maior influência na geração de emissões de CO<sub>2</sub> foi o reservatório inferior de armazenamento de água pluvial.

Também se constatou que entre os três sistemas analisados o Sistema 3 gerou maior quantidade de emissões poluentes, pois a massa dos reservatórios inferiores de concreto armado é muito superior à massa das demais opções avaliadas, e por isso se obteve maior quantidade de emissões nos sistemas com reservatórios inferiores desse material.

### Avaliação econômica

Inicialmente, verificaram-se, por meio de pesquisa de preço em lojas de materiais de construção de Florianópolis, os custos dos sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública, e também os custos das três opções de sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial.

Os valores dos custos totais de instalação (materiais e mão de obra) e manutenção durante a vida útil dos sistemas hidráulicos prediais encontram-se na Tabela 6. Custos de ensaios para a verificação da qualidade da água não foram incluídos nos custos totais.

Tabela 5 - Estimativa de energia embutida nos sistemas hidráulicos prediais

Percentual de água potável a ser substituída por pluvial (%)	Energia embutida total (MJ)			
	Sistema A	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
0	13.014,9	–	–	–
30	–	20.331,6	29.136,6	40.734,2

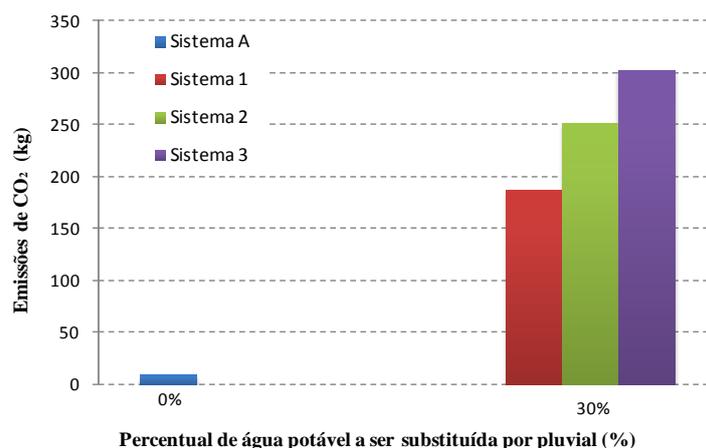
Figura 4 - Emissões de CO<sub>2</sub> do Sistema A e dos Sistemas 1, 2 e 3

Tabela 6 - Custos totais dos sistemas hidráulicos prediais

Percentual de água potável a ser substituída por pluvial (%)	Custos totais (R\$)			
	Sistema A	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
0	996,76	–	–	–
30	–	6.942,49	7.362,49	5.758,49

O investimento inicial para a implantação de cada opção de sistema de aproveitamento de água pluvial encontra-se na Tabela 7. Esses custos correspondem apenas à mão de obra e à aquisição de equipamentos e componentes necessários para realizar o aproveitamento de água pluvial. Os custos de investimento inicial foram utilizados para calcular os períodos de retorno, através do *payback* descontado.

Os custos de operação dos sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial obtidos na avaliação econômica encontram-se na Tabela 8.

Apesar de a residência analisada possuir 61,3 m<sup>2</sup>, adotou-se a Tarifa Residencial “B”, aplicada aos imóveis com consumo entre 11 e 25 m<sup>3</sup> por mês, cujo valor praticado atualmente para os primeiros 10 m<sup>3</sup> de água consumida é de R\$ 24,47/mês, e para o consumo excedente aos primeiros 10 m<sup>3</sup>, de R\$ 4,4844/m<sup>3</sup>. Muitas habitações de baixo padrão se enquadram na Tarifa Residencial “B”, e não na Tarifa Social, que é aplicada apenas aos clientes que comprovadamente residam em imóvel de até 70 m<sup>2</sup> de área construída para fins residenciais, tenham rendimento familiar igual ou inferior a dois salários mínimos e não possuam veículo automotor nem linha telefônica fixa (COMPANHIA..., 2010).

O custo mensal de energia elétrica se mostrou muito baixo em comparação aos outros custos levantados.

A economia mensal de água gerada na residência obtida foi de 4,16 m<sup>3</sup>, e o benefício monetário

mensal de cada sistema foi de R\$ 37,27. A economia mensal foi calculada com base no potencial de economia de água potável, resultado obtido no programa Netuno. Para o cálculo dos benefícios efetivos, ressalta-se que se diminuem do valor do benefício os respectivos custos mensais de energia elétrica para o bombeamento, conforme exposto na Equação 12.

Os períodos de retorno obtidos para os sistemas de aproveitamento de água pluvial estão apresentados na Tabela 9.

Na situação analisada, os períodos de retorno obtidos para os Sistemas 1 e 2 foram considerados financeiramente inviáveis. Apenas o período de retorno do Sistema 3 foi considerado financeiramente viável, pois se apresentou inferior à vida útil do sistema.

Os períodos de retorno obtidos são similares aos encontrados por Chaib *et al.* (2015) em estudo realizado em diferentes projetos padrão de edificações residenciais unifamiliares. Para residência de baixo padrão, Chaib *et al.* (2015) verificaram elevado tempo para o retorno do capital investido (18,3 anos), considerando um tempo de análise de 20 anos e taxa mínima de atratividade de 5% ao ano. Os autores concluíram que, mesmo com período de retorno elevado, existe viabilidade do sistema, o que sugere a necessidade de avaliação de modelos de financiamento e incentivo à disseminação de sistemas de aproveitamento de água pluvial.

Tabela 7 - Investimento inicial para instalação de equipamentos e componentes necessários para realizar o aproveitamento de água pluvial

Investimento inicial (R\$)		
Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
5.186,19	5.606,19	4.002,19

Tabela 8 - Custos de operação dos sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial

Custos verificados	Valor (R\$/mês)
Custo da energia elétrica para o bombeamento	0,08
Custo de água potável e esgoto sem uso de água pluvial	93,78
Custo de água potável e esgoto com uso de água pluvial	56,51
Tarifa de água cobrada pela concessionária	Valores das tarifas de água praticadas para a categoria Residencial "B" (COMPANHIA..., 2010)
Tarifa de esgoto cobrada pela concessionária	

Tabela 9 - Períodos de retorno dos sistemas de aproveitamento de água pluvial

Período de retorno (anos)		
Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
25,3	32,7	14,5

## Indicadores de viabilidade

Os indicadores de viabilidade foram calculados utilizando-se os dados obtidos na estimativa de energia embutida, na estimativa de emissões de CO<sub>2</sub> e na avaliação econômica.

Foram utilizados para o cálculo dos indicadores de energia embutida por consumo de água potável (I<sub>EE</sub>) dados dos serviços de saneamento da cidade de Florianópolis, SC, obtidos em SNIS (SISTEMA..., 2008), apresentados na Tabela 10.

A Tabela 11 apresenta os valores dos indicadores de viabilidade obtidos para o sistema hidráulico predial que utiliza apenas água potável da rede pública e para as três opções de sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial.

Constatou-se que para a residência analisada o valor obtido para o indicador de manutenções do sistema durante sua vida útil por consumo de água potável (I<sub>manut</sub>) foi igual para as três opções de sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial. Isso ocorreu porque os equipamentos/componentes que necessitam de trocas (torneiras, motobombas, válvula solenoide e boia de nível) e o número de vezes que devem ser trocados por vida útil são os mesmos para os três sistemas.

Os indicadores obtidos apresentaram o mesmo sentido de eficiência, ou seja, pode-se considerar que, quanto maior o valor dos indicadores relacionados a aspectos ambientais, maior será o impacto ambiental do sistema. Com relação ao indicador relativo a aspectos econômicos, quanto maior o valor deste indicador, maiores os custos totais do sistema.

## Comparações entre os sistemas

As comparações entre o sistema hidráulico predial que utiliza apenas água potável da rede pública e as três opções de sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial foram realizadas utilizando-se os indicadores propostos neste estudo.

Assim, com base nos indicadores de energia embutida (I<sub>EE</sub>) constatou-se que a energia embutida em cada metro cúbico de água potável fornecido por sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial foi maior que a energia embutida por metro cúbico de água potável fornecido por sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública.

Tabela 10 - Consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água de Florianópolis

Sistemas de abastecimento de água	(kWh/m <sup>3</sup> )	(MJ/m <sup>3</sup> )
Consumo de energia elétrica por m <sup>3</sup> de água produzida	0,33	1,19

Tabela 11 - Indicadores de viabilidade dos sistemas para a residência analisada

Sistemas	P <sub>a</sub> (%)	I <sub>EE</sub> (MJ/m <sup>3</sup> )	I <sub>manut</sub> (MJ/m <sup>3</sup> )	I <sub>emis</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	I <sub>custos_sist</sub> (R\$/m <sup>3</sup> )
Sistema A	0	4,76	0,05	0,003	0,26
Sistema 1	30	8,97	0,29	0,08	2,63
Sistema 2	30	12,30	0,29	0,11	2,79
Sistema 3	30	16,70	0,29	0,13	2,18

Nota: Legenda:

P<sub>a</sub> é o percentual de água potável a ser substituída por pluvial;

I<sub>EE</sub> é o indicador de energia embutida por consumo de água potável (MJ/m<sup>3</sup>);

I<sub>manut</sub> é o indicador de manutenções do sistema durante sua vida útil por consumo de água potável (MJ/m<sup>3</sup>);

I<sub>emis</sub> é o indicador de emissão de CO<sub>2</sub> gerado na fabricação dos componentes do sistema por consumo de água potável (kg/m<sup>3</sup>); e

I<sub>custos\_sist</sub> é o indicador de custo total do sistema por consumo de água potável (R\$/m<sup>3</sup>).

Ainda em relação aos indicadores de energia embutida, verificou-se que o Sistema 1 apresentou os menores índices, portanto é mais viável ambientalmente que as demais opções de sistemas complementados por aproveitamento de água pluvial. No entanto, ressalta-se que para o cálculo desses indicadores de energia embutida foram utilizados dados de consumo de energia elétrica por metro cúbico de água produzida obtidos no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Esses dados referem-se à quantidade anual de energia elétrica consumida nos sistemas de abastecimento de água, incluindo todas as unidades que compõem os sistemas, desde as operacionais até as administrativas. Porém, não incluem a energia embutida para a construção de toda a infraestrutura da concessionária e a energia consumida na produção dos produtos químicos destinados ao tratamento de água e análises de amostras de água. Desse modo, em função da ausência de dados disponíveis, a análise dos impactos ambientais desenvolvida neste estudo é referente a apenas alguns parâmetros. Com a futura inclusão desses dados, os sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial provavelmente apresentarão melhor desempenho ambiental quando comparados aos sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública.

Com relação ao indicador de manutenções do sistema, verificou-se que o indicador médio das opções de sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial foi aproximadamente 6,6 vezes maior do que o indicador médio de manutenções do sistema hidráulico predial que utiliza apenas água potável da rede pública.

Diante dos indicadores de emissão de CO<sub>2</sub> (I<sub>emis</sub>), verificou-se que, quando não é realizado aproveitamento de água pluvial, os sistemas hidráulicos prediais apresentam quantidade menor de emissão de CO<sub>2</sub> por metro cúbico de água consumido, logo são mais viáveis ambientalmente. Entre os sistemas complementados por aproveitamento de água pluvial o Sistema 3 foi o que apresentou o maior indicador de emissão de CO<sub>2</sub> e foi considerado inviável ambientalmente.

Analisando o indicador de custos total das três opções de sistemas complementados por aproveitamento de água pluvial, percebeu-se que o Sistema 3 apresentou o menor custo total por consumo de água potável, e, portanto, foi considerado mais viável economicamente que os demais sistemas.

Para futuros trabalhos, o uso de análise de decisão multicritério poderá ser útil para avaliar diferentes sistemas alternativos de abastecimento de água e também realizar comparações deles com o sistema hidráulico predial que utiliza apenas água potável da rede pública. A análise de decisão multicritério facilitaria a tomada de decisão quanto à viabilidade dos sistemas, na busca pela opção que apresente o melhor desempenho (LADE *et al.*, 2012).

## Conclusões

Apresentam-se aqui as conclusões obtidas neste trabalho, referentes à análise de viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial em um estudo de caso para um projeto de uma edificação de baixo padrão localizada em Florianópolis, SC.

O potencial de economia de água potável obtido com o aproveitamento de água pluvial na

residência foi 27,71% para um reservatório inferior de armazenamento de água pluvial com 4,0 m<sup>3</sup> de volume.

Foram avaliadas três diferentes opções de sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial, que apresentaram como materiais constituintes dos reservatórios inferiores plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV), polietileno de alta densidade (PEAD) e concreto armado.

Na avaliação ambiental, verificou-se que, mesmo considerando a economia de água potável, os sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial utilizam mais energia embutida ao longo do ciclo de vida e geram mais emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) nos processos de fabricação de seus componentes. Desse modo, os sistemas que possuem altos níveis de energia embutida apresentam maior quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> e, assim, ocasionam maiores impactos ambientais.

Na avaliação econômica os períodos de retorno do investimento obtidos para opções de sistemas analisadas na residência foram considerados financeiramente inviáveis, exceto o Sistema 3 (apresenta reservatório inferior de concreto armado). No entanto, os períodos de retorno obtidos poderiam ser reduzidos se a demanda de água pluvial fosse maior que a adotada (30%) e também se os sistemas fossem implantados em cidades com tarifas de água mais elevadas que as tarifas aplicadas em Florianópolis.

Além disso, é importante considerar que o custo da água potável tende a aumentar, principalmente devido à poluição dos mananciais e a ações públicas como a cobrança pela captação da água. Isso contribuirá para que os períodos de retorno do investimento para utilização do aproveitamento de água pluvial sejam menores.

Por fim, por meio da análise entre os indicadores das três opções de sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial, verificou-se que o Sistema 1 (apresenta reservatório inferior de PRFV) é mais viável ambientalmente entre os sistemas analisados. O Sistema 3 foi considerado o sistema mais viável economicamente, pois apresentou o menor indicador de custo total de instalação por consumo de água potável e também o menor período de retorno. No entanto, ressalta-se que sob a abordagem dos indicadores avaliados a análise ambiental e econômica desenvolvida é referente a apenas alguns parâmetros. Caso fossem considerados outros indicadores, possivelmente o resultado da análise poderia ser outro.

Com base neste estudo, demonstrou-se ser de fundamental importância analisar a viabilidade ambiental e econômica antes da implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial para que possam ser realizadas as melhores escolhas em relação aos materiais componentes dos sistemas, visando à sustentabilidade nas edificações.

## Referências

- ADALBERTH, K. Energy Use During the Life Cycle of Buildings: a method. **Building and Environment**, Oxford, v. 32, n. 4, p. 317-320, 1996.
- ARANTES, L. O. **Avaliação Comparativa do Ciclo de Vida de Sistemas de Aquecimento Solar de Água Utilizados em Habitações de Padrão Baixo**. Uberlândia, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044**: avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009.
- BOCANEGRA-MARTÍNEZ, A. *et al.* Optimal Design of Rainwater Collecting Systems For Domestic Use Into a Residential Development. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 84, p. 44-56, 2014.
- BORGES, F. J. **Inventário do Ciclo de Vida do PVC Produzido no Brasil**. São Paulo, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- CALKINS, M. **Materials For Sustainable Sites: a complete guide to evaluation, selection, and use of sustainable construction materials**. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2009.
- CAMPISANO, A.; MODICA, C. Optimal Sizing of Storage Tanks for Domestic Rainwater Harvesting in Sicily. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 63, p. 9-16, 2012.
- CAMPOS, M. A. S.; AMORIM, S. V. Aproveitamento de Água Pluvial em Um Edifício Residencial Multifamiliar no Município de São Carlos. In: CONFERÊNCIA LATINOAMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1.; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., São Paulo, 2004. **Anais...** São Paulo, 2004.

- CAMPOS, M. A. S.; ILHA, M. S. de O.; GRANJA, A. D. Investimento em Sistemas de Aproveitamento de Água Pluvial: estudo de caso para uma edificação residencial multifamiliar no município de Campinas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO EM GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 2007, Campinas, 2007. **Anais eletrônicos...** Campinas, 2007.
- CHAIB, E. B. *et al.* Avaliação do Potencial de Redução do Consumo de Água Potável por Meio da Implantação de Sistemas de Aproveitamento de Água de Chuva em Edificações Unifamiliares. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 3, p. 605-614, 2015.
- COHIM, E.; GARCIA, A. P. A.; KIPERSTOK, A. Captação e Utilização de Água Pluvial em Residências Para população de Baixa Renda em Áreas Urbanas. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 9., Salvador, 2008. **Anais...** Salvador, 2008.
- COMPANHIA CATARINENSE DE ÁGUAS E SANEAMENTO. **Tarifas**. Disponível em: <<http://www.casan.com.br>>. Acesso em: 10 set. asan2010.
- DANTAS, C. T. *et al.* Caracterização do Uso de Água em Residências de Interesse Social em Itajubá. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., Florianópolis, 2006. **Anais...** Florianópolis, 2006.
- DEPARTAMENTO NACIONAL E PRODUÇÃO MINERAL. **Anuário Mineral Brasileiro 2006**. Disponível em: <<http://www.dnmp.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2006/Apendices.pdf>>. Acesso em: 4 maio 2010b.
- DEPARTAMENTO NACIONAL E PRODUÇÃO MINERAL. **Balanço Mineral Brasileiro 2001**. Disponível em: <[http://www.dnmp.gov.br/mostra\\_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=361](http://www.dnmp.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=361)>. Acesso em: 4 maio 2010a.
- DIAS, C. S.; ATHAYDE JUNIOR, G. B.; GADELHA, C. L. M. Viabilidade Econômica e Social do Aproveitamento de Água Pluviais em Residências na Cidade de João Pessoa. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS: DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO, 10., São Carlos, 2007. **Anais...** 2007.
- DOMÈNECH, L.; SAURÍ, D. A Comparative Appraisal of the Use of Rainwater Harvesting in Single and Multi-Family Buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. **Journal of Cleaner Production**, v. 6-7, p. 598-608, 2011.
- DORNELLES, F.; TASSI, R.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação das Técnicas de Dimensionamento de Reservatórios Para Aproveitamento de Água de Chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n. 2, p. 59-68, 2010.
- FELTRAN, M. B. **Compósitos de PVC Reforçados Com Fibra de Vidro**: uso de técnicas de processamento convencionais da indústria brasileira. São Paulo, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- FRANCI, T. K.; GONÇALVES, R. F. Reúso de Águas Cinzas em Edificações Residenciais Unifamiliares: um luxo economicamente viável para poucos. In: WORKSHOP REDE DE PESQUISA: USO RACIONAL DA ÁGUA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL, 3., Curitiba, 2012. **Anais...** Curitiba, 2012.
- FRIEDRICH, E.; PILLAY, S.; BUCKLEY C. A. **The Use of LCA in the Water Industry and the Case For an Environmental Performance Indicator**. Water Research Commission. Disponível em: <<http://www.wrc.org.za>>. Acesso em: 5 ago. 2009.
- GARCIA, A. P. A. A. *et al.* Viabilidade Econômica de Sistemas Para Captação de Água de Chuva em Habitações Populares de Salvador, Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 27., Goiânia, 2013. **Anais...** Goiânia, 2013.
- GHSI, E. Parameters Influencing the Sizing of Rainwater Tanks. **Water Resources Management**, v. 24, p. 2381-2403, 2010.
- GHSI, E. Potential For Potable Water Savings by Using Rainwater in the Residential Sector of Brazil. **Building and Environment**, v. 41, n. 11, p. 1544-1550, 2006.
- GHSI, E.; CARDOSO, K. A.; RUPP, R. F. Short-Term Versus Long-Term Rainfall Time Series in the Assessment of Potable Water Savings by Using Rainwater in Houses. **Journal of Environmental Management**, v. 100, p. 109-119, 2012.

- GHISI, E.; CORDOVA, M. M.; ROCHA, V. L. **Netuno**. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/software/netuno>>. Acesso em: 5 jan. 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.
- GHISI, E.; SCHONDERMARK, P. N. Investment Feasibility Analysis of Rainwater Use in Residences. **Water Resources Management**, v. 27, p. 2555-2576, 2013.
- INSTITUT WALLON DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE ET SOCIAL. Housing System Analysis. In: INSTITUT WALLON DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE ET SOCIAL. **Greenhouse Gas Emissions Reduction and Material Flows**. Bruxelles, 2001.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 4 jun. 2016.
- JOHNSON, C.; HANDMER, J. Water Supply in England and Wales: whose responsibility is it when things go wrong? **Water Policy**, v. 4, n. 5, p. 345-366, 2002.
- JONES, M. P.; HUNT, W. F. Performance of Rainwater Harvesting Systems in the Southeastern United States. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 10, p. 623-629, 2010.
- KIM, R. H. *et al.* Reuse of Greywater and Rainwater Using Fiber Filter Media and Metal Membrane. **Desalination**, v. 202, p. 326-332, 2007.
- LADE, O. *et al.* Use of Multi-Criteria Decision Analysis Methods For Water Supply Problems: a framework for improved rainwater harvesting. **Journal of Environmental Science and Engineering**, v. 1, p. 909-917, 2012.
- LEE, K. E. *et al.* Rainwater Harvesting as an Strategy Water Resource in Malaysia: potential, policies and development. **Journal of Cleaner Production**, v. 126, p. 218-22, 2016.
- LIANG, X.; VAN DIJK, M. P. Economic and financial Analysis on Rainwater Harvesting for Agricultural Irrigation in the Rural Areas of Beijing. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 11, p. 1100-1108, 2011.
- MAHMOUD W. H. *et al.* Rainfall Conditions and Rainwater Harvesting Potential in the Urban Area of Khartoum. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 91, p. 89-99, 2014.
- 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. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1.; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., São Paulo, 2004. **Anais...** São Paulo, 2004.
- MARINOSKI, A. K. *et al.* Usos Finais de Água em Habitações de Interesse Social no Sul do Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., Maceió, 2014. **Anais...** Maceió, 2014.
- MARINOSKI, D. L.; GHISI, E.; GÓMEZ, L. A. Aproveitamento de Água Pluvial e Dimensionamento de Reservatório Para Fins Não Potáveis: estudo de caso em um conjunto residencial localizado em Florianópolis-SC. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1.; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., São Paulo, 2004. **Anais...** São Paulo, 2004.
- MARQUES, V. M.; GOMES, L. P.; KERN, A. P. Avaliação Ambiental do Ciclo de Vida de Telhas de Fibrocimento Com Fibras de Amianto ou Com Fibras de Polipropileno. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 187-201, jan./mar. 2016.
- MAY, S.; PRADO, R. T. A. Estudo da Qualidade da Água de Chuva Para Consumo Não Potável em Edificações. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1.; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., São Paulo, 2004. **Anais...** São Paulo, 2004.
- MENDEZ, C. B. *et al.* The Effect of Roofing Material on the Quality of Harvested Rainwater. **Water Research**, v. 45, n. 5, p. 2049-2059, 2011.
- MOON, S. *et al.* Quality of Harvested Rainwater in Artificial Recharge Site on Jeju Volcanic Island, Korea. **Journal of Hydrology**, n. 414/415, p. 268-277, 2012.

- MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C.; CARVALHO, G. Volume do Reservatório de Aproveitamento de Água Pluvial Baseado no Conceito do Balanço de Vazões Para Uma Residência Unifamiliar. **UEPG Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v. 14, n. 3, p. 212-217, 2008.
- NAKADA, L. Y. K.; MORUZZI, R. B. Variabilidade Qualitativa de Águas Pluviais Coletadas em Telhado e Sua Importância na Concepção do Sistema de Tratamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 1-9, 2014.
- OLIVEIRA, L. H. *et al.* Caracterização do Uso da Água em Habitações Unifamiliares de Interesse Social. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., Florianópolis, 2006. **Anais...** Florianópolis, 2006.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated World Map of the Koppen-Geiger Climate Classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633-1644, 2007.
- PETERS, M. R. *et al.* Potencialidade de Reuso Residencial Utilizando Fontes Alternativas de Água. In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 8., Fortaleza, 2006. **Anais...** Fortaleza, 2006.
- PRADO, R. T. A.; TABORINASKI, V. M. Avaliação do Consumo de Energia no Ciclo de Vida dos Sistemas de Aquecimento de Água Residencial. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1.; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., São Paulo, 2004. **Anais...** São Paulo, 2004.
- PRÉ CONSULTANTS BV. **SimaPro 5.0**. User Manual. Introduction into LCA methodology and practice with SimaPro 5. Disponível em: <<http://www.pre.nl>>. Acesso em: 5 jul. 2010.
- RAHMAN, A.; KEANE, J.; IMTEAZ, M. A. Rainwater Harvesting in Greater Sydney: water savings, reliability and economic benefits. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 61, p. 16-21, 2012.
- RUPP, R. F.; MUNARIM, U.; GHISI, E. Comparação de Métodos Para Dimensionamento de Reservatórios de Água Pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 47-64, out./dez. 2011.
- SARTORI, I.; HESTNES, A. G. Energy Use in Life Cycle of Conventional and Low-Energy Buildings: a review article. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 3, p. 249-257, 2007.
- SAZAKLI, E.; ALEXOPOULOS, A.; LEOTSINIDIS, M. Rainwater Harvesting, Quality Assessment and Utilization in Kefalonia Island, Greece. **Water Research**, v. 41, n. 9, p. 2039-2047, 2007.
- SIEMS, R.; SAHIN, O. Energy Intensity of Residential Rainwater Tank Systems: exploring the economic and environmental impacts. **Journal of Cleaner Production**, v. 113, p. 251-262, 2016.
- SILVA, C. M.; SOUSA, V.; CARVALHO, N. V. Evaluation of Rainwater Harvesting in Portugal: application to single-family residences. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 94, p. 21-34, 2015.
- SIMIONI, W. I.; GHISI, E.; GÓMEZ, L. A. Potencial de Economia de Água Tratada Através do Aproveitamento de Águas Pluviais em Postos de Combustíveis: estudos de caso. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1.; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., São Paulo, 2004. **Anais...** São Paulo, 2004.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2008**. 2008. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em: 11 nov. 2010.
- SOUZA, E. L.; GHISI, E. Potable Water Savings by Using Rainwater For Non-Potable Uses in Houses. **Water**, v. 4, p. 607-628, 2012.
- TAVARES, S. F. **Metodologia de Análise do Ciclo de Vida Energético de Edificações Residenciais Brasileiras**. Florianópolis, 2006. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- VIEIRA, A. S. **Uso Racional de Água em Habitações de Interesse Social Como Estratégia Para a Conservação de Energia em Florianópolis, Santa Catarina**. Florianópolis, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

VILLARREAL, E. L.; DIXON, A. Analysis of a Rainwater Collection System for Domestic Water Supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. **Building and Environment**, v. 40, p 1174- 1184, 2005.

WHITTINGTON, D. *et al.* Household Demand For Improved Piped Water Services: evidence from Kathmandu, Nepal. **Water Policy**, v. 4, p. 531-56, 2002.

YWASHIMA, L. A. *et al.* Caracterização do Uso de Água em Residências de Interesse Social em Paulínia. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., Florianópolis, 2006. **Anais...** Florianópolis, 2006.

**Ana Kelly Marinoski**

Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis - SC - Brasil | Caixa Postal 476 | CEP 88040-900 | Tel.: (48) 3721-5184 | E-mail: anakmarinoski@gmail.com

**Enedir Ghisi**

Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal de Santa Catarina | E-mail: enedir@labeee.ufsc.br

**Revista Ambiente Construído**

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

Fax: +55 (51) 3308-4054

[www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido](http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido)

E-mail: [ambienteconstruido@ufrgs.br](mailto:ambienteconstruido@ufrgs.br)